

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**“EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE  
METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A  
LAMPÁ, TRAMO km 7+000 al 12+000”**

**TESIS**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
ELMER MOCHICA MAMANI**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**JULIACA - PERU**

**2016**

## DEDICATORIA

A **DIOS** por darme la vida, por ser mi guía, fortaleza e iluminar mi camino, pero sobre todo por darme una luz de esperanza y alegría “**Derramando muchas bendiciones en mí**” y por permitirme disfrutar mis logros cerca de mis seres amados.

A mí querido padre y madre **Juan Mochica Vilca, Ángela Mamani Flores** quien con su ejemplo me formaron para asumir retos como éste, y me supieron inculcar la dedicación y perseverancia al trabajo.

Hago extensiva esta dedicatoria a mis hermanos Ángel, Héctor, Rosendo, Nancy, Cleto, y Nereyda, a mis tíos Nolberto, Wilfredo, Gervacio, Filomena mi primo Wilber. Por su apoyo incondicional.

**ELMER**

**“Todo lo puedo en Cristo que me Fortalece”**

**Fil.4:13**

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestra Alma Mater, Universidad Alas Peruanas-Filial Juliaca, Facultad de Ingeniería Civil, Escuela Profesional de Ingeniería Civil por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

El presente trabajo ha sido realizado bajo la dirección del ing. Víctor Casa Coila y el asesoramiento del M Sc. Eduardo Luis Flores Quispe, a quienes expreso mi más sincero y afectuoso agradecimiento por su inestimable y permanente apoyo, que hizo posible la realización de este trabajo de investigación.

Asimismo quiero agradecer a los miembros del jurado por sus aportes realizados en el presente trabajo.

A mis amigos de amistad que compartimos siempre. (Esteban, Marcelino, Rubén, Víctor, Jorge y Delber.)

## **RESUMEN**

El alcance del presente trabajo propone una alternativa de dar solución de acuerdo a los resultados para el mantenimiento periódico de pavimento flexible en el dicho tramo.

El desarrollo de la presente tesis se ha dividido en cuatro partes. La primera es un capítulo de la importancia de pavimento flexible. La segunda presenta antecedentes de pavimento flexible. Una tercera que nos muestra la problemática y la metodología de pavimento flexible. Finalmente se tiene los resultados se plantea una alternativa de solución los problemas antes mencionados.

Se concluye que los valores del análisis en la viga benkelman y rugosímetro es una herramienta significativa y optimiza la utilidad para la evaluación estructural y funcional de pavimento en el tramo de Juliaca a Lampa. A nivel de significancia del 5%.

## **ABSTRACT**

The scope of the present paper proposes an alternative solution according to the results for the periodic maintenance of flexible pavement in this section.

The development of this thesis has been divided into four parts. The first is a chapter of the importance of flexible pavement. The second has a history of flexible pavement. A third that shows the problems and methodology of flexible pavement. Has finally results arises an alternative solution the above problems.

It is concluded that the values of the analysis on the beam benkelman and Roughness is a significant tool and optimizes the utility for structural and functional evaluation of pavement on the stretch of Juliaca to Lampa. A significance level of.

## INDICE

CAPITULO I.....	12
EL PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
a. Interrogante General .....	13
b. Interrogantes Específicos.....	13
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION .....	13
1.3.1 Objetivo general .....	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
A. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
A.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL. ....	14
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	15
1.4.1. Importancia de la Investigación .....	16
A.2. DELIMITACIÓN DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.5. Limitaciones de la Investigación .....	16
CAPITULO II MARCO TEORICO .....	16
2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	16
2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES .....	17
2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	17
2.1.3. ANTECEDENTES NACIONALES.....	18
2.2. BASES TEORICAS:.....	20
2.2.1 PAVIMENTO.....	20
2.2.1.1 CLASIFICACION DE PAVIMENTOS .....	20
a. Pavimentos flexibles (Pavimentos asfálticos) .....	21

b. Pavimentos semiflexibles (intertrabados) .....	21
2.1.1.2 FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS .....	21
2.2.2.1 EVALUACION FUNCIONAL DEL PAVIMENTO CON RUGOSIMETRO.....	22
2.2.2.2 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD .....	34
1.- Fallas superficiales .....	39
a.- Patología de los pavimentos.....	39
b.- Clasificación de las fallas o deterioros.....	40
b.1 Por la manifestación de deterioros.....	40
b.1.1 Descripción de los deterioros.....	40
2.2.2.3 EVALUACION ESTRUCTURAL DELPAVIMENTO.....	41
A. DEFLEXION:.....	41
2.2.2.4 INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO.....	52
2.2.2.5 HIPOTESIS.....	61
2.2.2.5.1 Hipótesis General .....	61
2.2.2.5.2 Hipótesis Específicos.....	61
2.2.2.6. Variables e indicadores.....	62
2.2.2.6.1. Las variables:.....	62
2.2.2.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES:.....	62
2.2.2.6.3. VARIABLES DEPENDIENTES: .....	62
CAPITULO III METODOLOGIA .....	62
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	62
a. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	62
b. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	63
3.2. MÉTODO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	63

a. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	63
b. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	63
Etapa 1: Trabajos previos .....	64
1.1) Recopilación de antecedentes preliminares. ....	64
1.2) Estudio previo o sondeo. ....	64
1.3) Determinación del tamaño y el número de muestras. ....	64
1.4) Elaboración de los formatos de encuesta. ....	64
Etapa 2: Trabajo de campo (inspección visual) para una unidad de muestreo.....	64
2.1) pruebas y ensayos en campo con viga benkelman. ....	64
2.2) pruebas y ensayos en campo con rugosímetro. ....	64
2.3) Medición de los deterioros.....	64
Se realiza en unidades de área (m <sup>2</sup> ). ....	64
2.4) Cálculos y análisis. ....	64
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN .....	91
a) POBLACIÓN.....	91
b) MUESTRA .....	91
1.- La técnica de recolección documental.....	92
2.- La técnica de la encuesta y entrevista.....	92
3.- La técnica de observación de campo. ....	92
3.4 PROCEDIMIENTOS .....	92
3.4.1 ETAPA 1: TRABAJOS PREVIOS .....	92
3.4.1.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE UNIDADES DE MUESTREO PARA LA EVALUACIÓN.....	93

3.4.1.2 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA LA INSPECCIÓN .....	94
2 ETAPA 2. TRABAJO DE CAMPO (INSPECCION VISUAL) .....	94
3.4.1.3 EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (O INSPECCIÓN VISUAL SUPERFICIAL). .....	94
3.4.1.4 EVALUACIÓN INTEGRAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE .....	96
3.4.1.5 PROCEDIMIENTO EMPLEADO.....	97
3.4.1.6 SIGNIFICADO Y USO .....	98
3.4.1.7 TRABAJOS EFECTUADOS .....	98
3.4.1.8 MODELOS MATEMATICOS PARA PAVIMENTOS.....	98
CAPITULO IV RESULTADOS .....	105
4.1.0. RESULTADOS OBTENIDOS .....	105
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD .....	105
CAPITULO V DISCUSION.....	106
5.1.0. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LAS DEFELXIONES.....	106
CONCLUSIONES .....	107
RECOMENDACIÓN .....	108
BIBLIOGRAFIA.....	109
ANEXOS.....	111

## INTRODUCCION

En esta investigación se realizó la evaluación funcional y estructural del pavimento existente, estableciéndose el juicio de la capacidad estructural de la vía, y determinándose finalmente sectores de características homogéneas para un adecuado diseño del refuerzo, de ser necesario.

Para tal efecto, el procedimiento a seguir se efectuará en tres etapas.

La primera consistirá en la evaluación funcional del pavimento existente mediante la medición de la rugosidad y la evaluación de la condición del pavimento, determinado según su valor PCI (Índice de condición del pavimento).

El trabajo concluirá con la sectorización en base a la respuesta funcional.

Para la siguiente etapa, que corresponde a la evaluación estructural, se utilizó la Viga Benkelman para medir la respuesta del pavimento ante el paso de un camión cargado normalizado. Las lecturas de las deflexiones, radios de curvatura, y los valores del módulo resiliente de la sub rasante determinado según modelo de capas elásticas, permitirá determinar la condición actual del pavimento.

El trabajo concluirá con la sectorización en base a la respuesta estructural existente del pavimento.

Debido a que en los países latinoamericanos la oportunidad de empleo de los rugosímetros aún sigue siendo esporádica, lo que no justifica muchas veces la manutención de vehículos ad hoc destinados a la operación de equipos dinámicos.

## CAPITULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACION

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Región de Puno se viene realizando la construcción de pavimentos flexibles que viene creciendo en forma acelerada a nivel mundial, pero por la falta de materiales cercanos que cumplan las especificaciones técnicas viene demorando la ejecución de estas importantes obras viales. Una carretera por lo general se construye con un pavimento flexible, tal estructura está diseñada para soportar la disposición de cargas en sus diferentes capas, una de estas capas es la Base Granular, se sabe que la base granular es la capa granular localizada entre la subbase granular y las capas asfálticas en los pavimentos flexibles, posee alta resistencia a la deformación, para soportar las altas presiones que recibe, Se construye con materiales granulares procesados o estabilizados y eventualmente, con algunos materiales marginales, en conformidad con los alineamientos, niveles y secciones transversales típicas indicadas.

En las obras de los pavimentos viales para su evaluación estructural y funcional hasta este momento se siguen empleando métodos tradicionales como son las calicatas, trincheras o pozos para determinar la capacidad de soporte de los suelos.

De acuerdo al avance de la tecnología mediante métodos no destructivos para la evaluación de los pavimentos, te permite examinar los pavimentos sin necesidad de realizar las calicatas o pozos. En la ejecución de vías la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos es muy importante, ya que nos permite identificar zonas de baja compactación, zonas inestables y forma ya parte del control de calidad de obra.

Con el empleo de la viga benkelman y rugosímetro se ahorra tiempo ya que las lecturas de estos ensayos son muy rápidas y por ende ahorramos dinero en su evaluación de pavimentos.

En términos generales, el problema son las patologías en el pavimento intertrabado; y como todo problema, las patologías tienen sus causas y sus efectos; pero, asimismo sus soluciones.

Las causas son las solicitudes externas producidas por el tráfico y los agentes climáticos, y de una serie de factores que van desde el diseño original hasta la calidad del proceso constructivo; asimismo, la incompetencia del personal, etc.

Los efectos son el nivel de servicio, desde malo hasta muy malo; nivel de servicio entendido como serviciabilidad de una vía o habilidad de un pavimento para servir a los tipos de solicitudes (estáticas o dinámicas) para los que han sido diseñados.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **a. Interrogante General**

IG.- ¿Cómo es la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos entre Juliaca a Lampa, tramo 7+000 AL 12+000?

### **b. Interrogantes Específicos**

IE 1.- ¿Cómo es la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando la viga benkelman entre Juliaca a Lampa, tramo Km 7+000 a 12+000?

IE 2.- ¿Cómo es la evaluación del pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando en rugosímetro merlin entre juliaca a Lampa, tramo Km al 12+000?

## **1.3. OBJETIVOS DE LA IVESTIGACION**

### **1.3.1 Objetivo general**

OG.- determinación de la evaluación del pavimento flexible mediante métodos no destructivos entre juliaca a lampa tramo Km 7+000 al 12+000.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

OE 1.- Determinar la evaluación del pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando la viga benkelman entre juliaca a lampa, tramo Km 7+00 al 12+000

OE 2.- Efectuar la evaluación del pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando rugosímetro merlin entre juliaca a lampa, tramo Km 7+00 al 12+000

#### **A. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El presente tema de investigación vamos a incidir en los ensayos y evaluaciones de deflexión de los pavimentos, aplicados a la sub base, base granular y a la carpeta asfáltica. También se realizara la evaluación de la rugosidad del pavimento flexible existente, funcionabilidad y serviciabilidad.

El trabajo de investigación se desarrollará en forma teórica y experimental, en la parte teórica nos dedicaremos a revisar la bibliografía y en la parte experimental los ensayos y pruebas relacionados al tema de investigación.

En el Perú ya se aplica mediante métodos no destructivos cerca de dos décadas y con más incidencia hace 07 años, en los trabajos de evaluación y control de calidad de los pavimentos, tanto en proyectos viales como en la fase de construcción de caminos.

La presente investigación se limitará en realizar las determinaciones de los parámetros de los valores de deflexión, funcional y la condiona de pavimento de la sub base, base granular y la carpeta, donde se realizará sus interpretaciones de los resultados obtenidos en campo.

#### **A.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.**

El trabajo de investigación se realizara en el departamento de Puno, entre Juliaca a Lampa, tramo Km 7+000 a 12+000.

## GEOGRÁFICA:

Ubicación	Este	Norte	Cota
<u>Juliaca</u>	330400.525	8353881.965	3834.273 m.s.n.m.
Lampa Km 12+000	348151.337	8354255.668	3838.634 m.s.n.m.

## ACCESO:

DESTINO	TIPO	KM	TIEMPO	
<u>Juliaca</u>	Lampa	Asfaltado	12	10min



Fuente: Google earth

## ZONA DEL PROYECTO

### 1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.- Contribuirá a prevenir los daños y deterioros del pavimento indicado, y a tomar las medidas de acción de manera oportuna: 1) mantenimiento rutinario y periódico, 2) mejoramiento de los sistemas de evacuación de aguas pluviales.

2.- Permitirá establecer el nivel de servicio de un tramo urbano que corresponde a la carretera Juliaca -Lampa, que es de importancia regional.

3.- El empleo de la viga benkelman, rugosímetro y índice de condición de pavimento permitirá el ahorro de tiempo y se optimizan el avance de obra incrementando la calidad de la misma.

4.- Se puede utilizar como una guía de referencia para evaluar pavimentos flexible, si bien existen múltiples trabajos de evaluación de patologías de pavimentos de asfalto, no se conocen —a nivel local— las evaluaciones de patologías que tratan sobre vías con pavimentos flexible.

#### **1.4.1. Importancia de la Investigación**

- ✓ Con la evaluación de rugosidad de pavimento flexible nos profundizamos a hacer un mejor análisis funcional de las propiedades del pavimento.
- ✓ Con la evaluación de deflexión de pavimento flexible nos profundizamos a realizar mejor análisis estructural por cada capa de pavimento flexible.
- ✓ Con la evaluación de la condición de pavimento existente los cuales nos permiten con certeza la estabilidad de las capas de pavimento.

### **A.2. DELIMITACIÓN DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.5. Limitaciones de la Investigación**

En el proceso de investigación que voy realizando, se tiene dificultades mayormente en la disponibilidad y traslado del instrumento de rugosímetro, viga benkelman con volquete de 8.2 tn y los altos costos que esto significa.

## **CAPITULO II MARCO TEORICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE ESTUDIO**

Es muy escasa la información sobre evaluación de patologías (o deterioros) de pavimentos flexibles mediante el viga belkelman, rugosímetro e índice de condición del pavimento; es así que se ha encontrado artículo referido al tema; que además ha sido complementado con los manuales para pavimentos flexibles , que definen el número y distribución de las unidades de muestreo.

Higuera y Pacheco (2010), propone una guía para realizar la evaluación con viga belkelman, rugosímetro de las patologías (deterioros) de los pavimentos

flexibles, mediante el índice de condición del pavimento, en Colombia. Y, sobre el tamaño de la sección de gestión, utiliza una longitud de 100 m y un ancho de 10 m; es decir, un área de 1000 m<sup>2</sup>.

La guía incluye un catálogo de daños típicos de los pavimentos flexibles, donde muestra cinco (5) clases y catorce (14) tipos de deterioros, con los que se realiza la identificación (e inventario) de deterioros, mediante una inspección visual -según el tipo, cantidad y severidad del daño-; un cuadro para la clasificación o identificación de los deterioros, según su origen funcional o estructural; y la metodología para realizar el cálculo del índice de condición del pavimento, en función del índice de condición estructural y el índice de condición funcional. La guía muestra la aplicación de la metodología mediante un ejemplo con datos de campo.

Vásquez (2002), presenta un procedimiento para obtener el número y la distribución de las unidades de muestreo, que se explican en 3.6.1.2 y 3.6.1.3

Etapa 1: Trabajos previos (Procedimientos) del presente estudio.

### **2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES**

Se considera uno de los proyectos de inversión en el aspecto vial de nuestra localidad, en el proyecto vial que interconecta la ciudad de Chimbote con el Distrito de Nuevo Chimbote, donde se efectuó un estudio preliminar para la construcción de una vía de pavimento de asfalto en frío, lo cual se realizó el año 2009, donde se registra datos en cuanto al tipo de suelo y el material asfáltico usado. Asimismo a la fecha se visualiza el estado de la estructura asfáltica, como también a nivel de nuestra localidad los daños visibles y la falta de mantenimiento que se viene dando a nivel local, por falta de un programa de correctiva y preventivo.

### **2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

En el mundo es muy escasa la literatura sobre la evaluación de patologías (o deterioros) de pavimentos intertrabados o articulados mediante el índice de condición del pavimento; es así que se ha encontrado un solo artículo referido al tema; que además ha sido complementado con los estudios previos que definen

el número y el tamaño de las unidades de muestreo, extraídos de los manuales para pavimentos flexibles y rígidos.

Según Cerón (2006) en su estudio que tiene como objetivo evaluar y comparar la aplicación de metodologías VIZIR y PCI sobre el tramo de vía con pavimento flexible y rígido de la carrera 19, entre el museo Quimbaya – CRQ Armenia Quindío (Pr 00+000-Pr 02+600), encontró que el PCI y el VIZIR son métodos de fácil aplicación y que se utilizan en la evaluación de daños de los pavimentos, y con resultados similares.

En el manual del Instituto Venezolano del Asfalto (INVEAS), presentado por Corró, Urbáez, Corredor (2009), entre otros temas, se describen las distintas fallas que afectan la condición del pavimento flexible destacando sus orígenes (funcional o estructural), magnitud y severidad; y una metodología para determinar el índice de condición del pavimento (PCI) de uso reconocido a nivel internacional. Cabe destacar que, de las 19 fallas que se utilizan para pavimentos flexibles, se reducen solo a 14 fallas, que son las que en Venezuela se utilizan comúnmente.

### **2.1.3. ANTECEDENTES NACIONALES**

#### **TESIS**

“EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO DE LA RED VIAL MARCARA - CHANCOS, DEL DISTRITO MARCARA - CARHUAZ - ANCASH, AÑO 2010”

*Cuyo autor es:*

Bach. SERGIO MARINO RAMIREZ PALMA Autor.

#### **TESIS**

“MEJORAMIENTO DE LA TROCHA CARROZABLE MOLINO QUIAN CULEBRAS DISTRITO DE CULEBRAS – HUARMEY – ANCASH” en mayo 2010

*Cuyo autor es:*

Bach. PRAX AGUSTIN DEL ROSARIO LEDESMA AGUIRRE.

ESTUDIOS DEFINITIVOS DE INGENIERIA PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS ECONOMICOS DE CARRETERAS DE BAJO TRAFICO DE LA RED VIAL NACIONAL – PROYECTO PILOTO CARRETERA PATAHUASI – YAURI – SICUANI. TRAMO: YAURI – SAN GENARO L = 11.36 KM.

PROVIAS NACIONAL en el Plan Anual de Adquisiciones para el años 2005, considero efectuar diversos Estudios Definitivos de Ingeniería para la Evaluación de Pavimentos Económicos de Carreteras de Bajo Tráfico de la Red Vial Nacional -proyecto Piloto Carretera Patahuasi Yauri –Sicuani, ramo Yauri –San Genaro L=11.36 Km.

**Booz, Barriga, Smith (1999)** presentan un conjunto de técnicas y procedimientos prácticos y sencillos, para facilitar la implementación de los programas y la aplicación de los conceptos modernos de mantenimiento vial y de la rehabilitación de pavimentos urbanos. Para tal efecto, se delineó una metodología, para la evaluación superficial de los pavimentos, de manera de conocer la condición de conservación de los pavimentos, del área materia de estudio.

En resumen, el procedimiento seguido en el presente manual, parte de la identificación de la falla y del tipo de pavimento donde se presenta la falla, sea pavimentos flexibles y mixtos de una parte ó, pavimentos rígidos; luego se analiza y registra la falla según sus características propias, describiendo sus manifestaciones y/o efectos sobre los pavimentos, indicando las probables causas del deterioro con la finalidad de tomar las previsiones y correcciones necesarias. Seguidamente se determina y califica la falla según sus niveles de severidad en

nivel bajo, moderado y alto, según densidad o extensión del deterioro observado. Finalmente, tomando como referencia una planilla guía e información complementaria, se definen los tratamientos adecuados para cada clase de falla, sean estos de parchado, sellado, recapado, etc. que deberían adoptarse y aplicarse, para la recuperación de la transitabilidad de cualquier vía o conjunto de vías del área urbana o metropolitana que así lo requiera.

**Llosa (2006)** en su tesis “Propuesta alternativa para la distribución racional del presupuesto anual municipal para el mantenimiento y rehabilitación de

pavimentos: (aplicación: Municipio de La Molina)”, que tiene por objeto desarrollar la evaluación superficial de los pavimentos flexibles en el municipio de La Molina, sugiriendo una metodología racional que permita evaluar las vías periódicamente y de esta manera estructurar un plan de desarrollo técnico y económico para su rehabilitación o mantenimiento; para realizar la evaluación superficial se utilizó el método del índice de condición del pavimento (PCI). Entre otras conclusiones considera que el tiempo de servicio de los pavimentos depende de los trabajos de rehabilitación tanto del tipo superficial (funcional) como estructural. También, un mantenimiento adecuado y una buena práctica de limpieza mejoran la serviciabilidad del pavimento e incrementa su vida útil.

**EI MTC (2009)** realizó la evaluación de la autopista Ramiro Prialé (km 00+000-km

10+000) con fines de elaboración de expediente técnico para trabajos de mantenimiento periódico. Donde uno de los objetivos fue determinar el estado superficial de la vía mediante el índice de condición del pavimento (PCI). El estudio se realizó con la finalidad de determinar y cuantificar el tipo de fisuras o fallas existentes, en una vía asfaltada, empleándose método indicado. Entre los resultados de la evaluación se estableció que la superficie de rodadura se presenta en diferentes estados, el PCI varía entre 29 y 97; es decir, desde algunos tramos y/o sectores con manifestaciones de deterioro (agrietamientos), hasta otros en excelente estado.

## **2.2. BASES TEORICAS:**

### **2.2.1 PAVIMENTO**

Estructura compuesta por capas que apoya en toda su superficie sobre el terreno preparado para soportarla durante un lapso denominado período de diseño y dentro de un rango de serviciabilidad. Esta definición incluye pistas estacionamientos, aceras o veredas, pasajes peatonales y ciclo vías.

#### **2.2.1.1 CLASIFICACION DE PAVIMENTOS**

Por la manera en que transmiten las cargas a la subrasante.

### **a. Pavimentos flexibles (Pavimentos asfálticos)**

Clasificación por comportamiento de los pavimentos con superficie asfáltica en cualquiera de sus formas o modalidades (concreto asfáltico mezcla en caliente, concreto asfáltico mezcla en frío, mortero asfáltico, tratamiento asfáltico, micro pavimento, etc.), compuesto por una o más capas de mezclas asfálticas que pueden o no apoyarse sobre una base y una sub base granulares. El pavimento asfáltico de espesor total (full-depth®), es el nombre patentado por el Instituto del Asfalto, para referirse a los pavimentos de concreto asfáltico construidos directamente sobre la sub-rasante.

### **b. Pavimentos semiflexibles (intertrabados).**

La terminología es muy variada sobre la nomenclatura. Algunos lo denominan pavimentos articulados y otros pavimentos intertrabados. Incluso otros hacen la diferencia entre el uno y el otro. Aquí se utilizará la segunda denominación. Y, hace referencia a los pavimentos intertrabados de adoquines de concreto (o como dicen otros pavimentos de adoquines intertrabados).

Pavimento cuya capa de rodadura estuvo tradicionalmente conformada por unidades de piedra, madera o arcilla cocida. En la actualidad se utilizan unidades de concreto colocadas sobre una capa de arena, rellenando los espacios entre ellas con arena, para proveerles de trabazón. De la misma manera que los pavimentos asfálticos tienen una base y además pueden tener una sub-base. Su comportamiento se puede considerar como semiflexible.

## **2.1.1.2 FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS**

Entre las funciones de los pavimentos se consideran:

- 1) Proporcionar a los usuarios circulación segura, cómoda y confortable sin demoras excesivas.
- 2) Proporcionar a los vehículos acceso bajo cualquier condición de clima.
- 3) Reducir y distribuir la carga de tráfico para que ésta no dañe la subrasante.
- 4) Cumplir requerimientos medio ambientales y estéticos.

- 5) Limitar el ruido y la contaminación de aire.

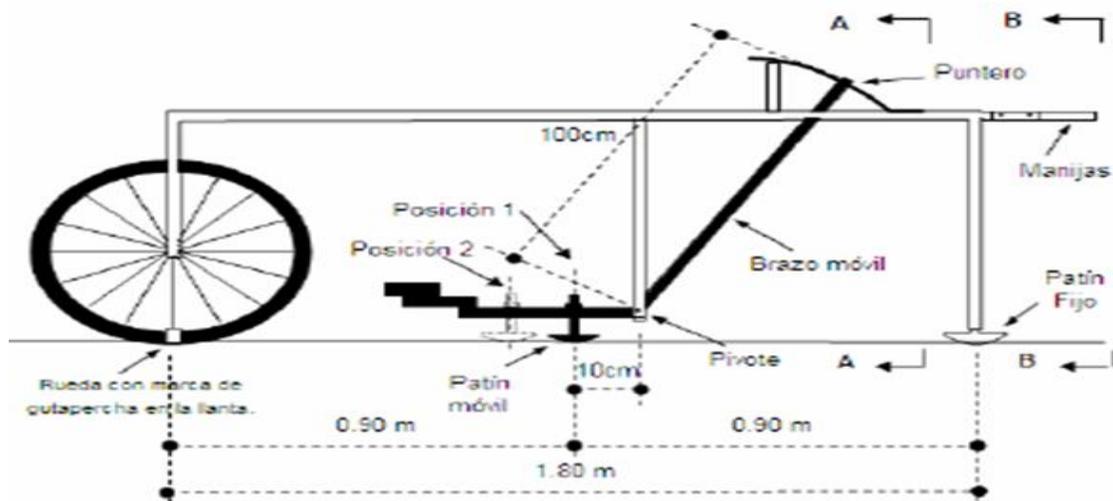
### **2.2.2.1 EVALUACION FUNCIONAL DEL PAVIMENTO CON RUGOSIMETRO**

El rugosímetro MERLIN, es un instrumento versátil, sencillo y económico, pensado especialmente para uso en países en vías de desarrollo. Fue introducido en el Perú por iniciativa personal del autor en 1993 (8), existiendo en la fecha (Junio 1999) más de 15 unidades pertenecientes a otras tantas empresas constructoras y consultoras.

