

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad es importante ofrecer una red vial con excelentes condiciones, a causa del impulso económico que éstas ofrecen y la disminución en tiempos de circulación y costos de operación de los vehículos, llevando consigo un beneficio considerable a los usuarios.

Uno de los problemas más serios que vivimos en el departamento de Tarija, es el pésimo estado en que se encuentran los pavimentos urbanos, es frecuente encontrar en ellos fisuras, depresiones y baches que dificultan el tránsito normal de los vehículos que circulan en nuestra ciudad.

Los problemas como, lluvias, rápida expansión del tráfico, fallas constructivas, falta de mantenimiento y conservación, nos hacen reflexionar sobre la necesidad de evaluar las condiciones del pavimento de la ciudad de Tarija particularmente la avenida Circunvalación.

En este sentido el presente trabajo desarrolla la evaluación de la condición actual de la superficie del pavimento de la avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija, aplicando la metodología PCI para determinar el nivel de serviciabilidad, IRI índice de rugosidad internacional y el Péndulo de fricción para determinar el coeficiente de fricción.

La metodología de trabajo será del tipo evaluativo visual y a través de un formato de evaluación.

En este trabajo se analizará la Clase de Daño, Severidad del mismo y Cantidad o Densidad, para formular una propuesta de mejoras a realizar en base a las fallas encontradas, que ayude a mejorar las condiciones de circulación vehicular. Y al mismo tiempo crear una cultura en cuanto a mantenimiento de la red vial porque dependiendo de qué tan frecuente se ejecute éste, se podrá proporcionar una red adecuada que cumpla con las necesidades de comunicación entre los diferentes sectores urbanos de nuestra ciudad, así ayudar al crecimiento de nuestro departamento.

## **1.1 JUSTIFICACIÓN**

El crecimiento económico de la ciudad de Tarija trae consigo un aumento en lo que a transporte se refiere (por movilización de personas y/o de carga), hacen necesaria la aplicación de metodologías que evalúen el estado del pavimento, flexible y/o rígido.

En nuestra ciudad se están aplicando diferentes metodologías para el mantenimiento, convirtiéndose éstas en herramientas de gran importancia a la hora de elaborar propuestas de mejoras y rehabilitación de vías que generen resultados acordes con la economía, por lo cual es necesario realizar evaluaciones del estado de los pavimentos que nos den indicios certeros para detectar a tiempo daños que si se los deja evolucionar, en el futuro resultaría más costosa y traumática su reparación.

Los tramos de pavimento rígido y flexible de la avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija, que se evaluarán aplicando la metodología PCI para determinar el nivel de serviciabilidad, IRI índice de rugosidad internacional y el Péndulo de fricción para determinar el coeficiente de fricción.

## **1.2 DISEÑO TEÓRICO**

### **1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.2.1.1 SITUACIÓN PROBLÉMICA**

El mal estado en que se encuentran las vías en la ciudad de Tarija, es un serio problema que afecta a todo el departamento. Una de las razones por las que el pavimento se deteriora, es por deficiencias en el sistema de alcantarillado pluvial y en otros casos por no contar con el mismo.

Muy a menudo se ve que los desagües revientan y para arreglar las tuberías, no queda otra opción que romper el pavimento. Algunas veces las calles se reparan, pero quedando con menor calidad que el pavimento inicial y propensas a fallar nuevamente.

El mantenimiento es sin duda primordial en el buen funcionamiento de una vía pavimentada, éste comienza desde el instante en que pone en explotación la vía ya que sólo

realizando continuamente una serie de actividades en pro de la conservación vial, se puede garantizar la preservación del pavimento, alcanzar y superar la vida útil de diseño.

### **1.2.1.2 PROBLEMA**

En base a las patologías existentes en el pavimento de la avenida circunvalación, ¿Se puede establecer cuáles son las condiciones físicas actuales del pavimento rígido y flexible de la avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija?

### **1.2.2 OBJETIVOS**

#### **1.2.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar el estado actual de la condición superficial del pavimento, para la Avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija, Provincia Cercado, Departamento Tarija, a partir de indicadores de estado y un relevamiento de fallas, para establecer un adecuado plan de mantenimiento y reparación que ayude a mejorar las condiciones de flujo vehicular y la seguridad de la vía.

#### **1.2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Clasificar los tipos de daños encontrados por unidad de muestreo, en la avenida Circunvalación.
- Evaluar la severidad de los daños encontrados, sectorizar de acuerdo a la clasificación resultante.
- Valorar el estado superficial del pavimento en base a los indicadores IRI, IFI, PCI y establecer la condición de pavimento.
- Establecer las medidas correctivas a través de una propuesta de mejoras a realizar en el pavimento de la avenida Circunvalación de la ciudad de Tarija.