El rugosímetro MERLIN (acrónimo de la terminología inglesa Machine for Evaluating Roughness using low-cost Instrumentation), consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad de desplazamiento y operación, el elemento vertical delantero es una rueda, mientras que el trasero 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 2 manijas que permiten levantar y movilizar el equipo.

El método de medición que utiliza el MERLIN, por haber sido diseñado este equipo como una variación de un perfilómetro estático y debido a la gran exactitud de sus resultados, califica como un método Clase 1. La correlación de los resultados obtenidos con MERLIN, con la escala del IRI, tiene un coeficiente de determinación prácticamente igual a la unidad ( $R^2=0.98$ ). Por su gran exactitud, sólo superado por el método topográfico (mira y nivel), algunos fabricantes de equipos tipo respuesta (Bump Integrator, Mays Meter, etc.) lo recomiendan para la calibración de sus rugosímetros.

Es el reconocimiento de aquellas deficiencias —fallas superficiales, la rugosidad, pérdida de fricción— que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario.



Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.



Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.

## 1.- Fallas superficiales

Son defectos o deterioros que se manifiestan en la superficie del pavimento y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro. Es importante por lo tanto efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección (superficial y visual) empleando fichas diseñadas especialmente para este efecto.

### a.- Patología de los pavimentos

La patología en la construcción se ha aplicado para describir el estudio de los problemas que aquejan a las edificaciones, entendido como una alteración del estado normal o ideal de funcionamiento, causados por diferentes problemas con origen en los procesos constructivos, en los materiales empleados, en las incompatibilidades entre materiales, en la acción del clima, o simplemente en la incompetencia profesional. El conjunto de aspectos de la patología (proceso patológico) tiene normalmente una secuencia temporal: origen, evolución, síntoma, lesión o falla y estado actual.

Se debe hacer notar que las patologías de los pavimentos son el conjunto de síntomas o señales (sintomatología) que se manifiestan como: fallas, daños, deterioros, defectos.

**b.- Clasificación de las fallas o deterioros**

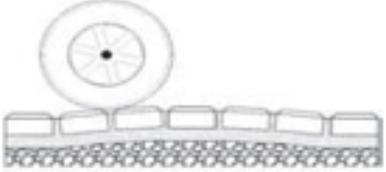
**b.1 Por la manifestación de deterioros**

Pueden agruparse como deformaciones, desprendimientos, desplazamientos, fracturamientos, otros deterioros. Ver el cuadro de clasificación general de los deterioros de pavimentos articulados, y su correspondiente esquema.23

**b.1.1 Descripción de los deterioros**

b.1.1.1) Deformaciones. *Entre las deformaciones* se encuentran los abultamientos, los ahuellamientos y las depresiones

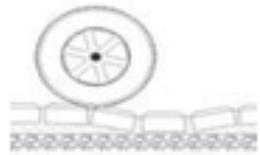
**Abultamientos AB (m2)**

Descripción	Son levantamientos o protuberancias que se presentan en la superficie del pavimento.		
Severidad	Baja (B)	Flecha menor a 20 mm	
	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm	
	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm	

## Ahullamientos AH (m2)

Descripción	Depresión que se presenta a lo largo del sentido del tráfico, bajo las huellas de los vehículos.	
Severidad	Baja (B)	Flecha menor a 20 mm
	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm
	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm

## Depresiones DA (m2)

Descripción	Son hundimientos localizados en forma circular o semejante a ella, sin pérdida de material.	
Severidad	Baja (B)	Flecha menor a 20 mm
	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm
	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm

**b.1.1.2) Desprendimientos.** Entre los desprendimientos se encuentran el desgaste superficial y la pérdida de arena.

## b.2 Por su origen.

Por su origen, los deterioros, se clasifican en fallas funcionales (o superficiales) y fallas estructurales.

En el primer caso, el defecto se presenta o circunscribe a la superficie de la capa de rodadura y las acciones de reparación se dirigen a la corrección de la fricción (seguridad), o al restablecimiento de la rugosidad o regularidad (comodidad), lo cual se logra con la colocación de capas asfálticas de bajo espesor que no contribuyen desde el punto de vista estructural.

Por su parte las fallas estructurales tienen su origen en defectos en una o más de las capas que conforman la estructura del pavimento, las cuales están destinadas a resistir y compartir los esfuerzos impuestos por el tráfico, de manera que a nivel de sub-rasante o suelo de fundación de pavimento lleguen los menores

esfuerzos y lo más distribuido posible. En estos casos la corrección de las fallas va dirigida al refuerzo de la estructura existente mediante la colocación de una capa cuyo espesor debe ser calculado en función de los requerimientos de las cargas de tráfico previstas en el período de tiempo previsto para la rehabilitación.

La condición funcional de un pavimento está influenciada por la condición estructural. En ambos casos los defectos superficiales constituyen un síntoma de fallas que inciden en el estado superficial del pavimento.

### **c. - Causas de falla de un pavimento**

1. Fin Del período de diseño original y ausencia de acciones de rehabilitación mayor Durante el mismo. En este caso la falla es la prevista o esperada.
2. Incremento del tránsito con respecto a las estimaciones del diseño de pavimento original.
3. Deficiencias en el proceso constructivo, bien en procesos como Tal como en la calidad de los materiales empleados.
4. Diseño deficiente (errores en la estimación del tránsito o en la valoración de las propiedades de los materiales empleados).
5. Factores climáticos imprevistos (lluvias extraordinarias).
6. Insuficiencia de estructuras de drenaje superficial y/o subterráneo.
7. Insuficiencia o ausencia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.

### **d. Métodos de evaluación superficial visual de los pavimentos**

Técnicas que permite evaluar los defectos superficiales de los pavimentos. Se realiza en tres etapas: identificación (clase, tipo), medición (área) y calificación (severidad).

PCI (Pavement condition index).- Se describe en 2.2.3.

**1.- VIZIR.-** Metodología desarrollada por el laboratorio central de puentes y calzadas de Francia (Laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) de Francia en 1972. Establece una distinción clara entre fallas estructurales y

funcionales; es decir, identifica las degradaciones que caracterizan la condición estructural y funcional. Se mide mediante el índice de deterioro superficial la que para la calificación del pavimento toma en cuenta solo la condición estructural. Consiste en el cálculo de otros dos índices: índice de fisuración  $I_f$ , el cual depende de la gravedad y la extensión de fisuraciones y agrietamientos de tipo estructural en cada zona evaluada; luego se calcula un índice de deformación  $I_d$ , el cual también depende de la gravedad y extensión de las deformaciones de origen estructural. La combinación de  $I_f$  y  $I_d$  da lugar a un primer índice el cual debe ser corregido en función de la extensión y la calidad de trabajos de bacheo. Los rangos de calificación varían de 1 a 7. Entre 1 y 2 bueno; 2 y 4 regular; 5, 6 y 7 deficiente.

## **2.- La rugosidad (comodidad)**

Se define como las irregularidades presentes en la superficie del pavimento, las cuales afectan la calidad de rodado de los vehículos, y por lo tanto la calidad del servicio brindada al usuario. Para medir la rugosidad se ha adoptado mundialmente el índice de rugosidad internacional (IRI), desarrollado en Brasil, para el Banco Mundial. Conceptualmente el IRI relaciona la acumulación de desplazamientos del sistema de suspensión de un vehículo modelo divididos entre la distancia recorrida por el vehículo a una velocidad de 80 km/hr. Se expresa en mm/m ó m/km. 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. Los equipos utilizados son los rugosímetros y perfilómetros; las que se presentan en una gran variedad, alternativamente a los más sofisticados, se tienen otros de bajo rendimiento como el Merlin (Machine for evaluating roughness using low cost instrumentation).

## **3.- Pérdida de fricción (seguridad)**

Es un defecto que tiene relación directa con el usuario, particularmente con los segmentos de alta velocidad, zonas de frenado (cruce de peatones, colegios, etc.) y curvas de radio pequeño o curvas de radio amplio con peraltes menores a 6%. La pérdida de fricción se propone como consecuencia de una disminución combinada o individual de la macrotextura como de la microtextura superficial del

pavimento, lo cual puede originar accidentes, particularmente cuando el pavimento se encuentra mojado. Es decir la fricción está asociada a un aumento de la lisura del pavimento. Para su medición se ha adoptado el índice de fricción internacional se define el índice de Fricción Internacional (IFI), el cual relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento. Se expresa mediante dos números: el primero representa la fricción –adimensional, con rango entre 0 (deslizamiento perfecto, sin adherencia) y 1 (máxima adherencia)– y el segundo representa la velocidad, asociada con la macro textura, su magnitud no tiene rango definido.

El deslizamiento de un vehículo se da en dos direcciones cada una de las cuales son diferentes en cuanto a las leyes que lo rigen: Deslizamiento en dirección longitudinal o en la dirección de marcha del vehículo ocurre cuando se aplica un esfuerzo de frenado. En la resistencia al deslizamiento longitudinal intervienen fundamentalmente dos componentes: (a) el rozamiento por adherencia neumático-pavimento y (b) la pérdida de energía debido a la histéresis del neumático, es decir, el neumático no absorbe toda la energía aplicada; siempre existe pérdida de energía que se transforma en "calor", esto ocurre con materiales elásticos como el caucho. Los equipos de medición del deslizamiento longitudinal son, por ejemplo: Grip Tester (Velocidad Circulación= 65 km/hora; Rueda Bloqueada=15%).

Deslizamiento en dirección transversal al eje de la vía. Se producen esfuerzos tangenciales que deben ser compensados con las fuerzas de rozamiento transversal. Los equipos para su medición: Mu-Meter ( $\mu$ -Meter) / SCRIM (Sideway-Force Coefficient Routine Investigation Machine)

Aproximadamente 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 el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento.



Fuente: PABLO M. DEL AGUILA, B.Sc. LAGESA Ingenieros Consultores

## **E. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RUGOSIDAD**

### **E.1 Fundamentos Teóricos**

La determinación de la rugosidad de un pavimento se basa en el concepto de usar la distribución de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio. La Figura N° 1 ilustra como el MERLIN mide el desplazamiento vertical entre la superficie del camino y el punto medio de una línea imaginaria de longitud constante. El desplazamiento es conocido como “la desviación respecto a la cuerda promedio”.

La longitud de la cuerda promedio es 1.80m, por ser la distancia que proporciona los mejores resultados en las correlaciones. Asimismo, se ha definido que es necesario medir 200 desviaciones respecto de la cuerda promedio, en forma consecutiva a lo largo de la vía y considerar un intervalo constante entre cada medición. Para dichas condiciones se tiene que, a mayor rugosidad de la superficie mayor es la variabilidad de los desplazamientos. Si se define el histograma de la distribución de frecuencias de las 200 mediciones, es posible

medir la dispersión de las desviaciones y correlacionarla con la escala estándar de la rugosidad (Ver Figura N°2). El parámetro estadístico que establece la magnitud de la dispersión es el Rango de la muestra (D), determinado luego de efectuar una depuración del 10% de observaciones (10 datos en cada cola del histograma). El valor D es la rugosidad del pavimento en “unidades MERLIN”.

El concepto de usar la dispersión de las desviaciones de la superficie respecto de una cuerda promedio, como una forma para evaluar la rugosidad de un pavimento no es nuevo ni original del TRRL. Varios parámetros de rugosidad precedentes, tal como el conocido Quarter-car Index (QI), han sido propuestos por otros investigadores basándose en el mismo concepto, los que son analizados en la referencia (5).



Foto: N° 01 con rugosímetro en el tramo juliaca lampa de km 7+000 hasta 12+000

## **E.2 Correlaciones D versus IRI**

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los

resultados provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

- a. Cuando  $2.4 < IRI < 15.9$ , entonces  $IRI = 0.593 + 0.0471 D$ ..... (1) b. Cuando  $IRI < 2.4$ , entonces  $IRI = 0.0485 D$ ..... (2)

La expresión (1) es la ecuación original establecida por el TRRL mediante simulaciones computarizadas, utilizando una base de datos proveniente del Ensayo Internacional sobre Rugosidad realizado en Brasil en 1982(5). La ecuación de correlación establecida es empleada para la evaluación de pavimentos en servicio, con superficie de rodadura asfáltica, granular o de tierra, siempre y cuando su rugosidad se encuentre comprendida en el intervalo indicado.

La expresión (2) es la ecuación de correlación establecida de acuerdo a la experiencia peruana y luego de comprobarse, después de ser evaluados más de 3,000 km de pavimentos, que la ecuación original del TRRL no era aplicable para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o poco deformados. Se desarrolló entonces, siguiendo la misma metodología que la utilizada por el laboratorio británico, una ecuación que se emplea para el control de calidad de pavimentos recién construidos (6).

Existen otras expresiones que han sido estudiadas para el caso de superficies que presentan cierto patrón de deformación que incide, de una manera particular, en las medidas que proporciona en MERLIN. M.A. Cundill del TRRL(7) estableció en 1996, para el caso de superficies con macadam de penetración de extendido manual, la siguiente expresión:

**$IRI = 1.913 + 0.0490 D$ ..... (3)**

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 cuál se desliza el puntero (Ver Figura N° 4).

### **E.2.1. Ejecución de Ensayos**

Para la ejecución de los ensayos se requiere de dos personas que trabajan conjuntamente, un operador que conduce el equipo y realiza las lecturas y un auxiliar que las anota. Asimismo, debe seleccionarse un trecho de aproximadamente 400 m de longitud, sobre un determinado carril de una vía. Las mediciones se efectúan siguiendo la huella exterior del tráfico.

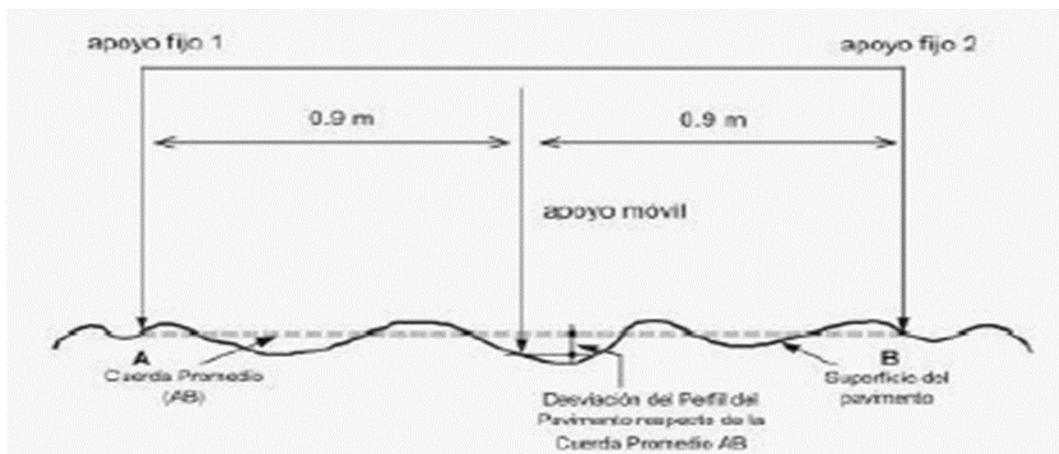
Para determinar un valor de rugosidad se deben efectuar 200 observaciones de las “irregularidades que presenta el pavimento” (desviaciones relativas a la cuerda promedio), cada una de las cuáles son detectadas por el patín móvil del MERLIN, y que a su vez son indicadas por la posición que adopta el puntero sobre la escala graduada del tablero, generándose de esa manera las lecturas. Las observaciones deben realizarse estacionando el equipo a intervalos regulares, generalmente cada 2m de distancia; en la práctica esto se resuelve tomando como referencia la circunferencia de la rueda del MERLIN, que es aproximadamente esa dimensión, es decir, cada ensayo se realiza al cabo de una vuelta de la rueda.

En cada observación el instrumento debe descansar sobre el camino apoyado en tres puntos fijos e invariables: la rueda, el apoyo fijo trasero y el estabilizador para ensayo (Figura N° 3, Corte B-B). La posición que adopta el puntero corresponderá a una lectura entre 1 y 50, la que se anotará en un formato de campo, tal como el mostrado en el Figura N° 5. El formato consta de una cuadrícula compuesta por 20 filas y 10 columnas; empezando por el casillero (1,1), los datos se llenan de arriba hacia abajo y de izquierda a derecha.

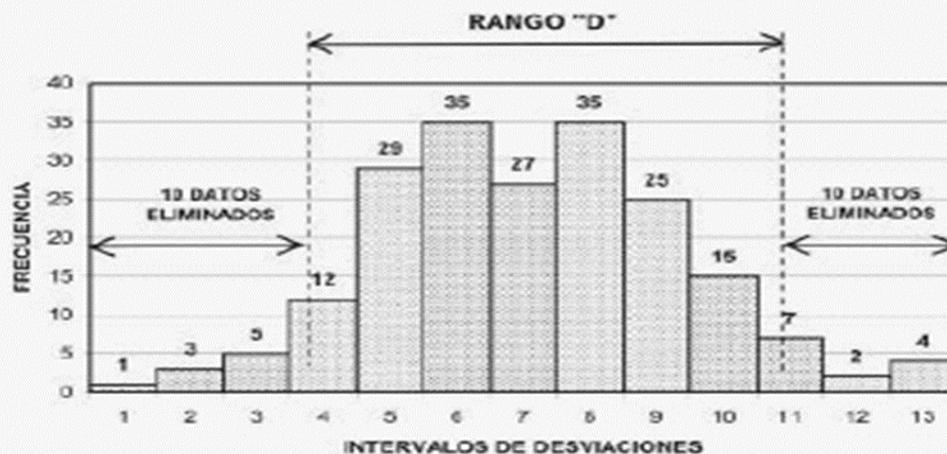
El proceso de medición es continuo y se realiza a una velocidad promedio de 2 km/h. La prueba empieza estacionando el equipo al inicio del trecho de ensayo, el operador espera que el puntero se estabilice y observa la posición que adopta respecto de la escala colocada sobre el tablero, realizando así la lectura que es anotada por el auxiliar. Paso seguido, el operador toma el instrumento por las manijas, elevándolo y desplazándolo la distancia constante seleccionada para

usarse entre un ensayo y otro (una vuelta de la rueda). En la nueva ubicación se repite la operación explicada y así sucesivamente hasta completar las 200 lecturas.

El espaciado entre los ensayos no es un factor crítico, pero es recomendable que las lecturas se realicen siempre estacionando la rueda en una misma posición, para lo cual se pone una señal o marca llamativa sobre la llanta (con gutapercha fosforescente, por ejemplo), la que debe quedar siempre en contacto con el piso. Ello facilita la labor del operador quién, una vez hecha la lectura, levanta el equipo y controla que la llanta gire una vuelta haciendo coincidir nuevamente la marca sobre el piso.



**Figura N° 1**  
Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio



**Figura N° 2**  
Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva

Fuente: PABLO M. DEL AGUILA, B.Sc. LAGESA Ingenieros Consultores

### 2.2.2.2 MÉTODO PARA EL CÁLCULO DE LA RUGOSIDAD

#### A. Cálculo del Rango “D”

Como se ha explicado, para la generación de los 200 datos que se requieren para determinar un valor de rugosidad, se emplea una escala arbitraria de 50 unidades colocada sobre el tablero del rugosímetro, la que sirve para registrar las doscientas posiciones que adopta el puntero del brazo móvil. La división N° 25 debe ser tal que corresponda a la posición central del puntero sobre el tablero cuando el perfil del terreno coincide con la línea o cuerda promedio. En la medida

que las diversas posiciones que adopte el puntero coincidan con la división 25 o con alguna cercana (dispersión baja), el ensayo demostrará que el pavimento tiene un perfil igual o cercano a una línea recta (baja rugosidad). Por el contrario, si el puntero adopta repetitivamente posiciones alejadas a la división N°25 (dispersión alta), se demostrará que el pavimento tiene un perfil con múltiples inflexiones (rugosidad elevada).

La dispersión de los datos obtenidos con el MERLIN se analiza calculando la distribución de frecuencias de las lecturas o posiciones adoptadas por el puntero, la cuál puede expresarse, para fines didácticos, en forma de histograma (Figura N° 2). Posteriormente se establece el Rango de los valores agrupados en intervalos de frecuencia (D), luego de descartarse el 10% de datos que correspondan a posiciones del puntero poco representativas o erráticas. En la práctica se elimina 5% (10 datos) del extremo inferior del histograma y 5% (10 datos) del extremo superior.

Efectuado el descarte de datos, se calcula el “ancho del histograma” en unidades de la escala, considerando las fracciones que pudiesen resultar como consecuencia de la eliminación de los datos. En la Figura N° 2, por ejemplo, en el extremo inferior del histograma, se tiene que por efecto del descarte de los 10 datos se eliminan los intervalos 1, 2 y 3, y un dato de los doce que pertenecen al intervalo 4, en consecuencia resulta una unidad fraccionada igual a  $11/12=0.92$ . Caso similar sucede en el extremo superior del histograma, en donde resulta una unidad fraccionada igual a  $3/7=0.43$ . Se tiene en consecuencia un Rango igual a  $0.92+6+0.43=7.35$  unidades.

El Rango D determinado se debe expresar en milímetros, para lo cuál se multiplica el número de unidades calculado por el valor que tiene cada unidad en milímetros ( $7.35 \times 5\text{mm}=36.75\text{mm}$ ).

## **B. Factor de corrección para el ajuste de “D”**

Las ecuaciones 1 y 2 representan correlaciones entre el valor D y la rugosidad en unidades IRI, las cuales han sido desarrolladas para una condición de relación de

brazos del rugosímetro de 1 a 10 (Ver Figura N° 5). Esta relación en la práctica suele variar, y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, 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 disco circular de bronce de aproximadamente 5 cm de diámetro y 6 mm de espesor, y se procede de la siguiente manera:

1. Se determina el espesor de la pastilla, en milímetros, utilizando un calibrador que permita una aproximación al décimo de mm. El espesor se calculará como el valor promedio considerando 4 medidas diametralmente opuestas. Por ejemplo: el espesor medido es 6.2 mm.
2. Se coloca el rugosímetro sobre una superficie plana (un piso de terrazo, por ejemplo) y se efectúa la lectura que corresponde a la posición que adopta el puntero cuando el patín móvil se encuentra sobre el piso (por ejemplo, lectura = 25). Se levanta el patín y se coloca la pastilla de calibración debajo de él, apoyándola sobre el piso. Esta acción hará que el puntero sobre el tablero se desplace, asumiendo una relación de brazos estándar de 1 a 10, una distancia igual al espesor de la pastilla multiplicado por 10 (es decir:  $6.2 \times 10 = 62$  mm), lo que significa, considerando que cada casillero mide 5 mm, que el puntero se ubicará aproximadamente en el casillero 12, siempre y cuando la relación de brazos actual del equipo sea igual a la asumida. Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$\text{F.C.} = (\text{EP} \times 10) / [(\text{LI} - \text{LF}) \times 5]$$

Donde:

EP: Espesor de la pastilla

LI: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Por ejemplo:

Si la posición inicial del puntero fue 25 y la final fue 10, entonces el Factor de Corrección será:

$$FC = (6.2 \times 10) / [(25-10) \times 5] = 0.82666$$

### **C. Variación de relación de brazos**

Para facilidad del trabajo, el rugosímetro admite dos posiciones para el patín del brazo pivotante.

- a. Una posición ubicada a 10 cm del punto de pivote, posición standard que se utiliza en el caso de pavimentos nuevos o superficies muy lisas (baja rugosidad). En ese caso la relación de brazos utilizada será 1 a 10.
- b. Una posición ubicada a 20 cm del punto de pivote, posición alterna que se utiliza en el caso de pavimentos afirmados muy deformados o pavimentos muy deteriorados. En ese caso la relación de brazos será 1 a 5. De usar esta posición, el valor D determinado deberá multiplicarse por un factor de 2.

### **C. Cálculo del Rango “D” corregido**

El valor D calculado en la sección 2.4.1, deberá modificarse considerando el Factor de Corrección (FC=0.82666) definido en la sección 2.4.2 y la Relación de Brazos empleada en los ensayos (RB=1). El valor D corregido será  $36.75\text{mm} \times 0.82666 \times 1 = 30.38\text{mm}$ . Este valor llevado a condiciones estándar es la rugosidad en “unidades MERLIN”.

#### **b.4.5 Determinación de la rugosidad en la escala del IRI**

Para transformar la rugosidad de unidades MERLIN a la escala del IRI, se usa las expresiones (1) y (2). Aplicando la expresión para el caso de  $IRI < 2.5$ , se obtiene finalmente, para el ejemplo seguido, una rugosidad igual a 1.47 m/km.

## **D. LIMITES DE LA RUGOSIDAD PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE PAVIMENTOS**

Para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o rehabilitados, la rugosidad o regularidad superficial se deberá controlar calculando el parámetro denominado IRI Característico, el cuál es definido por la siguiente expresión:

Donde:

$$\text{IRIc} = \text{IRIp} + 1.645 \sigma$$

IRIc : IRI característico

IRIp : IRI promedio

$\sigma$ : Desviación estándar

De acuerdo al factor de correlación empleado ( $K=1.645$ ), se cumplirá que el 95% del pavimento experimentará una rugosidad igual o menor al IRI característico.

Los parámetros mínimos de serviciabilidad exigibles a las soluciones que se plantee en cada uno de los sectores homogéneos, durante el período de servicio del tramo serán:

a) En superficie de rodadura de concreto asfáltico en caliente:

- IRIc menor a 3.5 m/Km durante los próximos 10 años.

b) En superficie de rodadura de tratamiento superficial:

- IRIc menor a 4.5 m/Km durante los próximos 10 años.

Los parámetros mínimos de serviciabilidad exigibles a las soluciones que se plantee en cada uno de los sectores homogéneos, para la recepción de los trabajos serán:

c) En superficie de rodadura de concreto asfáltico en caliente:

- IRIc menor a 2.5 m/Km.

d) En superficie de rodadura de tratamiento superficial:

- IRIc menor a 3.5 m/Km.

En caso de no cumplirse con estos límites, el sector o tramo deberá subdividirse en secciones de rugosidad homogénea, y se calculará el IRI característico para cada una de ellas, los que deberán cumplir los límites indicados.

Es el reconocimiento de aquellas deficiencias —fallas superficiales, la rugosidad, pérdida de fricción— que se relacionan principalmente con la calidad de la superficie y el estado general de las condiciones del pavimento, considerando todos aquellos factores que afectan negativamente a la serviciabilidad, seguridad y costos del usuario.

Las deficiencias, en detalle, son las siguientes:

### **1.- Fallas superficiales**

Son defectos o deterioros que se manifiestan en la superficie del pavimento y son medibles sin la necesidad de equipos especiales. Estos defectos tienen una importancia relativa en la serviciabilidad del pavimento, sin embargo su detección oportuna es importante debido a que permite prevenir el posible desencadenamiento de un deterioro acelerado y/o establecer un diagnóstico más preciso de las causas que originan el deterioro. Es importante por lo tanto efectuar un adecuado reconocimiento y cuantificación de estas fallas. Esto se realiza mediante una inspección (superficial y visual) empleando fichas diseñadas especialmente para este efecto.

#### **a.- Patología de los pavimentos**

La patología en la construcción se ha aplicado para describir el estudio de los problemas que aquejan a las edificaciones, entendido como una alteración del estado normal o ideal de funcionamiento, causados por diferentes problemas con origen en los procesos constructivos, en los materiales empleados, en las incompatibilidades entre materiales, en la acción del clima, o simplemente en la incompetencia profesional. El conjunto de aspectos de la patología (proceso

patológico) tiene normalmente una secuencia temporal: origen, evolución, síntoma, lesión o falla y estado actual.

Se debe hacer notar que las patologías de los pavimentos son el conjunto de síntomas o señales (sintomatología) que se manifiestan como: fallas, daños, deterioros, defectos.

## **b.- Clasificación de las fallas o deterioros.**

### **b.1 Por la manifestación de deterioros**

Pueden agruparse como deformaciones, desprendimientos, desplazamientos, fracturamientos, otros deterioros. Ver el cuadro de clasificación general de los deterioros de pavimentos articulados, y su correspondiente esquema.

#### **b.1.1 Descripción de los deterioros**

1) Deformaciones: entre las deformaciones se encuentran los abultamientos, los ahullamientos y las depresiones.

**Cuadro 2.5. Abultamientos, AB (m<sup>2</sup>)**

Descripción	Son levantamientos o protuberancias que se presentan en la superficie del pavimento.		
Severidad	Baja (B)	Flecha menor a 20 mm	
	Media (M)	Flecha entre 20 y 40 mm	
	Alta (A)	Flechas mayores a 40 mm	

**ENSAYOS PARA MEDICION DE LA RUGOSIDAD**  
(HOJA DE CAMPO)

PROYECTO <u>Carretera Central</u> SECTOR <u>Huayra - Huancayo</u> TRAMO <u>Huayra - Chicrin</u> CARRIL <u>Izquierdo</u>	OPERADOR _____ SUPERVISOR <u>A.C.H.M.</u> FECHA <u>G.S.G.</u> <u>15/Set/93</u>
--	---

ENSAYO Nº <u>1</u>	KM <u>0 + 000</u>	HORA <u>8:05</u>
--------------------	-------------------	------------------

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	23	20	25	23	25	23	25	24	24	25	TIPO DE PAVIMENTO : AFIRMADO <input type="checkbox"/> BASE GRANULAR <input type="checkbox"/> BASE IMPRIMIDA <input type="checkbox"/> TRATAMIENTO SICAPA <input type="checkbox"/> CARPETA EN FRODO <input type="checkbox"/> CARPETA EN CALIENTE <input checked="" type="checkbox"/> RECARGO ASFALTICO <input type="checkbox"/> SELLO <input type="checkbox"/>
2	25	19	25	24	25	23	25	24	24	24	
3	22	26	25	26	26	26	19	25	25	25	
4	25	23	26	24	24	26	25	25	25	25	
5	25	25	26	24	24	24	25	26	26	24	
6	26	25	26	26	26	24	24	26	26	24	
7	26	24	24	24	24	26	24	24	25	24	
8	25	24	24	26	26	26	24	24	25	24	
9	23	26	26	26	24	24	26	26	25	26	
10	25	26	24	24	23	24	24	24	24	26	
11	25	26	24	23	23	23	24	26	24	24	
12	26	24	26	25	25	23	26	24	26	24	
13	26	24	26	25	25	26	24	26	26	25	
14	25	25	25	25	26	25	25	26	26	19	
15	24	26	24	26	24	25	25	25	25	15	
16	22	24	23	26	24	23	24	25	25	25	
17	26	26	23	25	26	25	24	23	25	25	
18	26	26	25	25	26	25	26	23	24	26	
19	25	19	24	24	25	23	25	25	24	24	
20	25	26	23	25	25	24	26	25	25	26	

OBSERVACIONES : \_\_\_\_\_

(EJEMPLO DE DATOS DE CAMPO)

Fuente: PABLO M. DEL AGUILA, B.Sc. LAGESA Ingenieros Consultores

### 2.2.2.3 EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

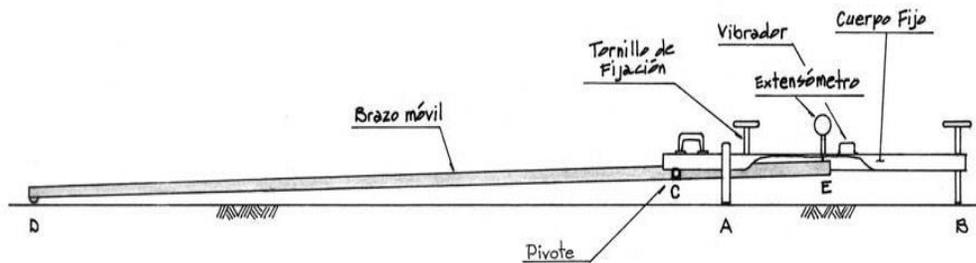
#### A. DEFLEXION:

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento flexible, por Acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado "Viga Benkelman". Llamado así en honor al Ing. A.C. Benkelman, quién la desarrollo en 1953 como parte del programa de ensayos viales de la ASSHO Road Test. Desde entonces su uso se ha difundido ampliamente en proyectos de evaluación estructural de pavimentos flexibles, tanto por su practicidad como por la naturaleza directa y objetiva de los resultados que proporciona.

**B. VIGA DE BENKELMAN:** El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura 1, la viga consta esencialmente de dos partes: (1) Un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno mediante tres apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) Un brazo móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto "D") y el otro se

encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto "E").

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son sólo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuanto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito. Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga (rebote elástico) y no la deformación al colocar ésta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existentes.



Fuente: PABLO M. DEL AGUILA, B.Sc. LAGESA Ingenieros Consultores

**C. ASFALTO:** Son materiales aglutinantes de color oscuro, constituida por mezcla compleja de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular. La ASTM (Sociedad americana de pruebas de materiales) establece como material aglutinante de consistencia variable, de color oscuro, se puede encontrar naturalmente y/o por refinación de petróleos.

**D. PAVIMENTO:** Estructura formada por una o más capas de materiales seleccionados y eventualmente tratados, que se colocan sobre la sub rasante con el objetivo de proveer una superficie de rodadura adecuada y segura bajo diferentes condiciones ambientales y que soporta las solicitaciones que impone el tránsito.

**D.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES:** Son los pavimentos constituidos por una capa de rodadura de mezcla bituminosa y donde la base y la sub base son estabilizados mecánicamente. Son pavimentos sujetos a fallas en la ciudad de Juliaca y están constituidos por una base granular de material seleccionado de espesor de 0.20 m y una carpeta asfáltica de .075 m de espesor de mezcla asfáltica en caliente.

Es la cuantificación de la capacidad estructural remanente presente en las distintas capas que componen la estructura del pavimento. Para evaluar la capacidad estructural del pavimento existen diversos procedimientos los cuales se estudiaron, clasificaron y analizaron.

Existe una gran diferencia entre el proceso de diseño de un pavimento nuevo y el proceso de diseño de la rehabilitación de un pavimento existente. En lo que se refiere a éste último, se dispone de un conjunto de materiales que ya están colocados y que han sufrido un deterioro por efecto del tránsito, de los agentes climáticos y el tiempo. Dichos materiales presentan un cierto valor estructural remanente, el cual es necesario considerar como aporte a los fines del diseño de la rehabilitación del pavimento, por lo tanto se impone como tarea previa en estos casos, a diferencia del diseño de un pavimento nuevo, la valoración o evaluación del pavimento en cuestión, la cual sólo es posible a través de procedimientos específicos.

La evaluación estructural de un pavimento existente abarca necesariamente los siguientes trabajos: 1) Evaluación superficial de la condición del pavimento. 2) Evaluación del sistema de drenaje. 3) Determinación de espesores y tipos de materiales constituyentes de la estructura de pavimento. 4) Medición de deflexiones superficiales del pavimento.



Fuente: Ing. Luc Gerard. *Evaluación de pavimentos e inventario vial*. (2005). Diseño, Construcción, Mantenimiento de Carreteras. I y IV Congreso de Obras de Infraestructura Vial. Instituto de la Construcción y Gerencia. 160 pp.

## **D.2 Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible.**

En lo que se refiere a la evaluación superficial, la misma debe considerar las fallas presentes en el pavimento de tal manera de valorarlas, tanto en magnitud como en severidad, para así tener un indicativo referencial de su condición. Para ello se dispone de la evaluación funcional del pavimento mediante la determinación del índice de condición del pavimento (PCI). Esta información se debe complementar, en especial con la medición de deflexiones, con la finalidad de establecer posibles correlaciones entre la condición superficial del pavimento y su deflexión superficial.

La evaluación estructural se realiza mediante ensayos no destructivos, en los que se miden las deflexiones -con equipos como: viga Benkelman, dynaflect, deflectómetro, falling weight deflectometer —y se realiza una evaluación empírica, para la vida remanente—; y ensayos destructivos, en los que se realizan calicatas, extracción de testigos, placa de carga, penetrómetro dinámico de cono.

## **D.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN**

- El punto de pavimento a ser ensayado deberá ser marcado con una línea transversal.
- La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado quedando éste ubicado entre ambas llantas.
- Se coloca la regla sobre el pavimento, detrás del camión perpendicularmente al eje de carga de modo que la punta de prueba coincida con el punto de ensayo y la regla no roce contra las cubiertas de la rueda dual.
- Se retira la traba de la regla y la base se ajusta por medio del tornillo trasero de modo tal que el brazo de medición quede en contacto con el vástago del dial.
- El flexímetro se ajusta de modo tal que el vástago tenga un recorrido libre comprendido entre 4 y 6 mm. Se gira la esfera del flexímetro hasta que la aguja quede en cero y se verifica la lectura golpeando suavemente con un lápiz y poniendo en marcha el vibrador de la regla. Girar la esfera si es necesario y repetir la operación hasta obtener la posición "0" (cero). El ensayo comenzará cuando se compruebe que dicha lectura permanece constante, asegurando el equilibrio del pavimento bajo carga. Se da por estabilizada la deformación producida por la carga cuando la lectura inicial varía en 0.01 mm/minuta o menos.
- Establecida la lectura inicial en cero, se hace avanzar suave y lentamente el camión hasta una distancia de 4 m. aproximadamente.
- Para determinar la Deflexión Recuperable, se lee el flexímetro cada 60 segundos golpeándolo suavemente con un lápiz. Cuando dos lecturas sucesivas no difieren en más de 0.01 mm. se da por finalizada la recuperación del pavimento (L).
- Para determinar la Curva de Recuperación Elasto-Retardada, se pone en marcha el cronómetro exactamente en el instante en que comienza a

Avanzar el camión y se lee el flexímetro a intervalos de 5 seg. Registrándose todas las lecturas hasta que dos lectura separadas por un lapso de 60 seg. no difieran en más de 0.01 mm. Cuando se cumple esta condición, se da por finalizada la recuperación correspondiendo la última lectura de la Deflexión Recuperable.

#### **D.4 METODOLOGÍA DE ANÁLISIS**

Se basan en el valor de la deflexión máxima y el tipo de curvatura que adopta la superficie cargada, siendo sus resultados confiables a medida que exista una base de comparación en una gran gama de variedades de estructuras.

#### **D.4.1 Cálculo de las Deflexiones**

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple. Para el caso de la deflexión máxima, se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para el caso de la deflexión a 25 cm, se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final.

Para el ejemplo se tiene:

$$\text{Deflexión máxima} = (200 - 155) \times 2 = 90 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

$$\text{Deflexión a 25cm} = (188 - 155) = 66 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

Las diferencias se multiplican por 2, debido a que la relación de brazos de la Viga Benkelman empleada es 1: 2.

#### **D.5. Corrección de las Deflexiones por efecto de la Temperatura**

Para medir la temperatura del pavimento se realiza un orificio (antes y durante el ensayo) y se llena con agua. Una vez pasado el tiempo necesario para que adquiera la temperatura del pavimento, se inserta el termómetro y se lee la temperatura.

Para un pavimento dado, la magnitud de las deflexiones aumenta con un incremento en la temperatura de la carpeta, atribuido a una menor rigidez

de la mezcla. Para corregir la deflexión por efecto de la temperatura, se aplica la siguiente fórmula:

$$D_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{Dt}{1 \times 10^{-3} (1 / \text{cm } ^{\circ}\text{C}) \times h \times (t - 20^{\circ}\text{C}) + 1}$$

Donde:

D<sub>t</sub> = Deflexión recuperable, medida a la temperatura "t" °C en centésimas de mm.

D<sub>20</sub> = Deflexión recuperable, medida a la temperatura estándar (20 °C).

h = Espesor de la carpeta asfáltica en cm. medido en el borde del pavimento.

t = temperatura de la carpeta asfáltica al momento de ejecutarse el ensayo.

## D.6 Corrección de las Deflexiones por Estacionalidad

La capacidad de deformación de los suelos esta influenciada por el grado de saturación que experimentan, por lo tanto, es deseable que la medición de deflexiones se realice durante la estación de lluvias, durante la cuál los suelos se encuentran en la situación más crítica. De no ser así, se debe efectuar la corrección de las medidas a fin de tomar en cuenta dicho aspecto. Para fines prácticos se propone el uso de los siguientes factores de corrección, considerando el tipo de suelo de subrasante y la época en que se realizaron los ensayos.

TIPO DE SUELO DE SUBRASANTE	ESTACION	ESTACION
Arenosa-permeable	1.0	1.1 a 1.3
Arcillosa-sensible al agua	1.0	1.2 a 1.4

### 2.2.2.3.1 Análisis de la capacidad estructural

#### a. Determinación del Radio de Curvatura

El grado de curvatura de la línea elástica de Deflexión es una característica de fundamental importancia, que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas elásticas al flexionar bajo las cargas, y en consecuencia, en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

El radio de curvatura queda definido por la siguiente relación, en la cual se considera que la línea de Deflexión se aproxima a una parábola hasta una distancia algo

mayor de 25 cm del eje de carga, para sufrir luego una inflexión y tender asintóticamente hacia la horizontal, la curvatura de la parábola queda definida por su parámetro, que en la zona de máxima curvatura se confunde practicante con el radio del circulo osculador en dicho punto.

$$R = \frac{10 \cdot (25^2)}{2(D_0 - D_{25})} = \frac{6250}{2(D_0 - D_{25})}$$

Donde:

R = Radio de Curvatura en metros

Do = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros

D25 = Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, en centésimas de milímetros, a 25 del eje de carga

10 = Coeficiente por cambio de unidades

Siguiendo la metodología de CONREVIAl se determinó los valores de deflexiones corregidos por temperatura y estacionalidad, se elaboró el deflectograma y se analizó a fin de definir sectores homogéneos y determinar valores representativos en base a la deflexión característica con una confiabilidad de 95%.

Adicionalmente se determinó el radio de curvatura, que expresa el grado de curvatura de la línea elástica de deflexión, es una característica de fundamental importancia que determina la magnitud de la deformación lineal por tracción que sufren las capas asfálticas al flexionar bajo carga y en consecuencia en el desarrollo del fisuramiento en forma de piel de cocodrilo.

Los trabajos de campo se complementaron mediante ensayos destructivos, consistentes en la extracción de testigos de pavimentos, de modo que con ellos se pueden efectuar mediciones de espesores de las distintas capas del pavimento y de la subrasante y realizar ensayos de densidad. La determinación de los puntos donde se ejecutaron las calicatas estuvieron relacionados con los resultados de la evaluación deflectométrica.

Se han efectuado un análisis estadístico por sectores de comportamiento homogéneo con la finalidad de determinar la Deflexión Característica, la Deflexión Admisible, la Deflexión Promedio y si requiere un aporte estructural o no.

#### **b. Deflectograma**

las medidas de deflexiones ha permitido un aporte de interés en el campo de la mecánica de calzadas al revelar la desuniformidad de su capacidad estructural, aún en aquellas consideradas como correctamente proyectadas y construidas, lo que obliga a su estudio con criterio probabilístico.

Una primera desuniformidad, en el sentido transversal se revela en muchos casos por las mayores deflexiones de la huella externa con respecto a la interna de un mismo carril, atribuidas principalmente a una reducción del confinamiento lateral asociada a la terminación del pavimento, y a condiciones más adversas de suelo, principalmente en lo que hace a su contenido de humedad y grado de densificación.

Por este motivo, las determinaciones se han conducido en la huella externa del carril considerado crítico a una distancia del borde variable en función del ancho de la calzada, según las recomendaciones indicadas en la norma de ensayo ya citada.

La desuniformidad en el sentido longitudinal se revela en la gran dispersión de valores individuales, aún para determinaciones muy próximas entre sí (por ejemplo 20m), debido a la variabilidad de las propiedades de los materiales y del proceso constructivo.

Dado que para interpretar los resultados no se puede considerar los valores individuales, surge la necesidad de establecer una deflexión que represente adecuadamente cada sección o tramo de pavimento, y, por ende, de una evaluación estadística.

Con este propósito los resultados obtenidos se vuelcan en un Deflectograma donde se grafica los resultados obtenidos en campo, permitiendo una visión global del conjunto de datos obtenidos.

El Deflectograma constituye un elemento fundamental para el análisis de la variabilidad de la capacidad estructural. En este sentido cabe destacar que el principal objetivo de la medición de deflexiones radica en poder diferenciar secciones de distinta capacidad estructural en un mismo tramo. Por lo tanto, es en base al deflectograma que se procede a:

- Diferenciar secciones de distinta capacidad estructural y/o comportamiento considerando
- Eliminar valores extremos aislados, no representativos y que distorsionan los resultados.
- Obtenidos los parámetros estadísticos, ubicar las perforaciones requeridas para interpretar los resultados, en zonas representativas de buen y mal comportamiento.
  - Delimitar secciones en las que se requiere intensificar los estudios o realizar estudios especiales.

El deflectograma es empleado para juzgar la capacidad portante del pavimento, cuando se dispone de los resultados de todos los estudios llevados a cabo.

#### **2.2.2.3.2 Análisis estadístico de los resultados**

Los estudios de deflexiones recuperables han demostrado que las deflexiones medidas en una sección de pavimento, presentan una distribución de frecuencias que se asemejan a una distribución normal.

Por ende, a partir de las deflexiones individuales, asumiendo que se hallan distribuidas de acuerdo a la ley de Gauss se han determinado la deflexión media ( $\bar{D}$ ), el desvío cuadrático medio o desviación standard ( $\sigma$ ) y el coeficiente de variación (CV), usando las siguientes expresiones; donde n es el número de determinaciones:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{I=1}^N D_I}{n}$$

Dado que la desviación estándar aumenta con un incremento de las deflexiones, y mayores deflexiones están asociadas a pavimentos más débiles, puede

concluirse que estos son en general más variables, y que la deflexión de diseño, cuando se utiliza en algún método para el cálculo del refuerzo, debe basarse tanto en la deflexión media como en la dispersión.

Para diseño se emplea la deflexión característica, valor que representa mejor a una determinada sección; siguiendo el criterio adoptado normalmente en análisis estadístico, se puede establecer como deflexión característica el valor:

$$D_c = \check{D} + t \sigma$$

Donde:

$D_c$  = Deflexión Característica

$\check{D}$  = Deflexión promedio de los valores individuales de  $D_o$  corregidos por temperatura y estacionalidad

$t$  = Coeficiente que representa al porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a la deflexión característica  $D_c$

$\sigma$  = Desviación Estándar

Considerando que cada deflexión media representa una cierta extensión o área de pavimento, cada valor de “t” corresponderá a un porcentaje del área total con probabilidad de presentar deflexiones superiores a las características  $D_c$  correspondiente.

En la tabla siguiente se indican los valores más frecuentes:

<b>VALOR DISEÑO</b>	<b>DEFLEXIÓN CARACTERISTICA</b>	<b>EXTENSION DEL PAVIMENTO CON</b>
50	$\check{D}$	50
75	$\check{D} + 0.674 \sigma$	25
85	$\check{D} + \sigma$	15
90	$\check{D} + 1.3 \sigma$	10
95	$\check{D} + 1.645 \sigma$	5
98	$\check{D} + 2 \sigma$	2

99	$\check{D} + 2.33 \sigma$	1
99.9	$\check{D} + 3 \sigma$	0.1

Tabla N° 01 Fuente: Carlos M. Chang Albitres. (2005). Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.150 pp.

En el caso del diseño de un refuerzo, el espesor deberá ser tal que solo una pequeña área resulte infradiseñada. La elección del valor de t es una decisión técnico – económica que dependerá del número de determinaciones, del grado de confiabilidad, de la relación entre costos de mantenimiento y de rehabilitación, de la variabilidad de capacidad estructural o constructiva, del tráfico, ubicación e importancia de la carretera, etc.

En el presente estudio se ha adoptado como deflexión característica aquella que corresponde al 95%, es decir la que es superada solo por el 5% de las determinaciones ( $\check{D} + 1.645 \sigma$ ), coincidente con lo sugerido por Ruiz en Argentina.

#### **2.2.2.2.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES**

Los resultados obtenidos de las mediciones de deflexiones se muestran en el Deflectograma adjunto, diferenciándose los valores del carril izquierdo como del carril derecho, asimismo los Resultados de Ensayos de Deflexiones se muestran.

Se realizó un procesamiento estadístico de la información deflectométrica, obteniéndose una primera sectorización compuesto por 7 sectores, cuyos valores de deflexión promedio, desviación estándar, desviación característica y coeficiente de variación para cada uno de ellos.

#### **2.2.2.4 INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO A METODO DEL PCI (Pavement Condition Index)**

El método de evaluación de pavimento PCI (Pavement Condition Index), fue desarrollado por M.Y. Shahin y S.D. Khon y publicado por el cuerpo de Ingenieros de la Armad de Estados Unidos en 1978.

El método P.C.I. para pavimentos de aeropuertos, carreteras y estacionamientos ha sido ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado, por diversas agencias como por ejemplo: la Federal Aviation Administration (FAA 1982), el U.S. Department of Defence (U.S. Air Force 1981 y U.S Army 1982), la American Public Work Association (APWA 1984), etc. Además, el PCI para aeropuertos ha sido publicado por la ASTM como método de análisis (ASTM 1983)<sup>3</sup>. En 1982 la Federal Aviation Administration FAA, a través de su Circular AC 150/5380-6 de 03/12/1982, denominada “Guidelines and Procedures for Maintenance for Airport Pavement”, recomendó este método, teniendo amplio uso en los aeropuertos de EE UU.

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el Cuadro se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

El índice de condición del pavimento (PCI, por su sigla en inglés) se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad.

La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas: el procedimiento es enteramente manual y suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y el área afectada. El procedimiento ofrece buena repetibilidad y confiabilidad estadística de los resultados y el mismo fue originalmente desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos y presentado en el año 1978 por los Ingenieros M. Y. Shahin y S. D. Khon.<sup>37</sup>

El PCI es un indicador numérico que le da una calificación a las condiciones superficiales del pavimento. Proporciona una medición de las condiciones actuales del pavimento basada en las fallas observadas en su superficie,

indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad). El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, y tampoco proporciona determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al resbalamiento) o la rugosidad general. Proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Un monitoreo continuo del PCI es utilizado para establecer el ritmo de deterioro del pavimento, a partir del cual se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores. El PCI proporciona información sobre el rendimiento del pavimento para su validación o para incorporar mejoras en su diseño y procedimientos de mantenimiento.

El PCI, se constituye en la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad. La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado. En el cuadro se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

Indice de condición del pavimento	Ranking de condición del pavimento
0 < PCI < 10	Fallado
10 < PCI < 25	Muy pobre
25 < PCI < 40	Pobre
40 < PCI < 55	Regular
55 < PCI < 70	Bueno
70 < PCI < 85	Muy bueno
85 < PCI < 100	Excelente

Tabla N° 02 Fuente: Carlos M. Chang Albitres. (2005). Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.150 pp.

## **B.MARCO CONCEPTUAL**

Para esta parte del estudio se utilizó el Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. MTC, MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, Dirección general de caminos y ferrocarriles, 2008; y Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma CE 010 Pavimentos urbanos, 2010; excepto en los casos indicados expresamente.

Adoquín. Piedra labrada, concreto u otro material en forma de prisma para uso en pavimentos.

Adoquinado. Tipo de pavimento cuya superficie de rodadura está formada por adoquines.