### **1.2.3 HIPÓTESIS**

Realizando un estudio del nivel de fallas y deterioros existentes en el pavimento de la Avenida Circunvalación se podrá obtener índices de calificación del estado actual de la superficie de la vía, y poder establecer una propuesta de mejoras a realizar para la conservación y prolongación de la vida útil de la vía.

## **1.2.4 VARIABLES**

### **1.2.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Determinación de las fallas y deterioros existentes en el pavimento de la Avenida Circunvalación.
- Características de la textura superficial del pavimento.

### **1.2.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

- Índice de Condición de pavimento PCI.
- Índice de Rugosidad Internacional IRI.
- Índice de Fricción Internacional IFI.
- Propuesta de mejoras a realizar en el pavimento.

## **1.3 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo del trabajo será mediante un inventario manual e inspección visual de la superficie de pavimento flexible y rígido, teniendo en cuenta los tipos de daño que se pueden presentar en éstos y registrándolos en los formatos de los métodos a utilizar: IRI, IFI y PCI. Se evaluarán 11 kilómetros lineales de pavimento flexible y rígido que forman parte de la avenida Circunvalación. Dentro de ese sistema, se encuentran dos tramos de pavimento, que son los 5521.52 metros lineales de pista correspondiente a cada sentido de vía.

Lo cual permitirá dar una calificación sobre el tramo objeto de estudio, generando conclusiones sobre estado actual de la superficie del pavimento.

## **1.4 DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.4.1 COMPONENTES**

#### **1.4.1.1 UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL**

##### **UNIDAD DE ESTUDIO**

Evaluación de pavimentos.

## **POBLACIÓN**

Para la presente Investigación la población está dada por la delimitación geográfica de la avenida Circunvalación, con una longitud de 10.74 kilómetros lineales de pavimento flexible y rígido que forman parte de la avenida Circunvalación. Dentro de ese sistema, se encuentran dos tramos de pavimento, que son los 5372.5 metros lineales de pista correspondiente a cada sentido de vía.

### **1.4.1.2 MUESTRA**

Las unidades de muestra fueron convenientemente definidas por una porción de un pavimento de sección elegida solamente para la inspección del pavimento.

### **1.4.1.3 MUESTREO**

Para poder realizar la división de las unidades de muestra se tomó en base al ancho de calzada, además se hizo valer el área que debe estar entre  $230 \pm 93$  metros cuadrados.

De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Longitud total de la vía	5372.5 m
Ancho de calzada	7.5 m
Longitud de la muestra	40.0 m

Se ha adoptado una longitud de muestra de 40.00m, debido a que el ancho de calzada es de 7.5m. Esto da un área de  $300.00 \text{ m}^2$ , la cual encaja en los valores normados por ASTM D6433-99.

Para la obtención de número total de muestras, se divide la longitud total de la vía entre la longitud de la muestra, dando como resultado 134 unidades de muestra para cada sentido de la vía.

$$N = \frac{5372.5}{40} = 134.31 \approx 134$$

*Ecuación 1*

Aplicando la siguiente ecuación, se calcula las unidades a ser evaluadas, se adoptará un error  $e = 10\%$  y una desviación estándar de  $\sigma = 25$ , debido a que se tiene conocimiento que ya se realizó una evaluación anterior.

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

*Ecuación 2*

$$n = \frac{134 \times 25^2}{\frac{10^2}{4} \times (134 - 1) + 25^2} = 21.2 \approx 21$$

De modo que tenemos 21 unidades de muestra para inspección en cada sentido de la vía.

#### 1.4.1.4 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA INSPECCIÓN

Mediante la siguiente ecuación , se calculan las unidades de muestra a ser inspeccionadas aplicando el método aleatorio.