Carretera urbana. Es posible distinguir funcionalmente una carretera urbana frente a otra trazada fuera del poblado o una calle de la ciudad. Para diferenciarse de las calles urbanas, se considera que las carreteras objeto de este estudio:<sup>38</sup>

-Canalizan movimientos de paso de acceso provenientes del exterior de la ciudad cuya intensidad, si bien puede ser inferior a la de los vehículos estrictamente urbanos, no deja de ser apreciable.

Para diferenciarlas, a su vez, de las carreteras fuera de poblado, se considera que la carretera es urbana si:

-Son utilizadas parcialmente por tráfico urbano.

-Atraviesan áreas urbanas consolidadas o prevista por el ordenamiento urbanístico.

-Generan impactos ambientales sobre el medio urbano próximo.

Deterioro generalizado. El pavimento presenta una sintomatología muy repetida, la cual, dependiendo del tipo de falla, se puede manifestar en forma continua o discreta, pero siempre en forma repetitiva y con un patrón similar a lo largo del proyecto. Este tipo de deterioro por lo general es más fácil de diagnosticar y cuantificar, pero según la intensidad que éste presente al momento de la evaluación, puede resultar más

difícil poder aislar la causa principal que dio origen al deterioro.39

Deterioro localizado. Este tipo de deterioro se presenta de forma puntual o tipo localizado, de forma aleatoria y no responde a ninguna sintomatología en especial. Por lo general su causa es producto de situaciones singulares, relacionadas a fallas locales de calidad, a la variabilidad natural de materiales utilizados, a la variabilidad esperada de los procesos constructivos (espesores, densidades, etc.) o a la variabilidad del suelo de fundación.40

Falla. Defecto material de una cosa que merma su resistencia.41

Fallas del Pavimento. Indicadores externos del deterioro del pavimento causado por cargas, factores atmosféricos, deficiencias en su construcción, o una combinación de estas. Fallas típicas son las fisuras, el ahuellamiento, y peladura superficial del pavimento.

Gestión de pavimentos. Proceso de toma de decisiones económicamente efectivas acerca de diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de carreteras.

Gestión de pavimentos a nivel de red. Normalmente se relaciona con el proceso presupuestario para identificar los trabajos de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, la selección de secciones a reparar o mantener, y la terminación de los efectos de varias opciones sobre el comportamiento del sistema de pavimentos, como también el bienestar global de la comunidad.

Gestión de pavimentos a nivel de proyecto. Es proveer la estrategia más económica posible del diseño inicial, mantenimiento, rehabilitación o reconstrucción para una sección de pavimento seleccionado dado el financiamiento disponible.

Mantenimiento Periódico. Conjunto de actividades programables cada cierto periodo, que se realizan en las vías para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a:  
i) reposición de capas de rodadura, colocación de capas nivelantes y sello,

ii) reparación o reconstrucción puntual de capas inferiores del pavimento, iii) reparación o reconstrucción puntual de túneles, muros, obras de drenaje, elementos de seguridad vial y señalización, iv) reparación o reconstrucción puntual de la plataforma de carretera y v) reparación o reconstrucción puntual de los componentes de los puentes tanto de la superestructura como de la subestructura.

Mantenimiento rutinario. Conjunto de actividades que se realizan en las vías con carácter permanente para conservar sus niveles de servicio. Estas actividades pueden ser manuales o mecánicas y están referidas principalmente a labores de limpieza, bacheo, perfilado, roce, eliminación de derrumbes de pequeña magnitud; así como, limpieza o reparación de juntas de dilatación, elementos de apoyo, pintura y drenaje en la superestructura y subestructura de los puentes.

Mantenimiento vial. Conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario, puede ser de naturaleza rutinaria o periódica.

Muestra. Es un segmento de una población seleccionado según la norma correspondiente o un procedimiento estadístico aceptado, para representar a toda la población.

Nivel de servicio PSI. Es un parámetro que califica la serviciabilidad de una vía

<b>Rango PCI %</b>	<b>Color</b>	<b>Estado</b>
0-10		Falla
11-25		Muy Malo
26-40		Malo
41-55		Regular
56-70		Bueno
71-85		Muy Bueno
86-100		Excelente

Tabla N° 03 Fuente: Carlos M. Chang Albitres. (2005). Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.150 pp.

Patología. 1) Parte de la medicina que estudia las enfermedades. 2) Conjunto de síntomas de una enfermedad.

Pérdida de serviciabilidad ( $\Delta\psi$ ). Es el cambio en la serviciabilidad de una vía durante el período de diseño y se define como la diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.

Período de diseño. Es el tiempo, normalmente expresado en años, transcurrido entre la construcción (denominada año cero) y el momento de la rehabilitación del pavimento.

Sección de pavimento. Es un área dentro del pavimento que presenta una construcción uniforme y continua, mantenimiento, historial de uso y condiciones uniformes. Una sección también debe tener el mismo volumen de tránsito e intensidad de carga.

Serviciabilidad. Habilidad de un pavimento para servir a los tipos de solicitaciones (estáticas o dinámicas) para los que han sido diseñados.

Síntoma. 1) Fenómeno revelador de una enfermedad. 2) Señal, indicio de algo que está sucediendo o va a suceder.<sup>45</sup>

Sistema de gestión de pavimentos (SGP). Herramienta de soporte para la toma de decisiones utilizada para tomar decisiones económicamente efectivas concernientes a la administración de pavimentos.

Unidad de muestreo. Se define como un segmento de la carretera con una longitud determinada, en donde se realizará la inspección. Se identifica mediante un balizado y se localiza cada ciertos intervalos que determinan la frecuencia de muestreo. El tamaño, número y frecuencia de muestreo requiere de un análisis estadístico basado en el principio de muestreo sistemático, restringido como máximo a un 10 % de error y un intervalo de confianza del 95 %.<sup>46</sup>

Vía urbana. Espacio destinado al tránsito de vehículos y/o personas que se encuentra dentro del límite urbano.

para una sección de pavimento seleccionado dado el financiamiento disponible.

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 que cada daño presenta. 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.

La primera 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 registra en formatos adecuados para tal fin. Las figuras son ilustrativas y en la práctica debe proveerse el espacio necesario para consignar toda la información pertinente.

Se debe establecer el Inventario de Pavimentos; es decir, los pavimentos se separan definiéndose los siguientes conceptos:

RED: El conjunto de pavimentos a ser administrados (todas las calles pavimentadas es una red).

RAMA: Parte fácilmente identificable de la red (p. ej.: las cuadras de una calle).<sup>26</sup>

SECCIÓN: La menor unidad de administración con características homogéneas (p. ej.: tipo de pavimento, estructura, historia de construcción, condición actual, etc.).

El siguiente cuadro describe en resumen:

<b>PCI</b>	<b>ESTADO</b>	<b>INTERVENCION</b>
0 - 30	Malo	Construcción
31 - 70	Regular	Rehabilitación
71 - 100	Bueno	Mantenimiento

Tabla N° 04 Fuente: Carlos M. Chang Albitres. (2005). Evaluación, diseño, construcción, gestión: pavimentos, un enfoque al futuro. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima, Perú.150 pp.

## DETERMINACION DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA EVALUACION

En la “Evaluación De Una Red” puede tenerse un número muy grande de unidades de muestreo cuya inspección demandará tiempo y recursos considerables; por lo tanto, es necesario aplicar un proceso de muestreo.

En la “Evaluación de un Proyecto” se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la Ecuación, la cual produce un estimado del  $PCI \pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N s^2}{((e^2 / 4) * (N - 1) + s^2)}$$

Formula N° 01. Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e: Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5%)

s: Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Durante la inspección inicial se asume una desviación estándar(s) del PCI de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35) En inspecciones subsecuentes se usará la desviación estándar real (o el rango PCI) de la inspección previa en la determinación del número mínimo de unidades que deben evaluarse.

### 2.1.1.6.2. SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la Ecuación

$$i = \frac{N}{n}$$

Formula N° 02. Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.

Donde:

N: Número total de unidades de muestreo disponible. n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3)

El inicio al azar se selecciona entre la unidad de muestreo 1 y el intervalo de muestreo i.

Así, si  $i = 3$ , la unidad inicial de muestreo a inspeccionar puede estar entre 1 y 3. Las unidades de muestreo para evaluación se identifican como (S), (S + 1), (S + 2), etc.

### **2.2.2.5 HIPOTESIS**

#### **2.2.2.5.1 Hipótesis General**

HG.- La evaluación con métodos no destructivos empleando la viga benkelman y el rugosímetro, es eficiente.

#### **2.2.2.5.2 Hipótesis Específicos**

HE 1.- la viga benkelman es una herramienta de bastante utilidad para la evaluación estructural de pavimento.

HE 2.- el equipo rugosímetro merlín es un equipo importante para la evaluación funcional de pavimento.

HE 2.- la condición del pavimento es una evaluación de la serviciabilidad existente del pavimento. El cual se determina con la medición de fisuras y baches.

### **2.2.2.6. Variables e indicadores**

#### **2.2.2.6.1. Las variables:**

Son propiedades, características o atributos que se dan en las unidades de estudio (personas, grupos, etc.) o por derivación de ellas; siempre deben ser medibles.

Las variables individuales corresponden a las unidades de estudio individuales. Las variables colectivas son propiedades de grupos y su medición se basa en las propiedades individuales que poseen sus miembros.

El análisis estadístico de las variables individuales y las variables colectivas; incluso dentro de un mismo objetivo, no siempre es el mismo.

#### **2.2.2.6.2. VARIABLES INDEPENDIENTES:**

X = VALORES DE DEFLEXION DE LA SUB BASE Y BASE

X = VALORES DE RUGOSIMETRO DE FISURAS Y BACHES

X = VALORES DE INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO

#### **2.2.2.6.3. VARIABLES DEPENDIENTES:**

Y = CARACTERIZACION DE DEFLEXION DE LA SUB BASE Y BASE

Y = CARACTERIZACION DE RUGOSIMETRO DE FISURAS Y BACHES

Y = CARACTERIZACION DE INDICE DE CONDICION DE PAVIMENTO

## **CAPITULO III METODOLOGIA**

### **3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

#### **a. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El presente estudio según el enfoque es de tipo cuantitativo que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos que se obtiene de ensayos de medición para la prueba de hipótesis.

Asimismo, el propósito es aplicativo, tiene por finalidad la búsqueda y consolidación del saber nuevo, es decir, demostrar su validez en la evaluación con métodos no destructivos entre el tramo km 7+000 al 12+000 Juliaca Lampa, que se aplica en la realidad de estudio.

Por las características de la investigación es de naturaleza experimental, consiste en la manipulación de diferentes factores no comprobadas con la finalidad de descubrir métodos no destructivos mediante viga benkelman, rugosímetro y PCI. Por el tipo de datos con que se trabaja es de cohorte prospectivo, ya que pretende identificar las posibles causas y se intenta definir los posibles efectos en las variables de estudio.

## **b. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El presente estudio es de nivel experimental pragmático, pues trata de resolver con métodos no destructivos empleando la viga benkelman, rugosímetro y la condición de pavimento demostrando el éxito de la intervención en el objeto en estudio.

El método utilizado en el presente trabajo de investigación es el de determinación de la evaluación de pavimento flexible con viga benkelman, rugosímetro, y PCI. En laboratorio de campo se realizará los ensayos, en el gabinete se hará la evaluación, análisis y discusión de la tesis y finalmente la redacción del informe.

## **3.2. MÉTODO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

### **a. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

El método utilizado en el presente trabajo de investigación es el de determinación de la evaluación de pavimento flexible con viga benkelman, rugosímetro, y PCI. En laboratorio de campo se realizará los ensayos, en el gabinete se hará la evaluación, análisis y discusión de la tesis y finalmente la redacción del informe. Laboratorio de suelos.

### **b. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño corresponde a una investigación no experimental, la cual se define como aquella que se realiza sin manipular deliberadamente las variables (independientes). Según su dimensión temporal el diseño es transversal o transaccional; puesto que la recolección de datos es en un solo momento. Finalmente, el enfoque es mixto, predominantemente cuantitativo con valoraciones e interpretaciones cualitativas.

## **Etapa 1: Trabajos previos**

### **1.1) Recopilación de antecedentes preliminares.**

Búsqueda, ordenamiento, análisis y validación de los datos existentes y de toda la información necesaria: expediente técnico, planos catastrales, etc.

### **1.2) Estudio previo o sondeo.**

Mediante visitas in situ (primeras mediciones).

### **1.3) Determinación del tamaño y el número de muestras.**

Se deberá definir el tamaño y el número de muestras.

### **1.4) Elaboración de los formatos de encuesta.**

Denominados también formatos de inspección u hojas de inspección, donde se registrará los datos de campo.

## **Etapa 2: Trabajo de campo (inspección visual) para una unidad de muestreo.**

Se realiza en tres pasos, y en cada una de las unidades de muestreo, previamente seleccionadas, distribuidas e indicadas en los planos.

### **2.1) pruebas y ensayos en campo con viga benkelman.**

Se evalúan los deterioros, de la parte estructural de pavimento flexible.

### **2.2) pruebas y ensayos en campo con rugosímetro.**

Se evalúan los deterioros de la parte funcional de pavimento flexible. La calificación puede ser baja, media o alta, según la gravedad.

### **2.3) Medición de los deterioros.**

**Se realiza en unidades de área (m<sup>2</sup>).**

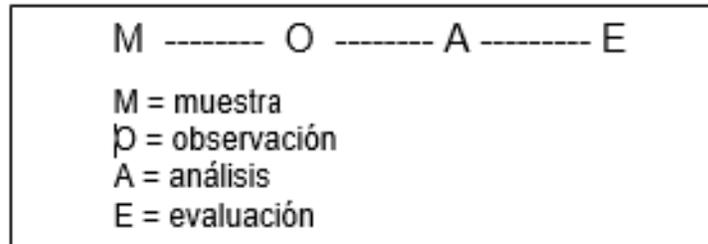
El registro de datos se realiza en una hoja de inspección.

Etapa 3: Procesamiento de datos de viga benkelman, rugosímetro y cálculo del índice de condición del pavimento PCI

### **2.4) Cálculos y análisis.**

Se utilizan los datos de campo registrados en los formatos, para todas las unidades de muestreo. Previamente se clasifican los deterioros (estructural y/o funcional).

En resumen, el diseño se grafica de la siguiente forma:



Fuente: Ing. Luc Gerard. Evaluación de pavimentos e inventario vial. (2005).  
Diseño, Construcción, Mantenimiento de Carreteras. I y IV Congreso de Obras de  
Infraestructura Vial. Instituto de la Construcción y Gerencia. 160 pp.











# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

TESIS	:	EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000 XXXXXXXXXXXXX		
ESTRUCTURA	:	CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA	TECNICO RESPONSABLE	: ELMER MOCHICA MAMANI
PROGRESIVA	:	7+000-7+950	INGENIERO RESPONSABLE	: ASESOR DE TESIS
CARRIL	:	DERECHO	FECHA	: 30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE	8 200 kg.	RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO	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				CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm	
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>c</sub>	D <sub>25</sub> 25 cm.	RADIO DE CURVATUR A RC (m)	T	CC		C 1/2L
7+000	0.00	2	7	14	22.0	30.0	02:00	14.00	12	48.02	41.16	0.93	44.67				38.29	489.70				
7+050	0.00	2	7	18	22.0	31.0	02:02	18.00	16	61.74	54.88	0.92	57.03				50.70	493.12				
7+100	0.00	2	6	14	21.0	31.0	02:04	14.00	12	48.02	41.16	0.92	44.36				38.02	493.12				
7+150	0.00	2	7	12	21.0	30.0	02:06	12.00	10	41.16	34.30	0.93	38.29	<b>46.09</b>	<b>7.87</b>	<b>59.03</b>	31.91	489.70				
7+200	0.00	2	7	13	20.0	30.0	02:08	13.00	11	44.59	37.73	0.93	41.48				35.10	489.70				
7+250	0.00	2	6	14	21.0	30.0	02:10	14.00	12	48.02	41.16	0.93	44.67				38.29	489.70				
7+300	0.00	2	7	12	21.0	30.0	02:12	12.00	10	41.16	34.30	0.93	38.29				31.91	489.70				
7+350	0.00	2	6	10	21.0	32.2	02:14	10.00	8	34.30	27.44	0.92	31.42	<b>38.97</b>	<b>5.66</b>	<b>48.28</b>	25.14	497.22				
7+400	0.00	3	7	13	20.0	31.2	02:16	13.00	10	44.59	34.30	0.92	41.13				31.64	329.20				
7+450	0.00	2	6	10	20.0	30.0	02:18	10.00	8	34.30	27.44	0.93	31.91				25.53	489.70				
7+500	0.00	2	7	13	20.0	30.0	02:20	13.00	11	44.59	37.73	0.93	41.48				35.10	489.70				
7+550	0.00	2	7	14	18.0	31.0	02:22	14.00	12	48.02	41.16	0.92	44.36	<b>39.72</b>	<b>5.41</b>	<b>48.61</b>	38.02	493.12				
7+600	0.00	2	6	15	17.5	29.0	02:24	15.00	13	51.45	44.59	0.94	48.20				41.77	486.29				
7+650	0.00	2	5	9	15.5	28.0	02:26	9.00	7	30.87	24.01	0.94	29.12				22.65	482.87				
7+700	0.00	2	6	11	15.6	28.0	02:28	11.00	9	37.73	30.87	0.94	35.59				29.12	482.87				
7+750	0.00	2	5	11	15.5	28.0	02:30	11.00	9	37.73	30.87	0.94	35.59	<b>37.13</b>	<b>7.99</b>	<b>50.26</b>	29.12	482.87				
7+800	0.00	2	6	10	15.5	28.6	02:32	10.00	8	34.30	27.44	0.94	32.22				25.78	484.92				
7+850	0.00	2	5	8	14.5	27.5	02:34	8.00	6	27.44	20.58	0.95	25.98				19.48	481.16				
7+900	0.00	2	4	10	14.0	28.0	02:36	10.00	8	34.30	27.44	0.94	32.36				25.89	482.87				
7+950	0.00	2	5	11	14.0	28.6	02:38	11.00	9	37.73	30.87	0.94	35.44	<b>31.50</b>	<b>3.97</b>	<b>38.03</b>	29.00	484.92				

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

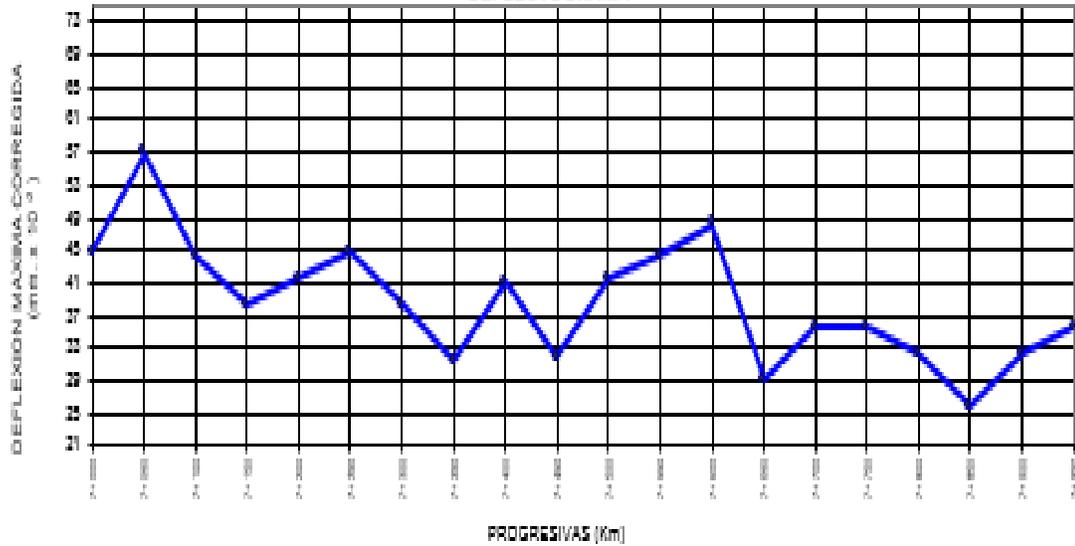
**TESIS** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7-III AL 13-III  
XXXXXXXXXXXX

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA      **TECNICO RESPONSAB** : :ELMER HOCHICA MAMANI

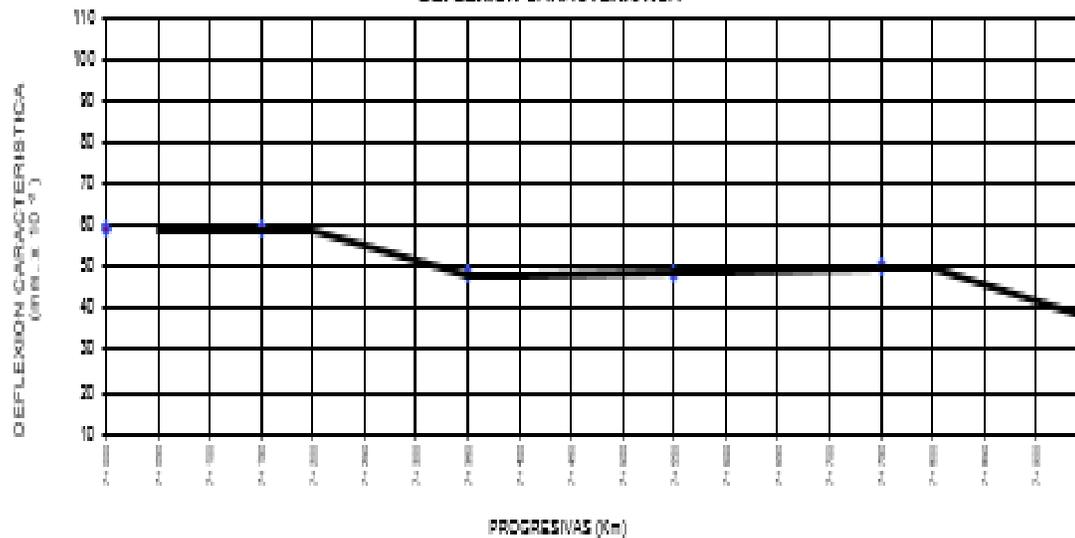
**PROGRESIVA** : 7-III-7-III      **INGENIERO RESPONS** : :ASESOR DE TESIS

**CARRIL** : DERECHO      **FECHA** : III/III/III

DEFLECTOGRAMA



DEFLESION CARACTERISTICA



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO	EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000 XXXXXXXXXXXX		
ESTRUCTURA	CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA	TECNICO RESPONSABLE	ELMER MOCHICA
PROGRESIVA	8+000-8+950	INGENIERO RESPONSABLE	ASESOR DE TESIS
CARRIL	DERECHO	FECHA	30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE	8 200 kg.	RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO	3.43:1	FACTOR DE CORRECCION (Kv)	1.0
CARGA POR ENSAYO	4 100 kg.	UNIDAD DE LECTURA	1/100 mm	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				CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATUR A RC (m)			TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm	
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>e</sub>	D <sub>25</sub> 25 cm.	T	CC	C 12 L					
1+000	0.00	3	7	17	17.5	26.0	02:40	17.00	14	58.31	48.02	0.96	55.80				45.95	317.36							
1+050	0.00	2	7	16	17.5	27.0	02:42	16.00	14	54.88	48.02	0.95	52.14				45.62	479.46							
1+100	0.00	2	6	15	18.0	26.0	02:44	15.00	13	51.45	44.59	0.96	49.23				42.67	476.04							
1+150	0.00	2	7	15	18.0	26.5	02:46	15.00	13	51.45	44.59	0.95	49.06	<b>51.56</b>	<b>3.16</b>	<b>56.76</b>	42.52	477.75							
1+200	0.00	2	8	17	18.0	26.5	02:48	17.00	15	58.31	51.45	0.95	55.60				49.06	477.75							
1+250	0.00	2	6	12	18.5	26.5	02:50	12.00	10	41.16	34.30	0.95	39.25				32.71	477.75							
1+300	0.00	2	6	14	18.5	27.0	02:52	14.00	12	48.02	41.16	0.95	45.62				39.11	479.46							
1+350	0.00	2	6	11	17.0	28.5	02:54	11.00	9	37.73	30.87	0.94	35.47	<b>43.98</b>	<b>8.80</b>	<b>58.47</b>	29.02	484.58							
1+400	0.00	2	6	12	16.0	28.0	02:56	12.00	10	41.16	34.30	0.94	38.83				32.36	482.87							
1+450	0.00	2	5	11	16.0	28.6	02:58	11.00	9	37.73	30.87	0.94	35.44				29.00	484.92							
1+500	0.00	2	6	12	16.5	29.0	03:00	12.00	10	41.16	34.30	0.94	38.56				32.13	486.29							
1+550	0.00	2	6	11	16.6	29.6	03:02	11.00	9	37.73	30.87	0.93	35.20	<b>37.01</b>	<b>1.95</b>	<b>40.22</b>	28.80	488.34							
1+600	0.00	2	5	9	15.0	29.5	03:04	9.00	7	30.87	24.01	0.93	28.82				22.41	488.00							
1+650	0.00	2	6	11	16.5	29.5	03:06	11.00	9	37.73	30.87	0.93	35.22				28.82	488.00							
1+700	0.00	2	5	10	17.0	29.0	03:08	10.00	8	34.30	27.44	0.94	32.13				25.70	486.29							
1+750	0.00	2	5	8	17.0	29.0	03:10	8.00	6	27.44	20.58	0.94	25.70	<b>30.47</b>	<b>4.11</b>	<b>37.24</b>	19.28	486.29							
1+800	0.00	2	5	8	17.5	28.6	03:12	8.00	6	27.44	20.58	0.94	25.78				19.33	484.92							
1+850	0.00	2	6	9	17.0	28.0	03:14	9.00	7	30.87	24.01	0.94	29.12				22.65	482.87							
1+900	0.00	2	5	9	17.0	28.8	03:16	9.00	7	30.87	24.01	0.94	28.96	<b>27.95</b>	<b>1.89</b>	<b>31.06</b>	22.52	485.60							

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

**TECNICO RESPONSAB** : ELMER HUACHICA

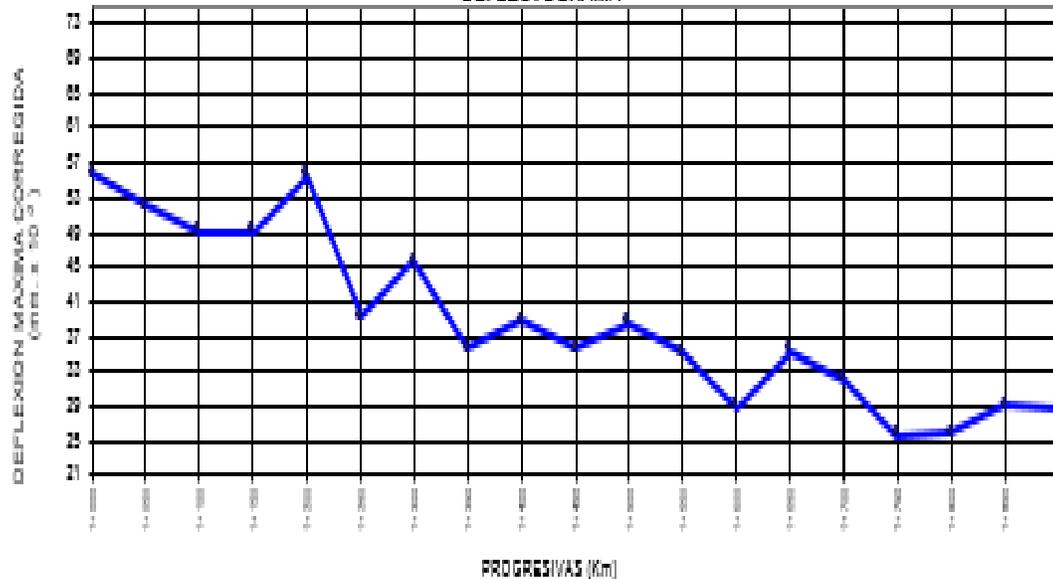
**PROGRESIVA** : 7+000-12+000

**INGENIERO RESPONS** : ASESOR DE TESIS

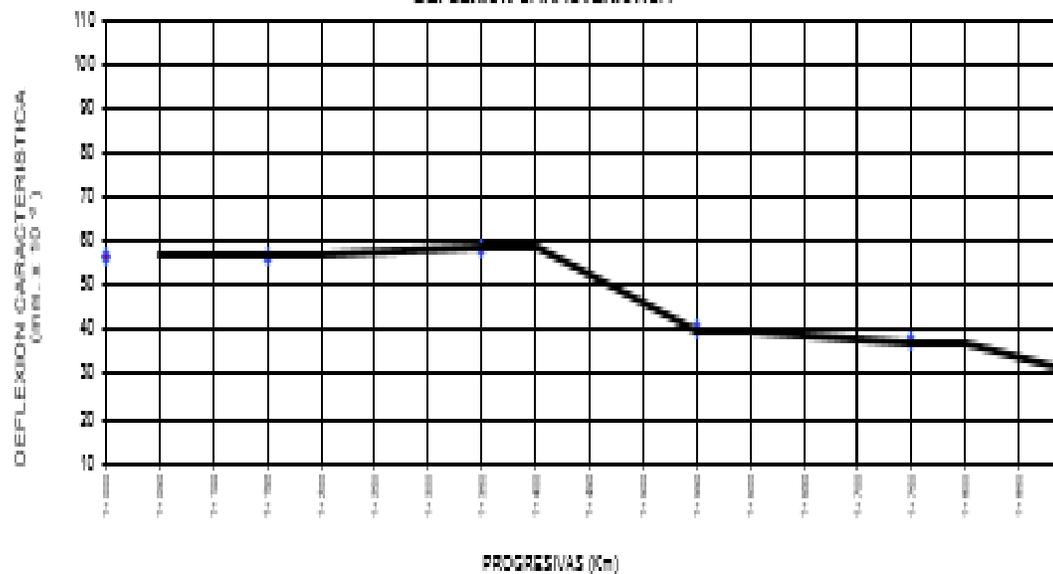
**CARRIL** : DERECHO

**FECHA** : 00/00/00

### DEFLECTOGRAMA



### DEFLEXION CARACTERISTICA





# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7-III AL 12-III

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA-LAMPA

**TECNICO RESPONSAB** : ELMER MACHICA

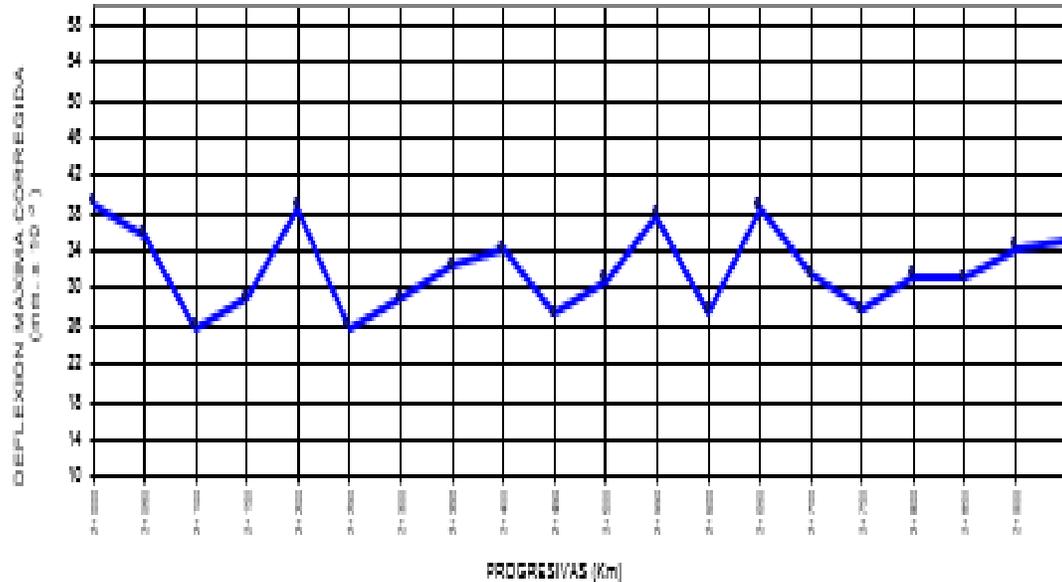
**PROGRESIVA** : 5-III-3-32E

**INGENIERO RESPONS** : ASesor DE TESIS

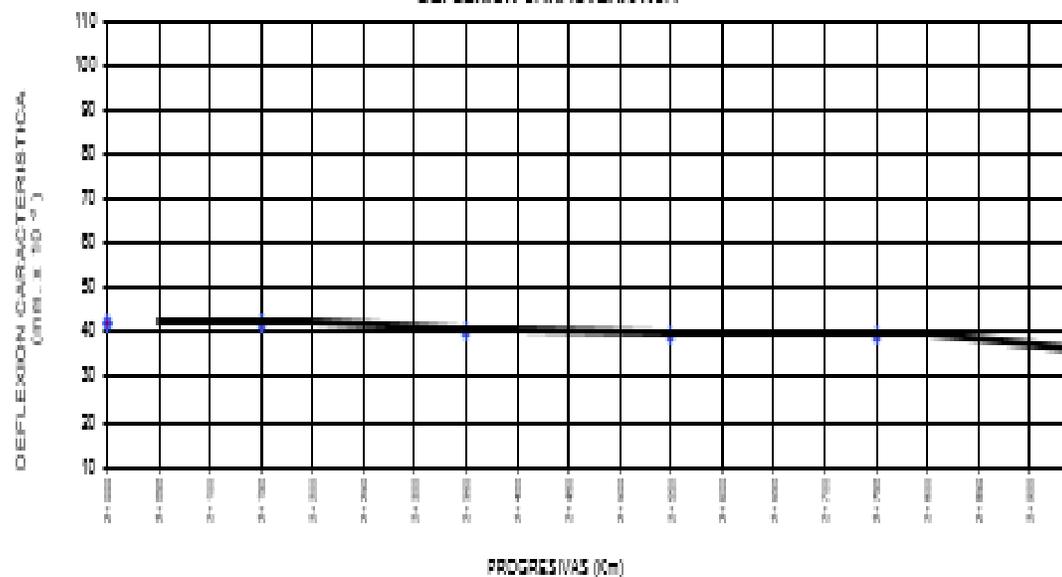
**CARRIL** : DERECHO

**FECHA** : III/III/III

**DEFLECTOGRAMA**



**DEFLEXION CARACTERISTICA**



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPATRAMO, KM7+000 AL 12+000

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA

PROGRESIVA : 10+000-10+950

INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS

CARRIL : DERECHO

FECHA : 30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE : 8 200 kg. RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO : 3.43:1 FACTOR DE CORRECCION (Kv) : 1.0

CARGA POR ENSAYO : 4 100 kg. UNIDAD DE LECTURA : 1/100 mm 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 10 <sup>-2</sup>		CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATURA RC (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lí (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>c</sub>	D <sub>25</sub> 25 cm.		T	CC	C 12L	
3+000	0.00	2	5	11	12.5	24.0	03:58	11.00	9	37.73	30.87	0.97	36.63				29.97	469.21				
3+050	0.00	2	6	14	13.5	24.0	04:00	14.00	12	48.02	41.16	0.97	46.62				39.96	469.21				
3+100	0.00	2	5	12	13.0	24.5	04:02	12.00	10	41.16	34.30	0.97	39.82				33.18	470.91				
3+150	0.00	2	6	14	14.5	25.0	04:04	14.00	12	48.02	41.16	0.96	46.28	42.34	4.93	50.44	39.67	472.62				
3+200	0.00	2	6	12	14.0	25.5	04:06	12.00	10	41.16	34.30	0.96	39.53				32.94	474.33				
3+250	0.00	2	7	13	14.0	24.0	04:08	13.00	11	44.59	37.73	0.97	43.29				36.63	469.21				
3+300	0.00	2	6	13	15.6	22.9	04:10	13.00	11	44.59	37.73	0.98	43.64				36.93	465.45				
3+350	0.00	3	7	14	14.6	22.2	04:12	14.00	11	48.02	37.73	0.98	47.23	43.42	3.15	48.60	37.11	308.75				
3+400	0.00	2	6	14	16.5	22.0	04:14	14.00	12	48.02	41.16	0.99	47.31				40.55	462.37				
3+550	0.00	2	7	14	15.5	23.2	04:20	14.00	12	48.02	41.16	0.98	46.89				40.20	466.47				
3+600	0.00	2	7	14	16.6	20.0	04:22	14.00	12	48.02	41.16	1.00	48.02				41.16	455.54				
3+650	0.00	2	5	11	15.5	20.0	04:24	11.00	9	37.73	30.87	1.00	37.73	44.99	4.86	52.99	30.87	455.54				
3+700	0.00	2	6	12	14.5	20.0	04:26	12.00	10	41.16	34.30	1.00	41.16				34.30	455.54				
3+750	0.00	2	7	13	14.0	20.2	04:28	13.00	11	44.59	37.73	1.00	44.52				37.67	456.22				
3+800	0.00	2	7	17	14.0	23.0	04:30	17.00	15	58.31	51.45	0.98	57.03				50.32	465.79				
3+850	0.00	2	8	16	14.5	23.2	04:32	16.00	14	54.88	48.02	0.98	53.59	49.08	7.46	61.35	46.89	466.47				
3+900	0.00	2	5	12	14.6	20.5	04:34	12.00	10	41.16	34.30	1.00	41.01				34.17	457.25				
3+950	0.00	2	6	15	16.0	19.0	04:36	15.00	13	51.45	44.59	1.01	51.84				44.93	452.12				

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA



**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7- III AL 12- III

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

**TECNICO RESPONSAB** : :ELMER MOCHICA

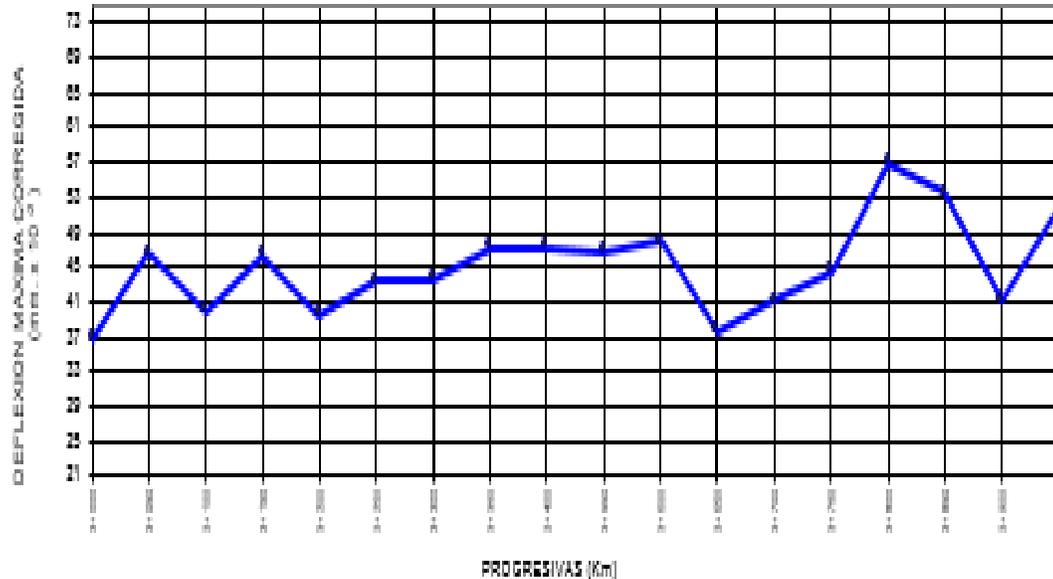
**PROGRESIVA** : 10- III- 10-350

**INGENIERO RESPONSA** : : RESOR DE TESIS

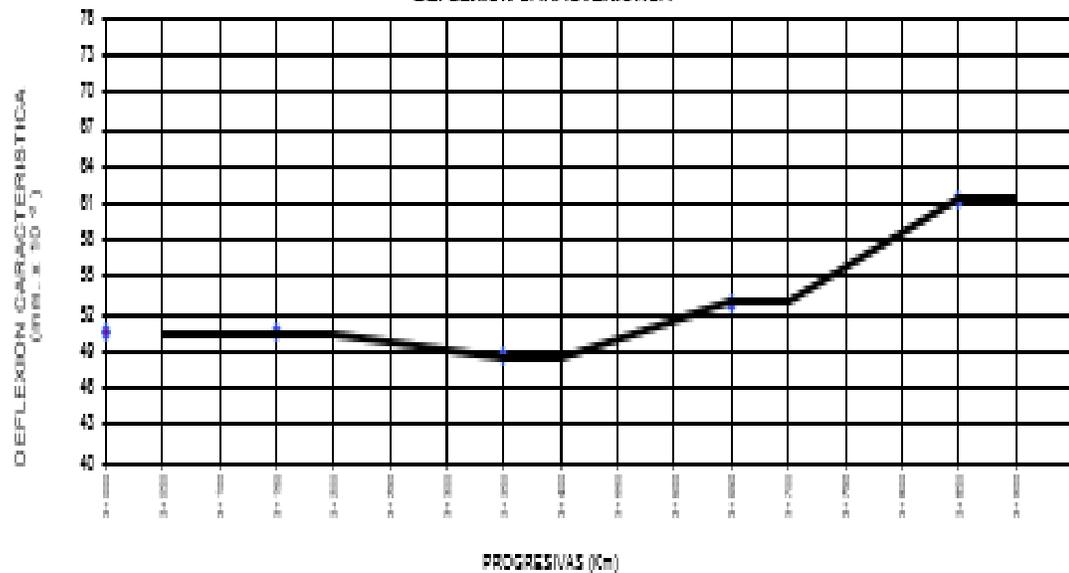
**CARRIL** : DERECHO

**FECHA** : IIIIIIIII

### DEFLECTOGRAMA



### DEFLEXION CARACTERISTICA



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA

PROGRESIVA : 11+000-11+950

INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS

CARRIL : DERECHO

FECHA : 31/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE : 8 200 kg. RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO : 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 (DMA.) :  
 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				CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATURA A RC (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>c</sub>	D <sub>zs</sub> 25 cm.		T	CC	C 1/2L	
4+000	0.00	2	6	14	13.5	26.5	09:00	14.00	12	48.02	41.16	0.95	45.79				39.25	477.75				
4+050	0.00	2	6	14	14.5	25.0	09:02	14.00	12	48.02	41.16	0.96	46.28				39.67	472.62				
4+100	0.00	2	5	9	12.3	25.0	09:04	9.00	7	30.87	24.01	0.96	29.75				23.14	472.62				
4+150	0.00	2	6	16	12.2	25.6	09:06	16.00	14	54.88	48.02	0.96	52.67	<b>43.62</b>	<b>9.76</b>	<b>59.68</b>	46.08	474.67				
4+200	0.00	3	7	17	12.0	26.0	09:08	17.00	14	58.31	48.02	0.96	55.80				45.95	317.36				
4+250	0.00	2	7	18	12.0	26.5	09:10	18.00	16	61.74	54.88	0.95	58.87				52.33	477.75				
4+300	0.00	2	8	13	12.0	27.8	09:12	13.00	11	44.59	37.73	0.94	42.13				35.64	482.19				
4+350	0.00	3	7	15	13.0	27.5	09:14	15.00	12	51.45	41.16	0.95	48.71	<b>51.38</b>	<b>7.49</b>	<b>63.70</b>	38.97	320.78				
4+400	0.00	2	7	12	13.5	26.5	09:16	12.00	10	41.16	34.30	0.95	39.25				32.71	477.75				
4+450	0.00	2	7	18	14.0	27.6	09:18	18.00	16	61.74	54.88	0.95	58.41				51.92	481.51				
4+500	0.00	3	7	18	15.0	26.5	09:20	18.00	15	61.74	51.45	0.95	58.87				49.06	318.50				
4+550	0.00	2	6	14	15.2	26.6	09:22	14.00	12	48.02	41.16	0.95	45.76	<b>50.57</b>	<b>9.69</b>	<b>66.51</b>	39.22	478.09				
4+600	0.00	2	7	18	15.0	27.5	09:24	18.00	16	61.74	54.88	0.95	58.45				51.96	481.16				
4+650	0.00	2	6	10	15.3	27.5	09:26	10.00	8	34.30	27.44	0.95	32.47				25.98	481.16				
4+700	0.00	2	8	19	15.2	26.5	09:28	19.00	17	65.17	58.31	0.95	62.14				55.60	477.75				
4+750	0.00	3	6	19	15.2	26.0	09:30	19.00	16	65.17	54.88	0.96	62.36	<b>53.86</b>	<b>14.37</b>	<b>77.49</b>	52.52	317.36				
4+800	0.00	2	7	17	14.0	26.5	09:32	17.00	15	58.31	51.45	0.95	55.60				49.06	477.75				
4+850	0.00	2	7	19	14.0	27.0	09:34	19.00	17	65.17	58.31	0.95	61.92				55.40	479.46				
4+900	0.00	2	8	17	15.0	27.5	09:36	17.00	15	58.31	51.45	0.95	55.20				48.71	481.16				
4+950	0.00	3	8	15	15.6	27.2	09:38	15.00	12	51.45	41.16	0.95	48.81	<b>55.38</b>	<b>5.35</b>	<b>64.19</b>	39.05	320.09				

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM7-III AL 12-III

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

**TECNICO RESPONSAB** : ELMER HUCHICA

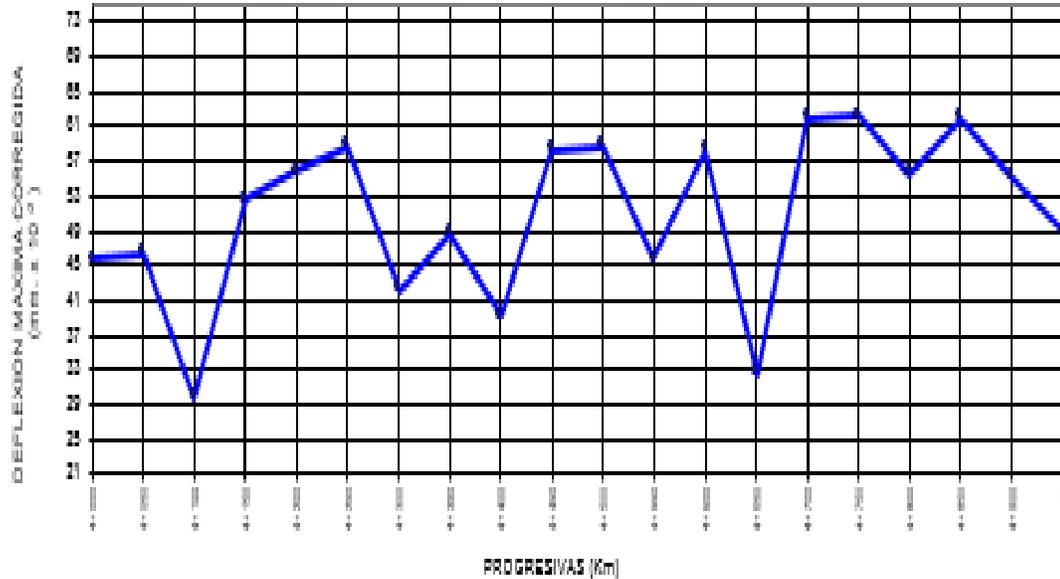
**PROGRESIVA** : 11-III-11-351

**INGENIERO RESPONS** : ASESOR DE TESIS

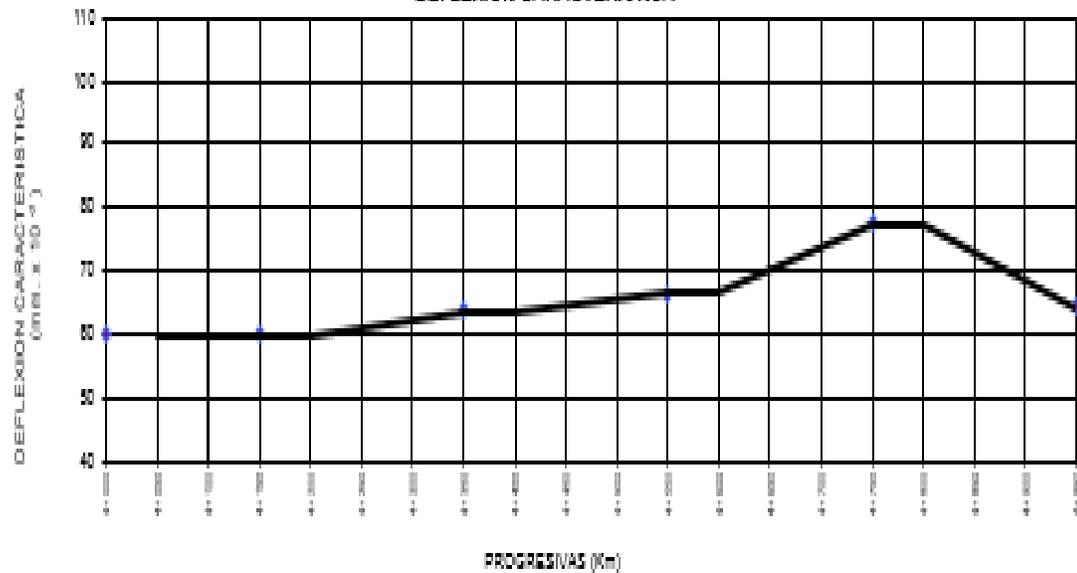
**CARRIL** : DERECHO

**FECHA** : III/III/III

**DEFLECTOGRAMA**



**DEFLECCION CARACTERISTICA**



# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM7+000 AL 12+000

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA

PROGRESIVA : 7+975-7+025

INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS

CARRIL : IZQUIERDO

FECHA : 30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE : 8 200 kg. RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO : 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 10 <sup>-2</sup>		CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATURA A RC (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub> 25 cm.		T	CC	C 12 L	
0+975	0.00	2	6	16	15.2	22.2	01:20	16.00	14	54.88	48.02	0.98	53.99				47.24	463.06				
0+925	0.00	2	7	16	15.6	23.2	01:22	16.00	14	54.88	48.02	0.98	53.59				46.89	466.47				
0+875	0.00	2	7	15	15.0	21.5	01:24	15.00	13	51.45	44.59	0.99	50.88				44.09	460.66				
0+825	0.00	2	6	17	15.0	22.3	01:26	17.00	15	58.31	51.45	0.98	57.32	<b>53.95</b>	<b>2.64</b>	<b>58.29</b>	50.58	463.40				
0+775	0.00	3	7	18	16.5	22.0	01:28	18.00	15	61.74	51.45	0.99	60.83				50.69	308.25				
0+725	0.00	2	6	12	16.5	22.0	01:30	12.00	10	41.16	34.30	0.99	40.55				33.79	462.37				
0+675	0.00	2	8	18	15.0	21.2	01:32	18.00	16	61.74	54.88	0.99	61.19				54.39	459.64				
0+625	0.00	2	6	12	15.0	23.0	01:34	12.00	10	41.16	34.30	0.98	40.25	<b>50.71</b>	<b>11.90</b>	<b>70.28</b>	33.55	465.79				
0+575	0.00	2	6	12	15.0	22.2	01:36	12.00	10	41.16	34.30	0.98	40.49				33.74	463.06				
0+525	0.00	2	7	14	17.0	22.2	01:38	14.00	12	48.02	41.16	0.98	47.24				40.49	463.06				
0+475	0.00	2	6	13	17.0	22.2	01:40	13.00	11	44.59	37.73	0.98	43.87				37.12	463.06				
0+425	0.00	2	7	16	17.0	23.2	01:42	16.00	14	54.88	48.02	0.98	53.59	<b>46.30</b>	<b>5.59</b>	<b>55.49</b>	46.89	466.47				
0+375	0.00	2	7	18	17.2	20.0	01:44	18.00	16	61.74	54.88	1.00	61.74				54.88	455.54				
0+325	0.00	3	8	17	15.6	20.0	01:46	17.00	14	58.31	48.02	1.00	58.31				48.02	303.69				
0+275	0.00	2	7	17	16.5	20.0	01:48	17.00	15	58.31	51.45	1.00	58.31				51.45	455.54				
0+225	0.00	2	6	16	15.0	20.2	01:50	16.00	14	54.88	48.02	1.00	54.80	<b>58.29</b>	<b>2.83</b>	<b>62.95</b>	47.95	456.22				
0+175	0.00	2	6	15	15.0	20.5	01:52	15.00	13	51.45	44.59	1.00	51.26				44.42	457.25				
0+125	0.00	2	6	12	16.5	22.0	01:54	12.00	10	41.16	34.30	0.99	40.55				33.79	462.37				
0+075	0.00	2	7	14	16.5	23.5	01:56	14.00	12	48.02	41.16	0.97	46.79				40.11	467.50				
0+025	0.00	2	7	17	15.0	23.0	01:58	17.00	15	58.31	51.45	0.98	57.03	<b>48.91</b>	<b>6.97</b>	<b>60.37</b>	50.32	465.79				