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

*Ecuación 3*

$$i = \frac{134}{21} = 6.3 \approx 6$$

Por lo tanto el intervalo de muestreo será igual a 6 para cada sentido de la vía.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----

**Cuadro1. Intervalo de Muestras**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Muestra	Abscisa inicial	Abscisa final	Muestra	Abscisa inicial	Abscisa final
1	0+000	0+040	24	0+000	0+040
2	0+240	0+280	25	0+240	0+280
3	0+480	0+520	26	0+480	0+520
4	0+720	0+760	27	0+720	0+760
5	0+960	1+000	28	0+960	1+000
6	1+200	1+240	29	1+200	1+240
7	1+440	1+480	30	1+440	1+480
8	1+680	1+720	31	1+680	1+720
9	1+920	1+960	32	1+920	1+960
10	2+160	2+200	33	2+160	2+200
11	2+400	2+440	34	2+400	2+440
12	2+640	2+680	35	2+640	2+680
13	2+880	2+920	36	2+880	2+920
14	3+120	3+160	37	3+120	3+160
15	3+360	3+400	38	3+360	3+400
16	3+600	3+640	39	3+600	3+640
17	3+840	3+880	40	3+840	3+880
18	4+080	4+120	41	4+080	4+120
19	4+320	4+360	42	4+320	4+360
20	4+560	4+600	43	4+560	4+600
21	4+800	4+840	44	4+800	4+840
22	5+040	5+080	45	5+040	5+080
23	5+280	5+320	46	5+280	5+320

**Cuadro2. Progresivas de Muestras**  
**Fuente: Elaboración Propia**

## 1.4.2 PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS

### 1.4.2.1 MANEJO ESTADÍSTICO

En la presente investigación se manejará el método estadístico no probabilístico, sacando valores promedios de los ensayos a realizarse en campo con los equipos mencionados para el cálculo del IRI, IFI. Cabe mencionar que sólo se saca el valor promedio de los ensayos debido a que se mide de manera directa, no aplicando así otros parámetros de la estadística como la desviación, moda, etc., en el momento de la obtención de datos.

La media se obtiene como el promedio aritmético de todos los datos de la muestra; así para  $x_1, x_2, x_3, x_n$ , de tamaño "N" obtenida para una población, la media se determina por:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

*Ecuación 4*

*Expresión estadística de la media*  
*Fuente: Elaboración Propia*

Esta media, se interpreta como el valor típico y central de los datos. Si es suficiente representar con un solo número, la media resulta la mejor descripción de los valores observados.

## **2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

### **2.1 MARCO SITUACIONAL**

La zona a estudiar es la avenida circunvalación, ciudad de Tarija, provincia Cercado, departamento de Tarija.

La avenida Circunvalación es una de las vías urbana más transitadas, por ella circulan



líneas de micros, taxi trufis, y lo más relevante es que alrededor de ella se encuentran un gran cantidad de comercio lo cual lleva al tránsito de vehículos de alto tonelaje.

Como la avenida Circunvalación tiene doble sentido, se analizarán muestras al azar para cada vía.

### 2.1.1 UBICACIÓN

El área de estudio se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija perteneciente a la provincia Cercado, esta avenida une los distritos N°7, N°8, N°9. Que inicia en el cruce de la avenida Panamericana y finaliza en la quebrada San Pedro.



*Figura 1. Inicio Avenida Circunvalación  
Fuente: Elaboración propia*



***Figura 2. Fin Avenida Circunvalación  
Fuente: Elaboración propia***



***Figura 3. Avenida Circunvalación  
Fuente: Elaboración propia***

## **2.2 MARCO HISTÓRICO**

### **2.2.1 ANTECEDENTES LOCALES**

Se consideran todos los estudios y proyectos de grados (Tesis) que se realizaron en nuestro medio local orientado a la evaluación de pavimentos.

#### **TESIS**

“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS RÍGIDOS CON DETERIORO PREMATURO APLICACIÓN SEGUNDO TRAMO AVENIDA CIRCUNVALACIÓN” en marzo 2007

*Cuyo autor es:*

MARCELA ELIZABETH LÓPEZ.

#### **TESIS**

“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CALLE BOLÍVAR DE LA CIUDAD DE TARIJA” en diciembre 2007

*Cuyo autor es:*

DIONICIO TAPIA.

#### **TESIS**

“EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO AV. PANAMERICANA DESDE EL PUENTE TOMATITAS HASTA EL CRUCE CON LA CALLE FROILÁN TEJERINA EN LA CIUDAD DE TARIJA” en agosto 2012

*Cuyo autor es:*

DAVID MARTÍNEZ MURUCHI.

## 2.3 MARCO TEÓRICO

### 2.3.1 CONCEPTO DE PAVIMENTO

Se adoptará, un par de definiciones de autores que explican de muy buena manera la definición de pavimento:

“Es una estructura que se encuentra constituida por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub rasante de la vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de restringir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento”.

### 2.3.2 CLASIFICACIÓN DE PAVIMENTOS Y CARACTERÍSTICAS

**PAVIMENTOS FLEXIBLES:** es el pavimento que tienen en su parte superior una carpeta bituminosa, apoyada sobre dos capas granulares, denominadas base y sub base. En la siguiente figura se presenta un corte de la sección típica de un Pavimento Flexible.



*Figura 4. Paquete estructural pavimento flexible*  
*Fuente: Mecánica de pavimentos Principios básicos*

**PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDO:** contiene la misma estructura de un pavimento flexible, con la variación que una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con algún aditivo que puede ser: asfalto, cal, cemento, emulsión o químicos; los cuales permitan incrementar la capacidad portante del suelo.

**PAVIMENTOS RÍGIDOS:** son pavimentos en los cuales su capa superior está compuesta por una losa de cemento hidráulico, la cual se encuentra apoyada sobre una capa de material denominada base o sobre la sub rasante.



*Figura 5. Paquete estructural pavimento rígido*  
*Fuente: Mecánica de pavimentos Principios básicos*

**PAVIMENTOS ARTICULADOS:** son pavimentos cuyas capas de rodadura se encuentran conformadas por bloques de concreto prefabricados, que se denominan adoquines, son iguales entre sí y de un espesor uniforme; y que se colocan sobre una capa delgada de arena, la cual se encuentra sobre una capa granular o la sub rasante. En la siguiente figura se presenta un corte de la sección típica de un Pavimento Articulado.



*Figura 6. Paquete estructural pavimento articulado*  
*Fuente: Mecánica de pavimentos Principios básicos*

### **2.3.3 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

La evaluación de pavimentos consiste en un informe, en el cual se presenta el estado en el que se halla la superficie del mismo, para de esta manera poder adoptar las medidas adecuadas de reparación y mantenimiento, con las cuales se pretende prolongar la vida útil de los pavimentos, es así, que es de suma importancia elegir y realizar una evaluación que sea objetiva y acorde al medio en que se encuentre.

### **2.3.4 IMPORTANCIA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

La evaluación de pavimentos es importante, pues permitirá conocer a tiempo los deterioros presentes en la superficie, y de esta manera realizar las correcciones, consiguiendo con ello brindar al usuario una serviciabilidad óptima.

Con la realización de una evaluación periódica del pavimento se podrá predecir el nivel de vida de una red o un proyecto. La evaluación de pavimentos, también permitirá optimizar los costos de rehabilitación, pues si se trata un deterioro de forma temprana se prolonga su vida de servicio ahorrando de esta manera gastos mayores.

### **2.3.5 OBJETIVIDAD EN LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

La objetividad en la evaluación de pavimentos juega un papel primordial, pues se necesita personas verdaderamente capacitadas para que realicen las evaluaciones, de no ser así, dichas pruebas pueden perder credibilidad con el tiempo y no podrán ser comparadas, además, es importante que se escoja un modelo de evaluación que se encuentre estandarizado para poder decir que se ha realizado una evaluación verdaderamente objetiva.

### **2.3.6 TIPOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS**

Para la evaluación de pavimentos, se puede decir que esta evaluación se la subdivide en:

- Evaluación Superficial

➤ Evaluación Estructural

### **2.3.7 EVALUACIÓN SUPERFICIAL**

### **2.3.8 ÍNDICE DE CONDICIÓN DE PAVIMENTO (PCI)**

El método PCI (*Pavement Condition Index*) es un procedimiento que consiste en la determinación de la condición del pavimento a través de inspecciones visuales, identificando la clase, severidad y cantidad de fallas encontradas, siguiendo una metodología de fácil implementación y que no requiere de herramientas especializadas, pues se mide la condición del pavimento de manera indirecta.

Este método constituye el modo más completo para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, siendo ampliamente aceptado y formalmente adoptado, como procedimiento estandarizado.

#### **OBJETIVOS DEL PCI**

Los objetivos que se persiguen con la aplicación del Método PCI son:

- Determinar el estado de un pavimento en términos de su integridad estructural y su nivel de servicio.
- Obtener un indicador que permita comparar con un criterio uniforme la condición y comportamiento de los pavimentos.
- Obtener un criterio racional para justificar la programación de obras de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.
- Obtener información relevante de retroalimentación respecto del comportamiento de las soluciones adoptadas en el diseño, evaluación y criterios de mantenimiento de pavimentos.

#### **PATOLOGÍAS**

El deterioro de la estructural de un pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número

de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad tiene sobre la condición del pavimento.

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.

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

**Figura 7. Rangos del PCI**

**Fuente: Pavement Concition Index, Manizales, Ingepav.**

## **DETERMINACIÓN DE LAS UNIDADES DE MUESTREO PARA EVALUACIÓN**

En la evaluación de una sección 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 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%.