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPUN TRAMO, KM 7+000 AL 13+000

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPUN

**TECNICO RESPONSAB** : ELMER HOCHICA

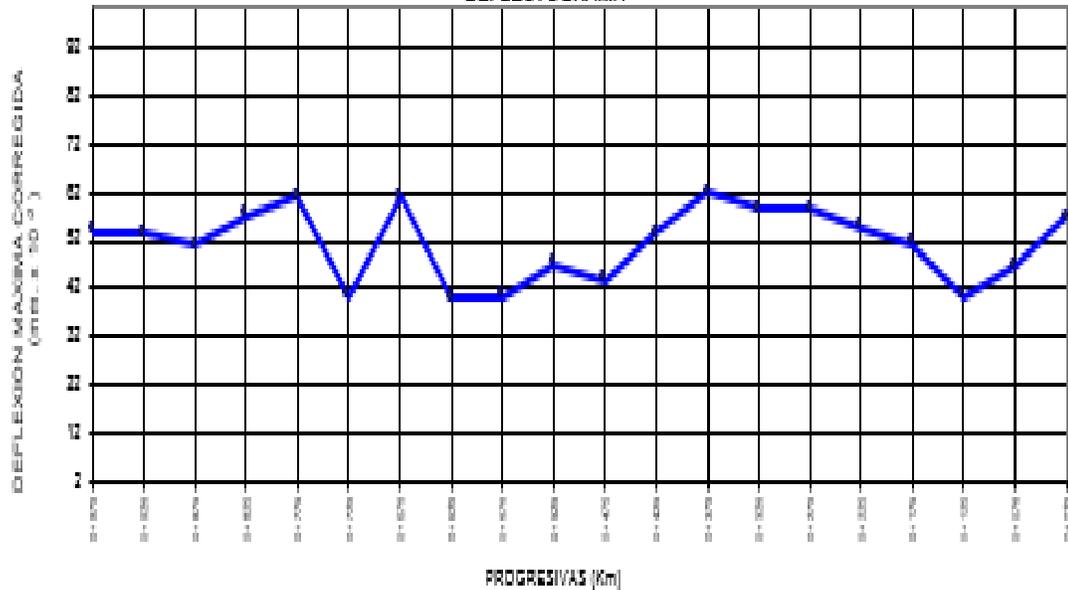
**PROGRESIVA** : 7+025-7+025

**INGENIERO RESPONSA** : ASESOR DE TESIS

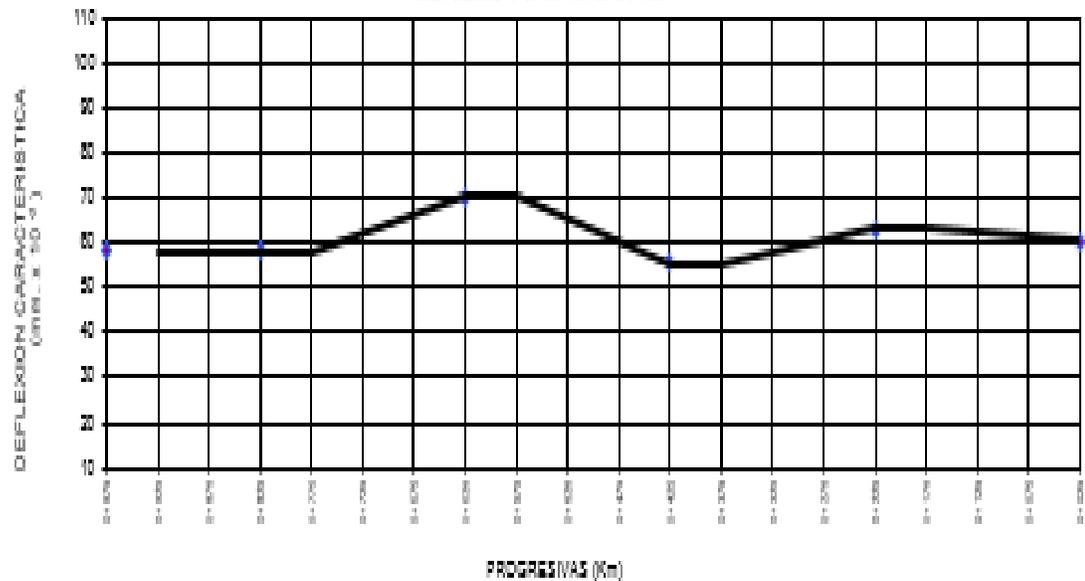
**CARRIL** : IZQUIERDO

**FECHA** : 00/00/00

DEFLECTOGRAMA



DEFLESION CARACTERISTICA



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA

PROGRESIVA : 8+975-8+025

INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS

CARRIL : IZQUIERDO

FECHA : 30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE : 8 200 kg. RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO : 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 10 <sup>-2</sup>		CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATURA ARC (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do	DMP	DSTD	Dc	D <sub>25</sub>		T	CC	C 12L	
													0 cm.	D <sub>p</sub>	D std.		25 cm.					
1+975	0.00	2	7	15	15.5	21.0	12:00	15.00	13	51.45	44.59	0.99	51.07				44.26	458.96				
1+875	0.00	3	7	13	16.0	22.0	12:04	13.00	10	44.59	34.30	0.99	43.93				33.79	308.25				
1+825	0.00	2	6	14	16.2	22.5	12:06	14.00	12	48.02	41.16	0.98	47.14	<b>47.38</b>	<b>3.57</b>	<b>53.26</b>	40.40	464.08				
1+775	0.00	2	6	14	16.3	21.5	12:08	14.00	12	48.02	41.16	0.99	47.49				40.70	460.66				
1+725	0.00	2	6	10	16.5	21.5	12:10	10.00	8	34.30	27.44	0.99	33.92				27.13	460.66				
1+675	0.00	2	6	9	16.0	22.5	12:12	9.00	7	30.87	24.01	0.98	30.30				23.57	464.08				
1+625	0.00	2	6	9	16.0	23.5	12:14	9.00	7	30.87	24.01	0.97	30.08	<b>35.45</b>	<b>8.22</b>	<b>48.96</b>	23.40	467.50				
1+575	0.00	2	6	12	15.0	23.0	12:16	12.00	10	41.16	34.30	0.98	40.25				33.55	465.79				
1+525	0.00	2	6	15	15.0	23.0	12:18	15.00	13	51.45	44.59	0.98	50.32				43.61	465.79				
1+475	0.00	2	7	19	15.0	22.0	12:20	19.00	17	65.17	58.31	0.99	64.21				57.45	462.37				
1+425	0.00	2	7	16	15.5	21.0	12:22	16.00	14	54.88	48.02	0.99	54.47	<b>52.31</b>	<b>9.93</b>	<b>68.64</b>	47.66	458.96				
1+375	0.00	3	7	12	16.5	21.0	12:24	12.00	9	41.16	30.87	0.99	40.85				30.64	305.97				
1+325	0.00	2	5	11	17.0	20.0	12:26	11.00	9	37.73	30.87	1.00	37.73				30.87	455.54				
1+275	0.00	2	6	11	17.5	20.0	12:28	11.00	9	37.73	30.87	1.00	37.73				30.87	455.54				
1+225	0.00	2	6	12	16.5	20.0	12:30	12.00	10	41.16	34.30	1.00	41.16	<b>39.37</b>	<b>1.90</b>	<b>42.49</b>	34.30	455.54				
1+175	0.00	3	8	19	15.0	21.0	12:32	19.00	16	65.17	54.88	0.99	64.68				54.47	305.97				
1+125	0.00	3	8	18	15.0	21.0	12:34	18.00	15	61.74	51.45	0.99	61.28				51.07	305.97				
1+075	0.00	3	7	15	15.0	21.2	12:36	15.00	12	51.45	41.16	0.99	50.99				40.79	306.43				
1+025	0.00	2	6	12	16.5	21.5	12:38	12.00	10	41.16	34.30	0.99	40.70	<b>54.41</b>	<b>10.84</b>	<b>72.24</b>	33.92	460.66				

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7-III AL 12-III

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASPALTICA JULIACA LAMPA

**TECNICO RESPONSABLE** : ELMER MOCHICA

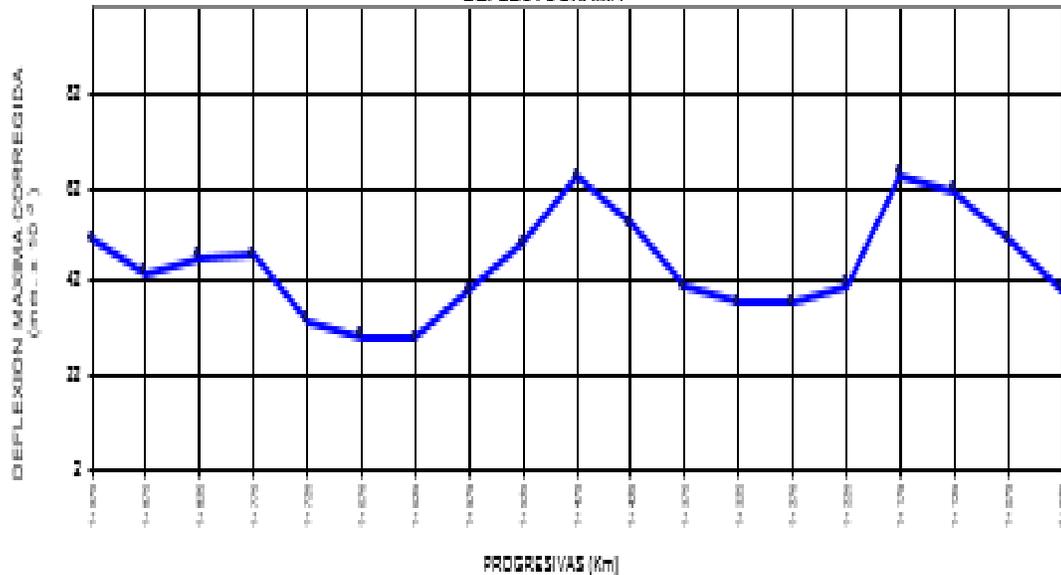
**PROGRESIVA** : 1-375-1-025

**INGENIERO RESPONSABLE** : ASESOR DE TESIS

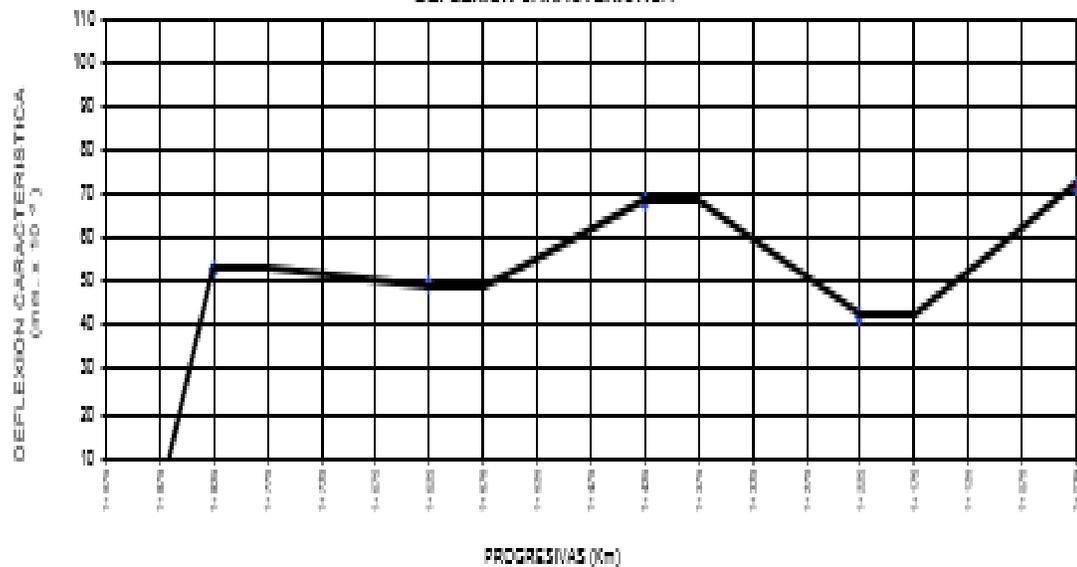
**CARRIL** : IZQUIERDO

**FECHA** : III/III/III

DEFLECTOGRAMA



DEFLECCION CARACTERISTICA



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA

PROGRESIVA : 9+975-9+025

INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS

CARRIL : IZQUIERDO

FECHA : 30/07/2015.

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE : 8 200 kg. RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO : 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				CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-3</sup>					RADIO DE CURVATURA A.R.C (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>c</sub>	D <sub>25</sub> 25 cm.		T	CC	C 12 L	
2+975	0.00	2	7	12	15.5	21.5	11:20	12.00	10	41.16	34.30	0.99	40.70				33.92	460.66				
2+925	0.00	2	6	11	15.3	21.5	11:22	11.00	9	37.73	30.87	0.99	37.31				30.53	460.66				
2+875	0.00	2	6	10	15.0	21.0	11:24	10.00	8	34.30	27.44	0.99	34.04				27.24	458.96				
2+825	0.00	2	6	15	15.3	21.0	11:26	15.00	13	51.45	44.59	0.99	51.07	<b>40.78</b>	<b>7.38</b>	<b>52.92</b>	44.26	458.96				
2+775	0.00	2	7	16	17.3	22.0	11:28	16.00	14	54.88	48.02	0.99	54.07				47.31	462.37				
2+725	0.00	2	7	17	17.0	23.5	11:30	17.00	15	58.31	51.45	0.97	56.82				50.13	467.50				
2+675	0.00	2	7	14	17.5	22.0	11:32	14.00	12	48.02	41.16	0.99	47.31				40.55	462.37				
2+625	0.00	2	6	11	16.5	21.5	11:34	11.00	9	37.73	30.87	0.99	37.31	<b>48.88</b>	<b>8.68</b>	<b>63.16</b>	30.53	460.66				
2+575	0.00	3	8	17	16.5	21.5	11:36	17.00	14	58.31	48.02	0.99	57.66				47.49	307.11				
2+525	0.00	2	7	15	17.5	21.5	11:38	15.00	13	51.45	44.59	0.99	50.88				44.09	460.66				
2+475	0.00	2	6	15	17.5	22.0	11:40	15.00	13	51.45	44.59	0.99	50.69				43.93	462.37				
2+425	0.00	2	5	9	16.5	22.0	11:42	9.00	7	30.87	24.01	0.99	30.41	<b>47.41</b>	<b>11.79</b>	<b>66.80</b>	23.66	462.37				
2+375	0.00	2	6	15	17.0	22.0	11:44	15.00	13	51.45	44.59	0.99	50.69				43.93	462.37				
2+325	0.00	2	5	9	17.0	22.0	11:46	9.00	7	30.87	24.01	0.99	30.41				23.66	462.37				
2+275	0.00	2	7	12	15.3	22.5	11:48	12.00	10	41.16	34.30	0.98	40.40				33.67	464.08				
2+225	0.00	2	5	9	15.0	21.5	11:50	9.00	7	30.87	24.01	0.99	30.53	<b>38.01</b>	<b>9.66</b>	<b>53.91</b>	23.74	460.66				
2+175	0.00	2	6	14	15.0	21.5	11:52	14.00	12	48.02	41.16	0.99	47.49				40.70	460.66				
2+125	0.00	2	5	10	14.5	22.2	11:54	10.00	8	34.30	27.44	0.98	33.74				26.99	463.06				
2+075	0.00	2	7	9	15.5	22.2	11:56	9.00	7	30.87	24.01	0.98	30.37				23.62	463.06				
2+025	0.00	2	6	11	15.0	22.2	11:58	11.00	9	37.73	30.87	0.98	37.12	<b>37.18</b>	<b>7.40</b>	<b>49.36</b>	30.37	463.06				

# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES - SUPERVISION - PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO :** EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULINCA A LAMPA TRAMO, KM 7-000 AL 12-000

**ESTRUCTURA :** CARPETA ASFALTICA JULINCA LAMPA

**TECNICO RESPONSAB :** ELMER MOCHICA

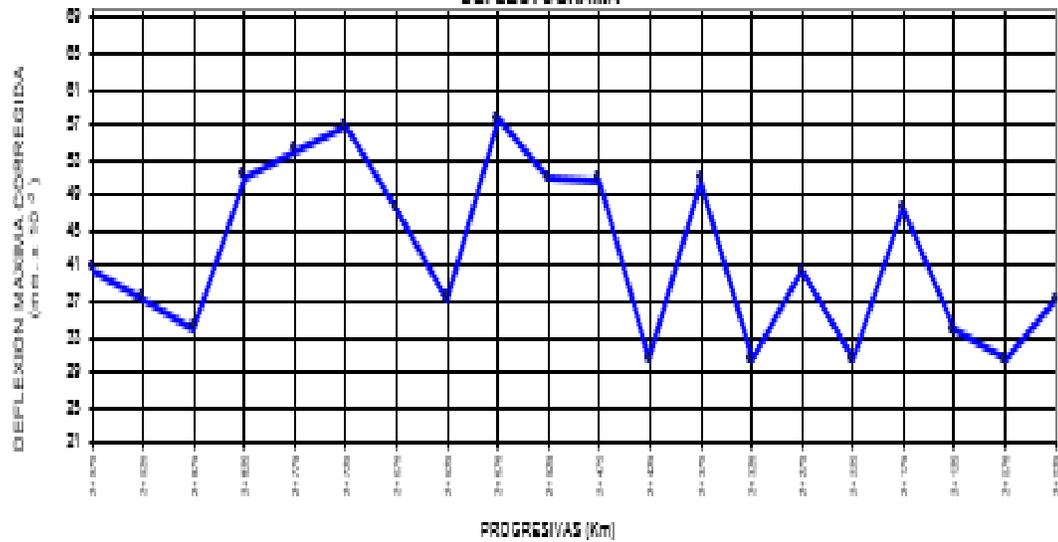
**PROGRESIVA :** 3-375-3-825

**INGENIERO RESPON :** ASESOR DE TESIS

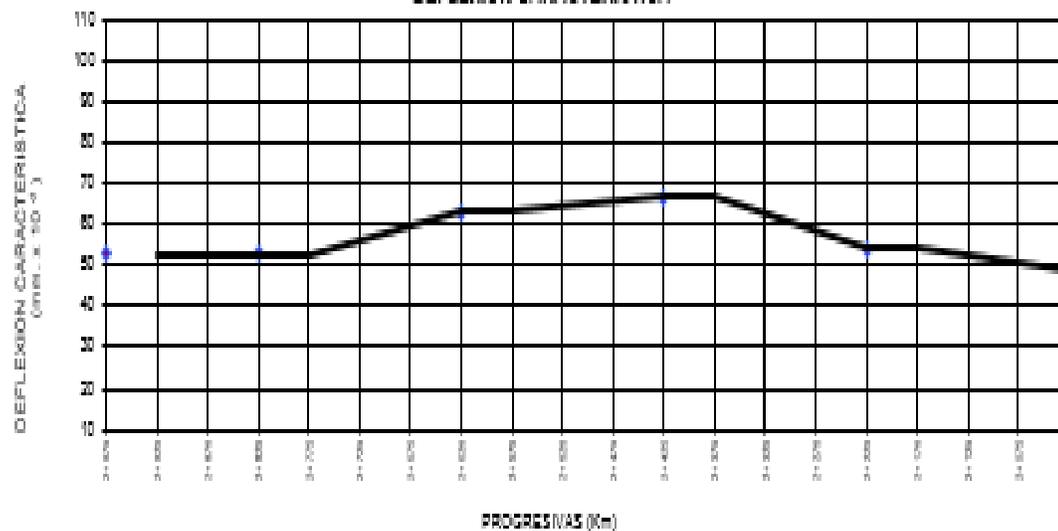
**CARRIL :** IZQUIERDO

**FECHA :** 31/07/2015

DEFLECTOGRAMA



DEFLEXION CARACTERISTICA



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO	:	EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM7+000 AL 12+000	
ESTRUCTURA	:	CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA	TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA
PROGRESIVA	:	10+975-10+025	INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS
CARRIL	:	IZQUIERDO	FECHA : 30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE	8 200 kg.	RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO	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				CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATURA A RC (m)			TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm.	
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	Lf (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		Do 0 cm.	DMP D <sub>p</sub>	DSTD D std.	D <sub>c</sub>	D <sub>25</sub> 25 cm.	T	CC	C 12 L					
																					D <sub>25</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>25</sub>		
3+975	0.00	2	5	12	14.2	20.5	10:40	12.00	10	41.16	34.30	1.00	41.01				34.17	457.25							
3+925	0.00	2	6	14	15.6	24.6	10:42	14.00	12	48.02	41.16	0.97	46.42				39.79	471.26							
3+875	0.00	2	7	14	16.3	22.5	10:44	14.00	12	48.02	41.16	0.98	47.14				40.40	464.08							
3+825	0.00	2	7	15	14.3	22.5	10:46	15.00	13	51.45	44.59	0.98	50.50	<b>46.27</b>	<b>3.93</b>	<b>52.74</b>	43.77	464.08							
3+775	0.00	2	7	14	15.5	22.5	10:48	14.00	12	48.02	41.16	0.98	47.14				40.40	464.08							
3+725	0.00	2	7	15	16.0	23.5	10:50	15.00	13	51.45	44.59	0.97	50.13				43.45	467.50							
3+675	0.00	2	6	14	16.5	18.5	10:52	14.00	12	48.02	41.16	1.01	48.57				41.63	450.41							
3+625	0.00	2	7	15	16.5	19.5	10:54	15.00	13	51.45	44.59	1.00	51.64	<b>49.37</b>	<b>1.95</b>	<b>52.58</b>	44.76	453.83							
3+575	0.00	2	6	11	15.2	19.5	10:56	11.00	9	37.73	30.87	1.00	37.87				30.99	453.83							
3+525	0.00	2	6	13	15.6	18.6	10:58	13.00	11	44.59	37.73	1.01	45.06				38.13	450.76							
3+375	0.00	3	8	16	16.5	20.5	11:00	16.00	13	54.88	44.59	1.00	54.67				44.42	304.83							
3+325	0.00	2	6	15	15.4	20.6	11:02	15.00	13	51.45	44.59	1.00	51.22	<b>47.21</b>	<b>7.38</b>	<b>59.36</b>	44.39	457.59							
3+275	0.00	2	6	11	16.3	20.5	11:04	11.00	9	37.73	30.87	1.00	37.59				30.75	457.25							
3+225	0.00	2	6	9	16.5	21.6	11:06	9.00	7	30.87	24.01	0.99	30.50				23.73	461.01							
3+175	0.00	2	5	11	15.2	21.5	11:08	11.00	9	37.73	30.87	0.99	37.31				30.53	460.66							
3+125	0.00	2	7	14	16.5	21.5	11:10	14.00	12	48.02	41.16	0.99	47.49	<b>38.22</b>	<b>6.99</b>	<b>49.72</b>	40.70	460.66							
3+075	0.00	2	7	16	15.5	22.5	11:12	16.00	14	54.88	48.02	0.98	53.87				47.14	464.08							
3+025	0.00	2	8	18	14.5	23.5	11:14	18.00	16	61.74	54.88	0.97	60.16				53.48	467.50							

Obs: 3+400 - 3+520 Tramo sin carpeta Asfáltica (Puente)

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7-III AL 12-III

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

**PROGRESIVA** : 10-375-10-425

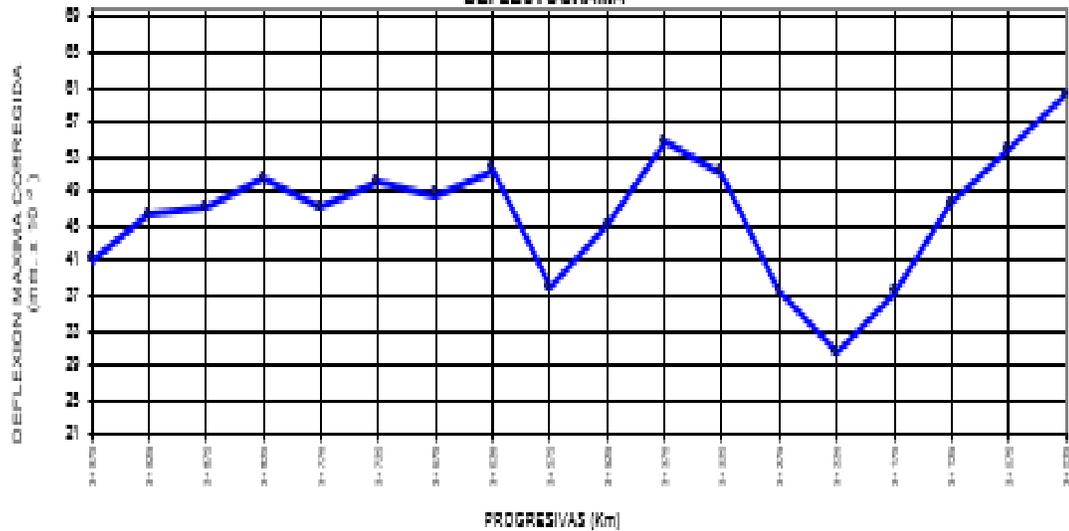
**CARRIL** : IZQUIERDO

**TECNICO RESPONSAB** : ELHER HUCHICA

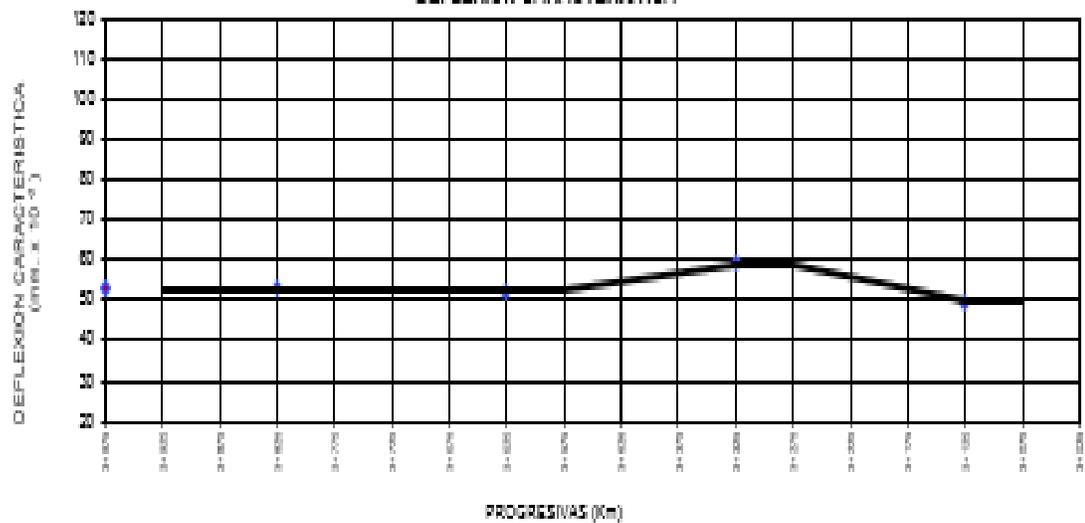
**INGENIERO RESPONS** : ASESOR DE TESIS

**FECHA** : 00/00/00

DEFLECTOGRAMA



DEFLEXION CARACTERISTICA



# GEOTECNIA PUNO

MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

PROYECTO : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TRAMO, KM 7+000 AL 12+000

ESTRUCTURA : CARPETA ASFALTICA JULIACA LAMPA

TECNICO RESPONSABLE : ELMER MOCHICA

PROGRESIVA : 11+975-11+025

INGENIERO RESPONSABLE : ASESOR DE TESIS

CARRIL : IZQUIERDO

FECHA : 30/07/2015

## EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - VIGA BENKELMAN

CARGA POR EJE : 8 200 kg.