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

**Ecuación 5**



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.

### **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.

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

*Ecuación 6*

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.

### **EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN**

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

La evaluación de la condición incluye los siguientes aspectos:

#### **Procedimiento.**

Se inspecciona una unidad de muestreo para medir el tipo, cantidad y severidad de los daños de acuerdo con el Manual de Daños, y se registra la información en el formato

correspondiente. Se deben conocer y seguir estrictamente las definiciones y procedimientos de medida los daños. Se usa un formulario u “hoja de información de exploración de la condición” para cada unidad muestreo y en los formatos cada renglón se usa para registrar un daño, su extensión y su nivel de severidad.

El equipo de inspección deberá implementar todas las medidas de seguridad para su desplazamiento en la calle inspeccionada.

### **CÁLCULO DEL PCI DE LAS UNIDADES DE MUESTREO**

Al completar la inspección de campo, la información sobre los daños se utiliza para calcular el PCI. El cálculo puede ser manual o computarizado y se basa en los “Valores Deducidos” de cada daño de acuerdo con la cantidad y severidad reportadas.

### **CÁLCULO PARA CARRETERAS CON CAPA DE RODADURA ASFÁLTICA**

**Etapa 1.** Cálculo de los Valores Deducidos:

*1.a.* Totalice cada tipo y nivel de severidad de daño y regístrelo en la columna TOTAL del formato inventario de daños. El daño puede medirse en área, longitud o por número según su tipo.

*1.b.* Divida la CANTIDAD de cada clase de daño, en cada nivel de severidad, entre el ÁREA TOTAL de la unidad de muestreo y exprese el resultado como porcentaje. Esta es la DENSIDAD del daño, con el nivel de severidad especificado, dentro de la unidad en estudio.

*1.c.* Determine el VALOR DEDUCIDO para cada tipo de daño y su nivel de severidad mediante las curvas denominadas “Valor Deducido del Daño” de acuerdo con el tipo de pavimento inspeccionado.

**Etapa 2.** Cálculo del Número Máximo Admisible de Valores Deducidos (m).

*2.a.* Si ninguno o tan sólo uno de los “Valores Deducidos” es mayor que

2, se usa el “Valor Deducido Total” en lugar del mayor “Valor Deducido Corregido”, CDV, obtenido en la Etapa 4. De lo contrario, deben seguirse los pasos 2.b. y 2.c.

**2.b.** Liste los valores deducidos individuales deducidos de mayor a menor.

**2.c.** Determine el “Número Máximo Admisible de Valores Deducidos” ( $m$ ), utilizando la Ecuación:

$$m_i = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i)$$

*Ecuación 7*

Donde.

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

$HDV_i$ : El mayor valor deducido individual para la unidad de muestreo  $i$ .

**2.d.** El número de valores individuales deducidos se reduce a  $m$ , inclusive la parte fraccionaria. Si se dispone de menos valores deducidos que  $m$  se utilizan todos los que se tengan.

**Etapa 3.** Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV. El máximo CDV se determina mediante el siguiente proceso iterativo:

**3.a.** Determine el número de valores deducidos,  $q$ , mayores que 2.0.

**3.b.** Determine el “Valor Deducido Total” sumando TODOS los valores deducidos individuales.

**3.c.** Determine el CDV con  $q$  y el “Valor Deducido Total” en la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento.

**3.d.** Reduzca a 2.0 el menor de los “Valores Deducidos” individuales que sea mayor que 2.0 y repita las etapas 3.a. a 3.c. hasta que  $q$  sea

igual a 1.

- 3.e.** El máximo CDV es el mayor de los CDV obtenidos en este proceso.

**Etapa 4.** Calcule el PCI de la unidad restando de 100 el máximo CDV obtenido en la Etapa 3.

Formato Para la Obtención del Máximo Valor Deducido

Corregido.

No.	Valores Deducidos										Total	q	CDV
1													
2													
3													
4													

**Cuadro 3. Tabulación de datos PCI**

**Fuente: Pavement Concition Index, Manizales, Ingepav.**

### **Cálculo para Pavimentos con Capa de Rodadura en Concreto de Cemento Portland:**

**Etapa 1.** Cálculo de los Valores Deducidos.

- 1. a.** Contabilice el número de LOSAS en las cuales se presenta cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad en el formato PCI-02.
  
- 1. b.** Divida el número de LOSAS contabilizado en 1.a. entre el número de LOSAS de la unidad y exprese el resultado como porcentaje (%) Esta es la DENSIDAD por unidad de muestreo para cada combinación de tipo y severidad de daño.
  
- 1. c.** Determine los VALORES DEDUCIDOS para cada combinación de tipo de daño y nivel de severidad empleando la curva de **“Valor**

*Deducido de Daño*” apropiada entre las que se adjuntan a este documento.

**Etapa 2.** Cálculo del número Admisible Máximo de Deducidos (m)

Proceda de manera idéntica a lo establecido para vías con capa de rodadura asfáltica, como se describió anteriormente.

**Etapa 3.** Cálculo del “Máximo Valor Deducido Corregido”, CDV.

Proceda de manera idéntica a lo establecido para vías con capa de rodadura asfáltica, pero usando la curva correspondiente a pavimentos de concreto.

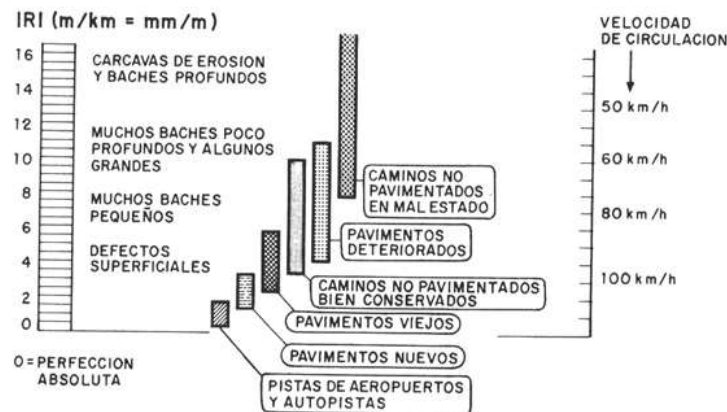
**Etapa 4.** Calcule el PCI restando de 100 el máximo CDV.

### **2.3.9 ÍNDICE DE REGULARIDAD SUPERFICIAL INTERNACIONAL (IRI), (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)**

En la actualidad, a fin de poder comparar las medidas realizadas con equipos diferentes, se está imponiendo el empleo del IRI (Índice Internacional de Regularidad), establecidos a partir de estudios auspiciados por el Banco Mundial (1986). Para definir el IRI se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y masas de un

vehículo circulando por un tramo de carretera a una velocidad de 80 km/h. Este modelo se denomina QCS (Quarter Car Simulation), o simplemente QI (Quarter Index), dado que representa la cuarta parte de un vehículo de cuatro ruedas o un remolque de una sola rueda.

El IRI en un punto de una carretera se define como el cociente entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y la distancia recorrida por dicho vehículo. Se expresa en milímetros por metro o metros por kilómetro. Valores inferiores a 2 mm/m representan una magnífica regularidad superficial para todo tipo de carreteras; para carreteras secundarias, de velocidad específica en torno a los 80 km/h, basta que el IRI sea inferior a 5 mm/m .



**Figura 8. Rangos del IRI**  
**Fuente. Mecánica de pavimentos. Principios básicos.**

Para llevar adelante este método de evaluación, se utilizara el software denominado INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca de Colombia. Previo a la utilización de este programa, se debe realizar la nivelación con mira y nivel, del tramo total o sub tramos escogidos para el estudio, con el fin de obtener las cotas del perfil de la superficie del pavimento, pues estos son esenciales para la ejecución del programa.

El software para determinar el IRI hace uso del programa: IRI método (Mira y Nivel), este programa está conformado por 6 módulos, a saber:

Delta X ( Dx)
Identificación del tramo ( )
Entrada Información
Calculo IRI
Gráfica
Imprimir Información
Terminar

### **DELTA X (DX)**

Es la parte del programa que permite escoger el incremento en el abscisado de los datos de nivelación. Se dispone de los siguientes deltas en el programa:

50 mm.
100 mm.
152.4 mm. ( 0.5 ft ).
166.7 mm.
200 mm.
250 mm.
304.8 mm. ( 1.0 ft ).
333.3 mm.
500 mm.
609.6 mm. ( 2.0 ft ).

### **IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO**

Este módulo es el encargado de entrar las características esenciales del tramo de análisis. Estas características son:

Código Tramo.
---------------

Nombre del Tramo.
-------------------

Abscisa Inicial y Final.
--------------------------

La abscisa Inicial y Final corresponde al inicio y fin del tramo, la longitud máxima del tramo depende del Delta escogido de acuerdo al Cuadro.

Delta	Longitud Máxima
( mm )	( m )
50	800
100	1600
152.4	2438
166.7	2667
200	3200
250	4000
304.8	4876
333.3	5332
500	8000
609.6	9753

## **ENTRADA DE INFORMACIÓN**

Esta parte del programa dará la posibilidad de entrada de las cotas por abscisa de la nivelación.