RELACION DE LONGITUDES DE BRAZO : 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 10 <sup>-2</sup>		CORRECCION TEMP. "K"	DEFLEXION CORREGIDA M.M. x 10 <sup>-2</sup>					RADIO DE CURVATUR A RC (m)	TIPO SECCION			Deflexión Máxima Admisible x 10 <sup>2</sup> mm
	Lectura Inicial Lo (0 cm)	L (25 cm)	L (75 cm)	L <sub>i</sub> (Dmáx)				0 cm.	25 cm	0 cm.	25 cm		D <sub>o</sub> 0 cm.	DMP D <sub>o</sub>	DSTD D std.	D <sub>s</sub>	D <sub>25</sub> 25 cm.		T	CC	C 12L	
4+975	0.00	2	7	16	14.0	20.5	11:16	16.00	14	54.88	48.02	1.00	54.67				47.84	457.25				
4+925	0.00	3	6	14	13.5	21.3	11:18	14.00	11	48.02	37.73	0.99	47.56				37.37	306.65				
4+875	0.00	2	6	16	13.5	21.4	11:20	16.00	14	54.88	48.02	0.99	54.33				47.54	460.19				
4+825	0.00	3	7	17	13.5	22.3	11:22	17.00	14	58.31	48.02	0.98	57.32	53.47	4.16	60.32	47.21	308.93				
4+775	0.00	2	7	12	12.3	22.5	11:24	12.00	10	41.16	34.30	0.98	40.40				33.67	464.08				
4+725	0.00	3	7	12	12.6	18.3	11:26	12.00	9	41.16	30.87	1.01	41.71				31.28	299.71				
4+675	0.00	2	6	14	12.5	17.3	11:28	14.00	12	48.02	41.16	1.02	49.03				42.03	446.14				
4+625	0.00	2	6	18	15.6	20.3	11:30	18.00	16	61.74	54.88	1.00	61.62	48.19	9.73	64.19	54.78	456.39				
4+575	0.00	2	6	14	14.5	20.3	11:32	14.00	12	48.02	41.16	1.00	47.93				41.08	456.43				
4+525	0.00	2	7	16	15.6	20.6	11:34	16.00	14	54.88	48.02	1.00	54.63				47.80	457.59				
4+475	0.00	2	5	10	13.5	19.0	11:36	10.00	8	34.30	27.44	1.01	34.56				27.65	452.12				
4+425	0.00	2	5	14	15.5	19.5	11:38	14.00	12	48.02	41.16	1.00	48.20	46.33	8.44	60.21	41.31	453.83				
4+375	0.00	2	6	15	16.5	19.5	11:40	15.00	13	51.45	44.59	1.00	51.64				44.76	453.83				
4+325	0.00	2	7	14	16.5	18.0	11:42	14.00	12	48.02	41.16	1.02	48.75				41.79	448.71				
4+275	0.00	2	7	15	14.5	17.9	11:44	15.00	13	51.45	44.59	1.02	52.27				45.30	448.36				
4+225	0.00	2	6	17	13.5	20.2	11:46	17.00	15	58.31	51.45	1.00	58.22	52.72	3.97	59.26	51.37	456.22				
4+175	0.00	2	5	11	15.5	19.5	11:48	11.00	9	37.73	30.87	1.00	37.87				30.99	453.83				
4+125	0.00	2	6	15	14.3	19.5	11:50	15.00	13	51.45	44.59	1.00	51.64				44.76	453.83				
4+075	0.00	2	7	17	13.5	18.2	11:52	17.00	15	58.31	51.45	1.01	59.11				52.15	449.39				
4+025	0.00	2	6	17	16.5	18.0	11:54	17.00	15	58.31	51.45	1.02	59.20	51.96	10.03	68.46	52.23	448.71				

# GEOTECNIA PUNO

## MECANICA DE SUELOS- PAVIMENTOS - CIMENTACIONES- SUPERVISION-PROYECTOS DE INGENIERIA

**PROYECTO** : EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS ENTRE JULIACA A LAMPA TERMO, KM7-III AL 13-III

**ESTRUCTURA** : CARPETA ASPALTICA JULIACA LAMPA

**TECNICO RESPONSAB** : ELMER HOCHICA

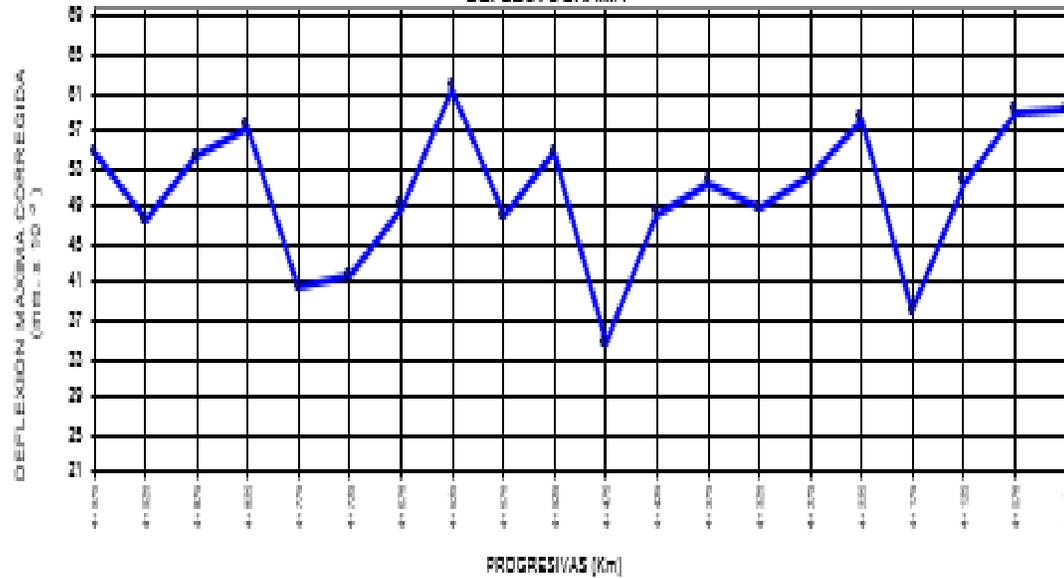
**PROGRESIVA** : 11-375-14-025

**INGENIERO RESPONS** : ASESOR DE TESIS

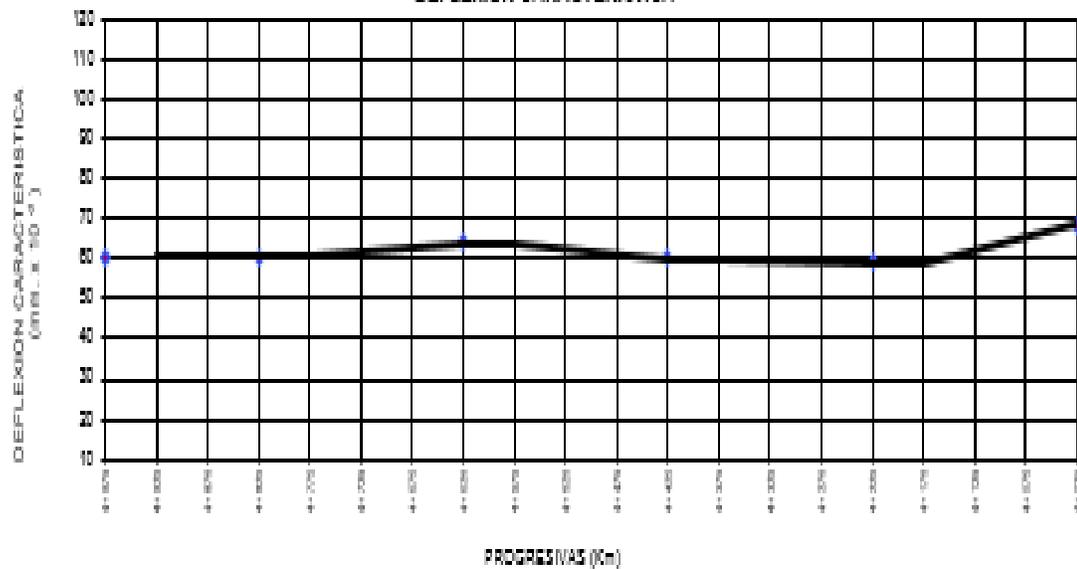
**CARRIL** : IZQUIERDO

**FECHA** : 00/00/00

DEFLECTOGRAMA



DEFLEXION CARACTERISTICA



### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

#### a) POBLACIÓN

La población del presente trabajo de investigación está compuesto por la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos entre juliaca a lampa, tramo km 7+000 al 12+000.

#### b) MUESTRA

La muestra de la presente investigación se dio en un tramo km 7+000 al 12+000 entre juliaca a lampa. Que está compuesto de 5 kilómetros.

#### 3.4.1 OPERACIONALIZACION DE LA VARIABLE

El proceso por el cual la variable se transforma en indicador, se explica en el siguiente cuadro.

Cuadro : Operacionalización de la variable

operacional

Variable	Definición conceptual	Categorías o Dimensiones	Definición	Indicadores
Patologías del pavimento Flexible en el tramo juliaca a lampa Km 7+000 al 12+000 .	Se define como los deterioros y daños que alteran el normal funcionamiento del pavimento flexible de la vía mencionada.	<u>Deterioros que afectan el parámetro estructural</u>  <i>Deformaciones</i> 1.-Abultamientos 2.-ahuellamientos 3.-depresiones  <i>Desprendimientos</i> 4.-pérdida de mezcla alftica  <i>Desplazamientos</i> 5.-desplazamiento de borde  <i>Fracturamientos</i> 8.-piel de cocodrillo 9.-grietas longitudinales y transversal Parcheo huecos	<u>Indice que representa el deterioro del parámetro estructural</u>  -Indice de condición estructural ICE, según la clase de deterioro, nivel de severidad y cantidad.	-Método del ICP (Nivel de servicio).  El ICP se expresa en términos de nivel de servicio: 1 (muy bueno), 2 (bueno), 3 (regular), 4 (malo) y 5 (muy malo), y se obtiene en función de los índices ICE y ICF.
		<u>Deterioros que afectan el parámetro funcional</u>  <i>Deformaciones</i> 1.-Abultamientos 2.-ahuellamientos 3.-depresiones	<u>Indice que representa el deterioro del parámetro funcional</u>  -Indice de condición funcional ICF, según la	

Fuente: Elaboración propia

### 3.4TECNICAS E INSTRUMENTOS

Se ha considerado la aplicación de las siguientes técnicas:

#### **1.- La técnica de recolección documental**

En la que se utilizó como instrumentos de recolección de datos de fuentes documentales, los libros especializados, documentos oficiales de Internet, guías, manuales, planos catastrales, cartas nacionales y fotografías aéreas; que empleamos para obtener los datos correspondientes a las variables, conceptos básicos, técnicas avanzadas, etc.

#### **2.- La técnica de la encuesta y entrevista.**

En la que se utilizó como instrumentos de recopilación de datos de campo los correspondientes formatos de inspección o encuesta y entrevista.

#### **3.- La técnica de observación de campo.**

En la que se utilizó los diferentes instrumentos (equipos, camión volquete, viga benkelman, rugosímetro, herramientas, formatos, manuales) para realizar la evaluación (identificación, calificación, medición) de las patologías o deterioros de pavimento flexible.

### **3.4 PROCEDIMIENTOS**

El procedimiento corresponde a un estudio a nivel de proyecto; puesto que se trata de un tramo de carretera que atraviesa de Juliaca a Lampa.

#### **3.4.1 ETAPA 1: TRABAJOS PREVIOS**

- En esta etapa se obtuvo la siguiente información:
- El manual de evaluación de patologías de pavimentos flexible.
  
- La información bibliográfica necesaria.

### 3.4.1.1 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE UNIDADES DE MUESTREO PARA LA EVALUACIÓN

En la evaluación de un proyecto —p.ej. una calle o una avenida— se deben inspeccionar todas las unidades; sin embargo, de no ser posible, el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI  $\pm 5$  del promedio verdadero con una confiabilidad del 95%.

$$n = \frac{N\sigma^2}{\frac{e^2}{4}(N-1) + \sigma^2} \quad (1)$$

Formula N° 04. Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.

Donde:

n : número mínimo de unidades de muestreo.

N : número total de unidades de muestreo en el proyecto = 10 unidades.

$\sigma$  : desviación estándar del ICP entre las unidades = 10, asumido igual que para pavimentos flexibles.

e : error admisible en el estimado del ICP del proyecto ( $\pm 5\%$ ).

Como en el caso anterior, se asumirá una desviación estándar ( $\sigma$ ) entre el PCI de 10 para pavimento asfáltico (rango PCI de 25) y el PCI de 15 para pavimento de concreto (rango PCI de 35).

Cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que cinco ( $n < 5$ ), todas las unidades deben evaluarse.

En este caso, reemplazando los datos en la fórmula (1)

$$n = \frac{10 \times 10^2}{5^2 \times (10 - 1) + 10^2} \quad (3.1)$$

Formula N° 05. Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.

### **3.4.1.2 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA LA INSPECCIÓN**

Se recomienda que las unidades elegidas estén igualmente espaciadas o distribuidas a lo largo de la sección de pavimento y que la primera de ellas se elija al azar (aleatoriedad sistemática) de la siguiente manera:

- a. El intervalo de muestreo (i) se expresa mediante la ecuación 2

$$i = \frac{N}{n} \quad (3.2)$$

Formula N° 06. Fuente: MARIO S. HOFFMAN, PhD. Louis Berger Internacional Inc.

N: Número total de unidades de muestreo disponible.

n: Número mínimo de unidades para evaluar.

i: Intervalo de muestreo, se redondea al número entero inferior (por ejemplo, 3.7 se redondea a 3).

Debido a la dificultad para realizar una distribución uniforme de 7 unidades de muestreo a lo largo de la sección de gestión, de 10 unidades de muestreo, se opta por seleccionar todas las unidades.

Finalmente, las unidades de muestreo fueron seleccionadas, distribuidas y ubicadas (indicadas) en los planos.

## **2 ETAPA 2. TRABAJO DE CAMPO (INSPECCION VISUAL)**

### **3.4.1.3 EVALUACIÓN DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO (O INSPECCIÓN VISUAL SUPERFICIAL).**

Debe seguirse estrictamente la definición de los daños del manual de daños o deterioros de pavimentos flexibles para obtener un valor del PCI confiable.

La evaluación de condición del pavimento se efectúa en las unidades de muestreo, incluye los siguientes aspectos:

**a. Equipo.**

-Planos con la ubicación local, y planos con la extensión del pavimento y la distribución de las unidades de muestreo.

-Manual de daños o deterioros para vías con pavimentos flexibles.

-Formatos de inspección o encuesta para el registro de datos.

-Wincha de 30.0 m, que permita leer al más cercano 0.1 m.

-Wincha de 3.0 m, para medir las profundidades de las deformaciones y otros deterioros.

-Regla de 3.0 m con precisión de 3 mm o más, para establecer la línea de referencia a partir de la cual se medirán las profundidades indicadas.

- Viga Benkelman y rugosímetro

**b. Procedimiento**

**1.- Inventario de deterioros.**

Se realiza para conocer la clase y el tipo de deterioro existentes en el pavimento. Se utilizó el siguiente cuadro como referencia: puede encontrarse una parte o el total de deterioros durante la inspección. El inventario puede realizarse durante la identificación de los deterioros del siguiente paso.

**2.- Inspección visual**

Se realiza con la distribución de las unidades de muestreo, indicadas en los planos.

Inspección visual o superficial, según el manual de deterioros. Se ejecuta en tres pasos:

**1) Identificación de los deterioros.** Se identifican los deterioros según el cuadro del manual de deterioros para pavimentos flexibles

**2) Calificación de la severidad de deterioros.** La calificación puede ser baja, media o alta, según la gravedad.

**3) Medición de los deterioros.** El tercer paso es la medición, que se realiza en unidades de área (m<sup>2</sup>).

El registro se realizó en un formato u hoja de inspección y haciendo uso de manual de daños. Cada renglón se usó para registrar un tipo de deterioro o falla, su extensión y su nivel de severidad. En una unidad de muestreo se observó uno o más tipos de deterioros. La hoja de inspección puede ser utilizada para más de una unidad de muestreo.

#### **3.4.1.4 EVALUACIÓN INTEGRAL DEL PAVIMENTO EXISTENTE**

Luego de efectuada la evaluación superficial del pavimento mediante el análisis de su condición (PCI), la evaluación de la rugosidad mediante el análisis de su IRI, y finalmente la evaluación estructural mediante el análisis de las deflexiones, se procedió a efectuar los ensayos destructivos en los sectores que mostraron baja capacidad estructural.

El análisis e integración de estos requerimientos permitió formular una sectorización que contemple y considere estos estudios previos. El objetivo finalmente a alcanzar consiste en la división del tramo carretero en sectores de condiciones homogéneas en los cuales se pueda plantear soluciones que cubran sus requerimientos de resistencia para el nuevo periodo de diseño previsto.

Así, finalmente se pudo obtener cuatro sectores representativos de la condición funcional y estructural de la carretera, a partir del cual se pueda plantear las soluciones de la estructura del pavimento.

A continuación se presentan las fotografías de la evaluación superficial visual de campo, donde se encontró 9 (nueve) tipos de deterioros:

### **3.4.1.5 PROCEDIMIENTO EMPLEADO**

La metodología PCI esta descrita en la norma ASTM 5340-98, la cual nos da los lineamientos para determinar el índice de condición del pavimento, que ayuda a calcular un índice de deterioración y se utiliza a menudo para proyectar la condición futura.

A continuación pasamos a detallar el método empleado, de acuerdo con la norma ASTM 5340 –98

El pavimento es dividido en tramos, las cuales son divididas a su vez en secciones. Cada sección es nuevamente dividida en unidades de muestreo. El tipo y la severidad de la condición del pavimento es calculada por la inspección visual de las unidades de muestro del pavimento. La cantidad de daño se mide mediante la metodología dada en la norma ASTM. Los datos del daño para calcular el índice de la condición del pavimento en cada unidad de muestreo. El índice de cada sección es determinado en base a los índices de cada unidad de muestreo dentro de la sección. El calculo de cada una de las fallas reconocidas, se encuentran en la Norma ASTM.

La evaluación de la condición del pavimento se basa en el índice de la condición del pavimento (PCI) que es una escala a partir de 0 a 100 que mide tanto la integridad estructural como la condición superficial. La sección del pavimento se debe primero dividir en muestras. Todas las muestras pueden ser examinadas, o un numero mas pequeño de muestras escogidas al azar se puede elegir para representar la sección entera. Los métodos estadísticos se utilizan para determinar el numero de las muestras requeridas.

Una hoja de datos se requiere por cada unidad de muestra. El inspector llena el formulario de datos caminando por cada unidad de muestra y registrando los deterioros medidos. Un bosquejo de la unidad de muestra se hace usando los puntos impresos que representan intersecciones comunes. El numero apropiado para casa deterioro encontrado en el pavimento se incorpora en el cuadrado que

representa la sección del pavimento. El deterioro también se observa como gravedad baja, media o alta. Una porción de la hoja de la inspección se utiliza para resumir los niveles de deterioro encontrados en cada unidad de muestra. Se calcula el PCI usando los pasos siguientes:

1. Los valores deducidos se determina para cada tipo de deterioro y gravedad utilizando las curvas de la válvula de deducción. Los valores deducidos para todos los deterioros se determinan usando las curvas apropiadas
2. El total valor reducido (TDV) es computado sumando individuales valores del deducir.
3. una vez que se compute el TDV. Se debe determinar un valor corregido del deducir (CDV) usando curvas de corrección.

#### **3.4.1.6 SIGNIFICADO Y USO**

El PCI es un indicador numérico que clasifica la condición superficial del pavimento, además provee una medida de la condición presente del pavimento basado en las fallas observadas en la superficie del pavimento las cuales también indican la integridad estructural y la condición operacional de la superficie. El PCI no puede medir la capacidad estructural.

#### **3.4.1.7 TRABAJOS EFECTUADOS**

El trabajo de evaluación fue realizado por el Ingeniero de Suelos y Pavimentos, realizando un recorrido a lo largo de toda la vía, y obteniendo un total de 200 ensayos.

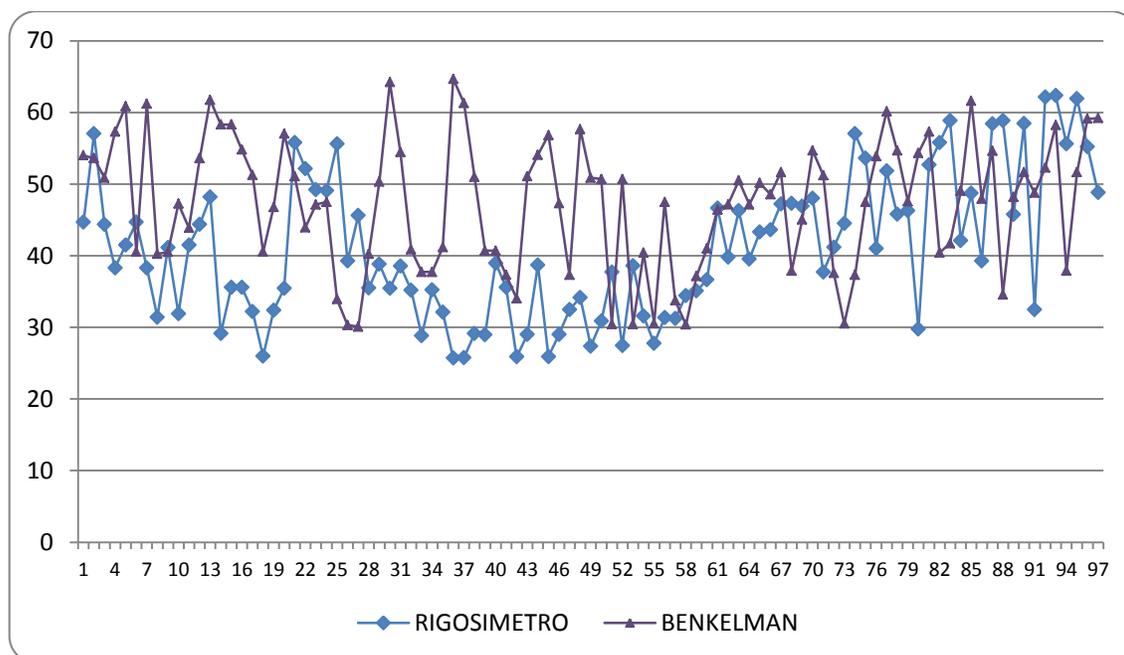
#### **3.4.1.8 MODELOS MATEMATICOS PARA PAVIMENTOS**

##### **Presentación de resultados**

En el presente capítulo se presenta las tablas y gráficos estadísticos, referente la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando la viga benkelman y el rugosímetro, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 AL

12+000, cuyo procesamiento de datos se ha hecho haciendo uso del paquete estadístico del SPSS y Microsoft Excel.

	MEDIDAS CENTRALES Y DISPERSION							
	Muestra	Media	Mediana	Moda	Máximo	Mínimo	Varianza	Desviación estándar
Viga Rugosimetro	97	41,1	39,3	35,6	62,4	25,7	98,7	9,9
Viga Benkelman	97	47,4	48,2	37,3	64,7	30,1	81,3	9,0



### Interpretación

En la viga rugosimetro para la evaluación de la muestra en la se presentan respectivamente de análisis se observa que la media es de 41.1; mientras que la Mediana indica que el 50% del total de los valores es de 39.3; la moda que presentan en la mayoría de los valores es 35.6; el valor máximo es de 62.4 y en cambio el valor mínimo es 25.7; Los valores que varían y desvían con respecto a la media en 98.7 y 9.9 respectivamente.