## **CÁLCULO DEL IRI**

Se calculará el Índice de rugosidad Internacional teniendo en cuenta la información digitada anteriormente.

En la pantalla aparecerá la siguiente información, la cual identifica el proceso de cálculo necesario para encontrar el valor del IRI.

Delta X: Delta escogido.

Número total de datos: Es la cantidad de abscisas existentes en el tramo.



Z1, Z2, Z3, Z4, Y,  $\Sigma RSi$ : Variables requeridas por el sistema.

IRI: Valor del Índice de rugosidad Internacional calculado.

### **GRÁFICA**

Sacará una gráfica del perfil del tramo con 2 ejes coordenados ( X - Abscisas y Y - Cotas ), dando la posibilidad definir límites superior e inferior.

#### **2.3.10 ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO**

El péndulo británico es un equipo dinámico de impacto utilizado para medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de caucho, cuando la arista o borde roza con una presión determinada y en una longitud fija la superficie a ensayar. Este método de ensayo es utilizado tanto en el laboratorio como en el campo, en superficies planas y para medidas de pulimento de muestras de laboratorio curvas, usadas en pruebas de pulimento acelerado con llanta.

El valor numérico medido con este péndulo C.R.D (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento), para superficies planas y los valores del pulimento para muestras de pulimento acelerado con llanta, representan las propiedades friccionantes obtenidas con el aparato, usando el procedimiento aquí establecido y no necesariamente concuerdan con las medidas de rozamiento efectuadas con otros equipos.

La norma no considera los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer prácticas apropiadas de seguridad y salubridad y determinar la aplicación de limitaciones regulatorias antes de su empleo.

### **USO Y SIGNIFICADO DEL ENSAYO**

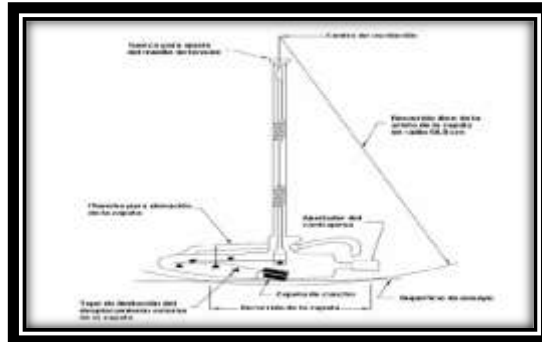
Este método entrega una medida de las propiedades friccionantes y de la macrotextura de superficies, ya sea en el campo o en el laboratorio. Este método puede ser utilizado para determinar el efecto relativo de varias pruebas de pulimento en materiales o combinación de materiales.

Cabe mencionar que los valores de C.R.D. y valores de pulimento obtenidos en superficies similares no son numéricamente iguales, principalmente por las diferencias en la longitud de rozamiento y por la forma de la superficie. Correcciones teóricas de los valores de pulimento con el fin de obtener una igualdad numérica, ya sea matemáticamente o con el uso de una escala de medición especial no son recomendables.

### **PARTES DEL EQUIPO**

**Péndulo británico.**- El Péndulo con la zapata deslizante y el montaje de la zapata, debe pesar  $1500 \pm 30\text{g}$ . Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de  $411 \pm 5\text{ mm}$  del centro de oscilación. La zapata debe tener un ajuste vertical capaz de permitir un contacto de la zapata con la superficie en una longitud entre 124 y 127 mm, para pruebas sobre superficies planas y entre 75 y 78 mm para pruebas en muestras sometidas a pulimento con llanta. El arreglo compuesto por el resorte y el

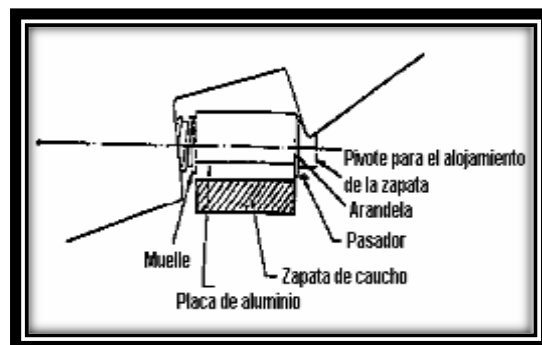
elevador como se muestra en la Figura debe permitir que la zapata de 76 mm de ancho ejerza sobre la superficie una fuerza igual a  $2500 \pm 100$  g.