En la viga Benkelman para la evaluación de la muestra en la se presentan respectivamente de análisis se observa que la media es de 47.4; mientras que la Mediana indica que el 50% del total de los valores es de 48.2; la moda que presentan en la mayoría de los valores es 37.3; el valor máximo es de 64.7 y en

cambio el valor mínimo es 30.1; Los valores que varían y desvían con respecto a la media en 81.3 y 9.0 respectivamente.

## Prueba de Hipótesis General

### 1. Hipótesis

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** El puntaje promedio en la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando la viga benkelman y el rugosímetro, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 AL 12+000, no es significativo.

**Hipótesis alterna (H<sub>1</sub>):** El puntaje promedio en la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando la viga benkelman y el rugosímetro, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 al 12+000, es significativo.

### 2. Nivel de significación

$$\alpha = 0.05$$

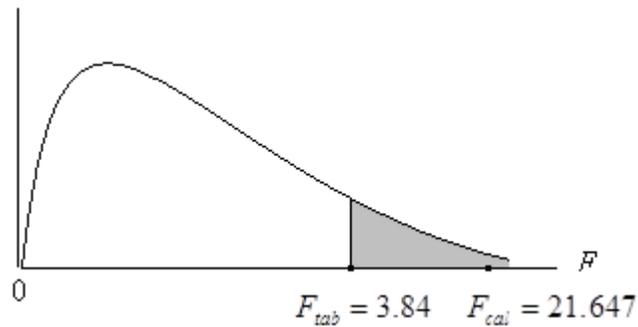
### 3. Estadístico de Prueba

$$F = \frac{CMT}{CME} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

### 4. Región Crítica

Para  $\alpha = 0.05$ , en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,193} = 3.84$$



## 5. Cálculos

Tabla Nº 01

**Análisis de Varianza para la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 AL 12+000**

Fuentes de Variacion	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F
Tratamiento	1	1948,916	1948,916	21,647
Error Experimental	192	17286,15	90,032	
<b>Total</b>	<b>193</b>	<b>19235,066</b>		

Fuente: Elaboracion Propia

**INTERPRETACION.-** A un nivel de significación de 0.05 que las evidencias muestrales indican que al menos un puntaje promedio de los diferentes métodos de evaluación del pavimento flexible considerando métodos no destructivos durante el proceso durante el proceso de experimentación, difiere significativamente entre los métodos.

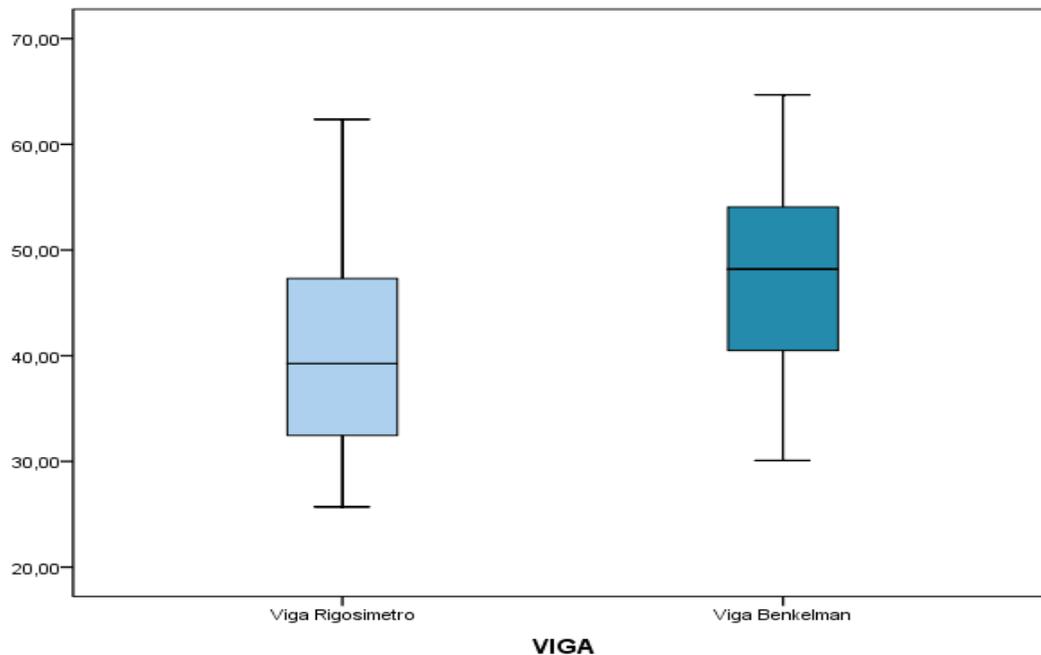
Sin embargo el análisis de varianza no permite determinar cual de los métodos es el que difiere estadísticamente entre ellos; lo que implica que no muestra que método tiene el mayor puntaje promedio durante el proceso de experimentación. Para tal efecto se debe realizar una prueba de comparaciones de medias.

Tabla No 2

**Diferencia de Medias para el Puntaje Promedio del proceso la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 AL 12+000**

		Prueba de muestras independientes									
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						95% de intervalo de confianza de la diferencia	
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar			
Metodos no Destructivos	Se asumen varianzas iguales	1,259	,263	-4,653	192	,000	-6,33907	1,36247	-9,02641	-3,65174	
	No se asumen varianzas iguales			-4,653	190,225	,000	-6,33907	1,36247	-9,02657	-3,65158	

**Diagrama de cajas para el proceso la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 AL 12+000**



Por lo tanto se concluye que con un nivel de significancia de 0.05 podemos afirmar que el puntaje promedio de los diferentes métodos de evaluación tiene diferencias estadísticas, y difieren significativamente entre los métodos de evaluación y por lo tanto el método que mas aportan al presente trabajo de investigación es el de Viga Benkelman. tal como se muestra en la tabla de diferencia de medias y el diagrama de cajas.

**Decisión.-** A un nivel de significación del 5%  $F_{cal} = 21.647$  cae en la región de rechazo, debemos rechazar la Hipótesis Nula y aceptamos la hipótesis alterna y

concluimos que los puntajes promedio en la evaluación de pavimento flexible mediante métodos no destructivos empleando la viga benkelman y el rugosímetro, entre Juliaca y Lampa, tramo km 7+000 al 12+000, no es igual entre ellas y difiere significativamente, durante el proceso experimentación.

## Prueba de hipótesis Específica uno

### 1. Hipótesis

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** Los valores del análisis en la viga benkelman no es una herramienta significativa en la utilidad para la evaluación estructural de pavimento.

**Hipótesis Alterna ( $H_1$ ):** Los valores del análisis en la viga benkelman es una herramienta significativa en la utilidad para la evaluación estructural de pavimento.

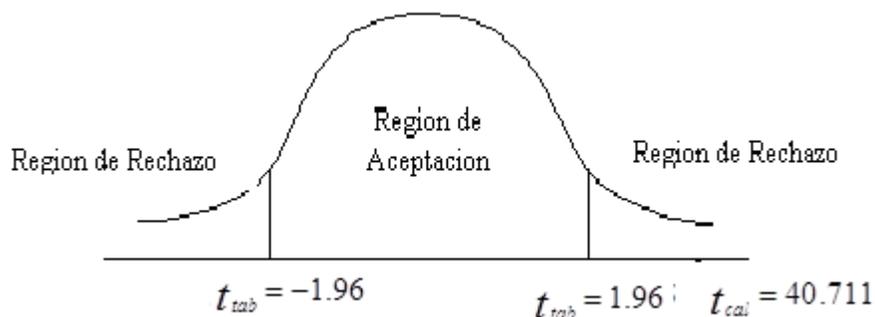
### 2. Nivel de significancia

$$\alpha=0.05$$

### 3. Estadístico de prueba

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

### 4. Región crítica



## 5. Cálculos

Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VIGA BENKELMAN	40,711	96	,000	41,07175	39,0692	43,0743

## 6. Conclusión

Como la  $t_{cal} = 40.711$  cae en la región de rechazo entonces se rechaza la hipótesis nula se puede concluir que los valores del análisis en la viga benkelman es una herramienta significativa y optimiza la utilidad para la evaluación estructural de pavimento en el tramo de Juliaca a Lampa. A nivel de significancia del 5%.

### Prueba de hipótesis Específica dos

#### 1. Hipótesis

**Hipótesis Nula ( $H_0$ ):** El equipo rugosímetro merlín no perfecciona significativamente la evaluación funcional de pavimento.

**Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ):** El equipo rugosímetro merlín perfecciona significativamente la evaluación funcional de pavimento.

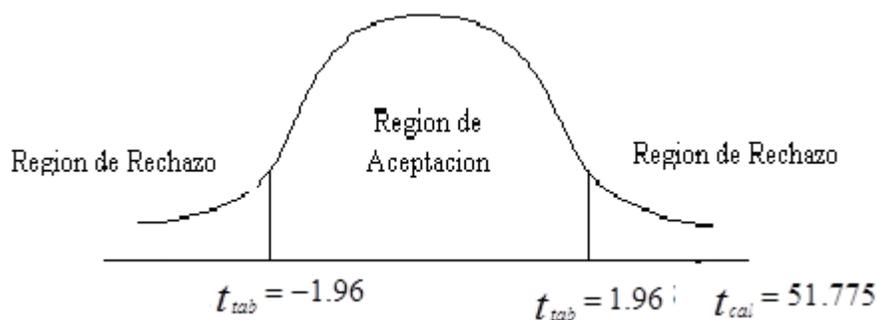
#### 2. Nivel de significancia

$$\alpha = 0.05$$

#### 3. Estadístico de prueba

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

#### 4. Región crítica



## 5. Cálculos

Prueba de muestra única

	Valor de prueba = 0					
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
VIGA RUGOSIMETRO	51,775	96	,000	47,41082	45,5932	49,2285

## 6. Conclusión

Como la  $t_{cal} = 51.775$  cae en la región de rechazo entonces se rechaza la hipótesis nula se puede concluir que los valores del análisis en la viga rugosimetro es un instrumento que perfecciona significativamente la evaluación funcional de pavimento en el tramo de Juliaca a Lampa. A nivel de significancia del 5%.

## CAPITULO IV RESULTADOS

### 4.1.0. RESULTADOS OBTENIDOS

#### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD

Las mediciones de la rugosidad De estas mediciones efectuadas a lo largo del tramo en estudio, se obtuvo en el carril derecho un IRI mínimo de 3.28IRI m/km en el Km. 7+000-8+000, un IRI máximo de 3.56 m/km en el Km. 9+000-10+000 y un IRI promedio de 3.44 m/km. Se concluye que el carril derecho posee mayor coeficiente de variación de los resultados obtenidos, como se muestra en el Cuadro anterior de Ensayos de Rugosidad.

## **CAPITULO V DISCUSION**

### **5.1.0. ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACION DE LAS DEFELXIONES**

Los resultados obtenidos de las mediciones de deflexiones se muestran en el Deflectograma adjunto, diferenciándose los valores del carril izquierdo como del carril derecho, asimismo los Resultados de Ensayos de Deflexiones se muestran en el Cuadro mencionados

De acuerdo a las fichas de evaluación se aprecia que la mayoría de fallas son fisuras longitudinales, transversales y fisuras en bloque, en los tres niveles (leve, moderado y severo). Los resultados de los ensayos realizados en las zonas representativas se aprecian en el Cuadro anteriores, Evaluación Superficial del Pavimento Método PCI, en donde al inicio del tramo la evaluación superficial se encuentra de bueno a regular estado a bueno siguiendo una superficie regular y finalizando el tramo con una superficie regular a pobre.

Por lo tanto, los sectores de mayor incidencia tienen un estado del pavimento bueno 28.4% y regular 23.3% (Cuadro N° 1 Resultados de Ensayos del PCI. Análisis Estadístico), lo que indicaría que la vía se encuentra en regular estado, de acuerdo a la metodología empleada.

## **CONCLUSIONES**

- ✓ El PCI es una técnica de levantamiento del deterioro bastante exacta, que produce resultados constantes cuando esta repetida, por eso ha sido normalizada por ASTM. El procedimiento de evaluación produce una medida significativa y muy exacta de la condición del pavimento.
- ✓ La vía en general de acuerdo a la evaluación presenta un estado de deterioro de Regular, lo que es un buen indicativo para efectuar el respectivo mantenimiento.
- ✓ De los resultados de evaluación funcional y estructural de la vía, en los sectores, se tiene un regular comportamiento de la superficie de rodadura y se estima la tendencia de su permanencia hasta el 1 año de servicio, establecido en el proyecto, para ejecutar el primer mantenimiento periódico.
- ✓ De los resultados de la evaluación funcional, la rugosidad ha pasado de un estado bueno a regular y se tiene fallas de perdida de agregado de severidad media (87 M) en un porcentaje; estableciéndose que requiere mantenimiento periódico y según el Manual de Conservación de carreteras Pavimentadas de regular Volumen de Transito del MTC, corresponde a la actividad de Reconformación de la Capa de Rodadura.

- ✓ Para la aplicación del método en la práctica, bastará con medir con la viga Benkelman y empleando la carga de un eje estándar, la deflexión máxima (D0) y una deflexión adicional (DR), a una distancia radial (R), con los que se podrá calcular en forma rápida el módulo de elasticidad o el CBR del suelo de subrasante, con la ayuda de tablas que han sido elaboradas para facilitar la obtención de resultados en el campo.

## **RECOMENDACIÓN**

- ✓ Continuar con el monitoreo, por parte del ente ejecutor Provias Descentralizado durante el periodo de mantenimiento concebido para el proyecto y el cual puede ser motivo de otro tema de tesis.
- ✓ Se recomienda usar  $D_r/D_o=0.5$  de acuerdo a estudios de FHWA.
- ✓ Es importante realizar tareas de mantenimiento rutinario y periódico para garantizar que el pavimento se conserve estructural y funcionalmente eficiente durante su periodo de servicio.
- ✓ Se debe de tener en cuenta los factores externos, tales como condición de obras de arte de la vía, incremento del volumen vehicular, adecuados ciclos de mantenimiento de los canales adyacentes, entre otros; ya que, los resultados obtenidos en la presente tesis se verán afectados por estos factores externos al corto plazo.
- ✓ Se recomienda realizar la señalización nueva para evitar cualquier accidente

## **BIBLIOGRAFIA**

1. Automatización del cálculo del índice de condición del pavimento – pci –. por: Luis Ricardo Vásquez Varela. ingeniero civil. especialista en vías y transporte. consultor. docente Universidad nacional de Colombia. sede Manizales.
2. CUNDILL, M.A. “MERLIN. A Low Cost Machine for Measuring Road Roughness in Developing Countries”. Transportation Research Record 1291. Crowthorne, 1990.
3. CUNDILL, M.A. “The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine”. Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL Research Report 301. Crowthorne, 1991.
4. CUNDILL, M.A. “The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide”. Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration. TRL Report 229. Crowthorne, 1996.
5. HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Guías de clase. Escuela de Transporte y Vías, Facultad de Ingeniería. UPTC. Tunja, 2005.

6. DEL AGUILA, P.M. "Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro MERLIN". Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano. Sevilla, 1999.
7. DEL AGUILA, P.M. "Estado del Arte sobre la Medición de la Rugosidad de Pavimentos en el Perú". Trabajo presentado al II Congreso Nacional del Asfalto. Lima, 1998.
8. DEL AGUILA, P.M. "Desarrollo de la Ecuación de Correlación para la determinación del IRI en pavimentos asfálticos nuevos, utilizando el rugosímetro MERLIN". Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano. Sevilla, 1999.
9. Gatica, M. (2005) "Evaluación de pavimentos flexibles en tramo experimental Polpaico – La Trampilla" Memoria Universidad de Santiago de Chile.
10. MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y CONSTRUCCION. 2000. Manual de especificaciones para la construcción de carreteras. Del proyecto especial rehabilitación infraestructura de transportes. Lima Perú.
11. SAYERS, M.W. et al. "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements". World Bank Technical Paper N° 46. Washington D.C., 1986.
12. PABLO DEL AGUILA. Ensayos de deflexión de viga benkelman
13. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO PUNO. 2004. Manual para elaborar proyecto y tesis en pregrado. De la coordinación de investigación de la carrera profesional de Ing. Geológica. Puno Perú. 59 p.

**ANEXOS**



**FOTOGRAFIA N° 01 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO  
PA LA PARTE FUNCIONAL CON EL INSTRUMENTO  
RUGOSIMETRO MERLIN Y LA LECTURA**



**FOTOGRAFIA N° 02 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO PA LA PARTE FUNCIONAL CON EL INSTRUMENTO RUGOSIMETRO MERLIN.**



**FOTOGRAFIA N° 03 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO PA LA PARTE FUNCIONAL CON EL INSTRUMENTO RUGOSIMETRO MERLIN Y LA LECTURA**



**FOTOGRAFIA N° 04 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO PA LA PARTE FUNCIONAL CON EL INSTRUMENTO RUGOSIMETRO MERLIN Y LA LECTURA**



**FOTOGRAFIA N° 05 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO PA LA PARTE FUNCIONAL CON EL INSTRUMENTO RUGOSIMETRO MERLIN Y LA LECTURA**



**FOTOGRAFIA N° 06 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO  
PA LA PARTE FUNCIONAL CON EL INSTRUMENTO  
RUGOSIMETRO MERLIN Y LA LECTURA**



**FOTOGRAFIA N° 07 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO  
PA LA PARTE FUNCIONAL EN DONDE SE LAS GRIETAS EN**

**EL PAVIMENTO FLEXIBLE**

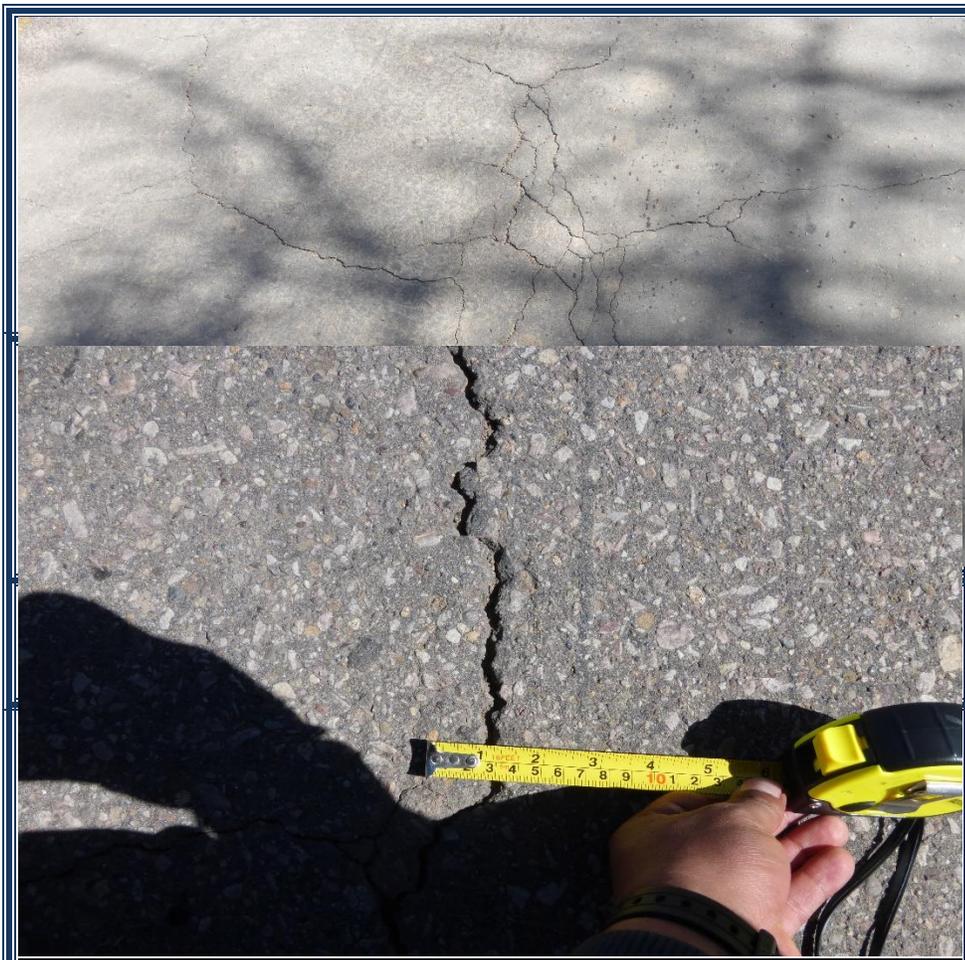


**FOTOGRAFIA N° 08 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO  
PA LA PARTE FUNCIONAL EN DONDE SE REALIZA LAS**

**MEDICIONES DE LAS GRIETAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE**



**FOTOGRAFIA N° 09 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO PA LA PARTE FUNCIONAL EN DONDE SE REALIZA LAS MEDICIONES DE LAS FISURAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE**



**FOTOGRAFIA N° 11 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO  
PA LA PARTE FUNCIONAL EN DONDE SE REALIZA LA  
MEDICION DE GRITAS EN EL PAVIMENTO FLEXIBLE**



**FOTOGRAFIA N° 12 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO  
PA LA PARTE FUNCIONAL EN DONDE SE REALIZA LA  
CALICATA PARA VER LA SUB BASE , BASE EN EL  
PAVIMENTO FLEXIBLE**



**FOTOGRAFIA N° 13 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE REALIZA EL ARMADO DE VIGA BENKELMAN.**



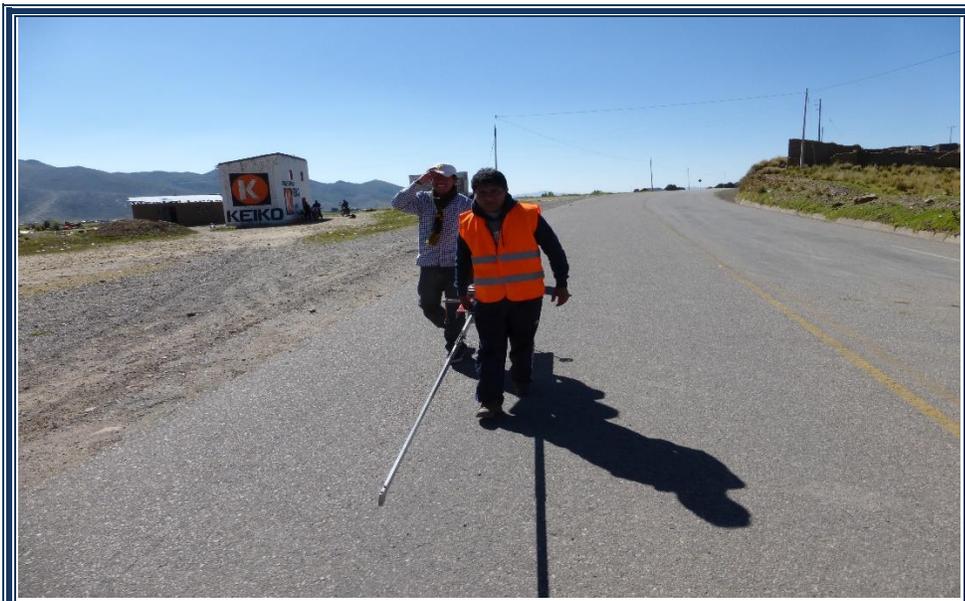
**FOTOGRAFIA N° 15 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE UN CAMION VOLQUETE CARGADO DE 8.2 TN Y LA VIGA BENKELMAN ENTRE LOS NEUMATICOS EN CARRIL DERECHO.**



**FOTOGRAFIA N° 14 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE UN CAMION VOLQUETE CARGADO DE 8.2 TN Y LA VIGA BENKELMAN ENTRE LOS NEUMATICOS.**



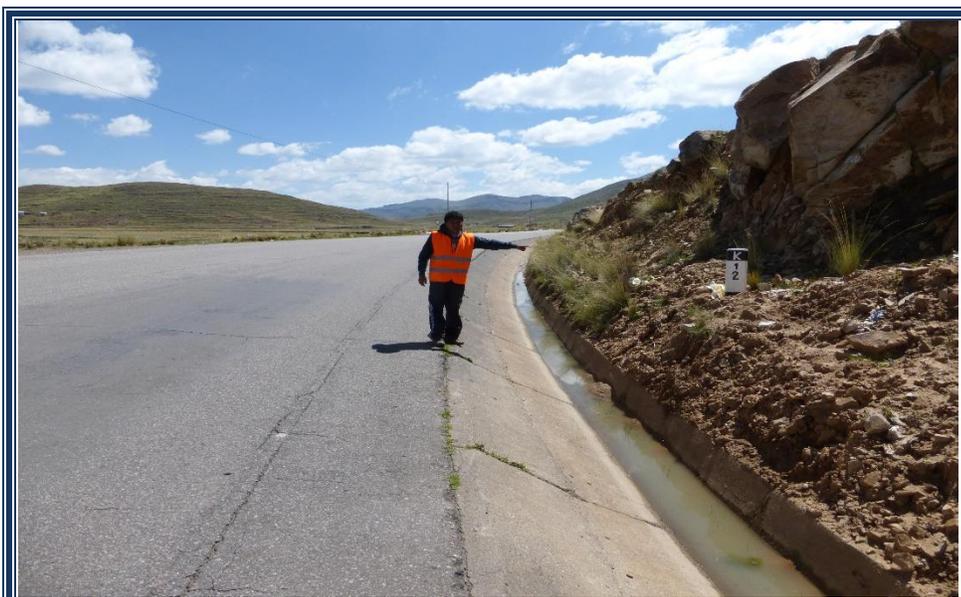
**FOTOGRAFIA N° 16 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE UN CAMION VOLQUETE CARGADO DE 8.2 TN Y LA VIGA BENKELMAN ENTRE LOS NEUMATICOS EN CARRIL DERECHO.**



**FOTOGRAFIA N° 17 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE EL TRASLADO DE VIGA BENKELMAN EN CARRIL DERECHO.**



**FOTOGRAFIA N° 18 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE ENTRE LOS NEUMATICOS DE VIGA BENKELMAN EN CARRIL DERECHO.**



**FOTOGRAFIA N° 19 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE KM 12+000 DEL CARRIL DERECHO.**



**FOTOGRAFIA N° 20 TRAMO JULIACA LAMPA EVALUANDO LA PARTE ESTRUCTURAL EN DONDE SE VE ENTRE LOS NEUMATICOS DE VIGA BENKELMAN EN CARRIL DERECHO.**