**Figura 9. Detalle del brazo del péndulo**

**Fuente: Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico”  
i.n.v. e – 792 – 07.**

**La zapata de Caucho** – La zapata va pegada sobre una placa de aluminio con orificio circular para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de  $70^\circ$  con el eje de este brazo y de manera tal, que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo. Las dimensiones de las zapatas de caucho a emplear en medidas de resistencia al deslizamiento serán de 76.0 por 25.0 por 6.0 mm de espesor para ensayar superficies planas, y de 32.0 por 25.0 por 6.0 mm de espesor para ensayar muestras curvas para pulimento con llanta. El material de la zapata será de caucho natural que cumpla con los requisitos del Road Research Laboratory o caucho.



**Figura 10. Detalle de la disposición de la zapata de caucho**  
**Fuente: Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico”**  
**i.n.v. e – 792 – 07.**

### **Accesorios**

Medidor de la longitud de contacto, el cual consiste en una Reglilla graduada capaz de medir la longitud de rozamiento entre zapata y superficie de ensayo en una longitud entre 124 y 127 mm o entre 75 y 78 mm como se requiera para un ensayo en particular.

Equipo auxiliar como recipientes para agua, termómetro para superficie de ensayo y cepillo, es recomendado.

### **Muestra de Ensayo**

**En el campo** – La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiará con un chorro de agua limpia a presión. La superficie de ensayo no tiene que ser horizontal ya que el instrumento puede ser nivelado en la posición de trabajo, utilizando únicamente los tornillos de nivelación y la cabeza del péndulo despejará la superficie.

### **PROCEDIMIENTO**

**Nivelación** – Se nivela el instrumento correctamente girando los tornillos de nivelación hasta que la burbuja está centrada en el nivel.

**Ajuste de Ceros** – Se debe levantar el mecanismo del péndulo soltando los tornillos de seguridad (ubicados directamente detrás del pivote del péndulo) y gire cualquier de los pares de tornillos de la cabeza móvil ubicados en el centro del instrumento, para permitir que la zapata realice libremente el movimiento oscilatorio en la superficie de ensayo. Se aprietan firmemente los tornillos de seguridad. Se coloca el péndulo en la posición horizontal y se rota la aguja indicadora en el sentido de las manecillas del reloj hasta que llegue a la posición de reposo contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo. Se suelta el péndulo y anota la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura no es cero, se afloja el anillo del seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura nuevamente. Se repite la prueba y se ajusta el anillo de fricción hasta que el movimiento oscilatorio del péndulo lleve la aguja a cero.

Ajuste de la longitud de rozamiento de la zapata: Con el brazo del péndulo colgando libremente, se coloca el espaciador debajo del tornillo de ajuste de la palanca de elevación de la zapata de caucho. Se bajará entonces el péndulo de tal manera que el borde de la zapata justamente toque la superficie a medir. Se asegura la cabeza del péndulo firmemente, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.

Se levanta la zapata por medio de la palanca de elevación, se mueve el péndulo la derecha, se baja la zapata y se permite que el péndulo se mueva.

Lentamente hacia la izquierda hasta que el borde de la zapata toque la superficie de ensayo. Para verificar la longitud de contacto o rozamiento, se fija el medidor de la longitud de contacto a un lado de la zapata y paralelo a la dirección del movimiento oscilatorio. Se levanta la zapata usando la palanca de elevación y se mueve el péndulo a la izquierda y luego lentamente se baja hasta que el borde de la zapata vuelva nuevamente a reposo en la superficie. Si la longitud de contacto no está entre 124 y 127 mm en muestras de superficie plana y entre 75 y 78 mm en muestras curvas de pulimento con llanta, medido entre los sitios de contacto de los bordes de la zapata de caucho en su recorrido, se ajusta levantando o bajando el aparato con el tornillo frontal de nivelación. La longitud de deslizamiento puede también ser ajustada por medio de los tornillos de control de la altura vertical. Se ajusta nuevamente el nivel del aparato, si es necesario. Se coloca el péndulo en posición horizontal y se rota la aguja indicadora en el sentido de las manecillas del reloj hasta que ésta se detenga contra el tornillo de ajuste del brazo del péndulo.

Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se ejecutan varios movimientos oscilatorios hasta obtener resultados consistentes, pero no se registran las lecturas.

Siempre se debe sostener el péndulo durante la parte inicial de su recorrido de regreso, antes que pase por la posición vertical. Mientras que el péndulo se devuelve a su posición inicial, se levanta la zapata con su palanca de elevación para prevenir el contacto de la zapata con la superficie de contacto.

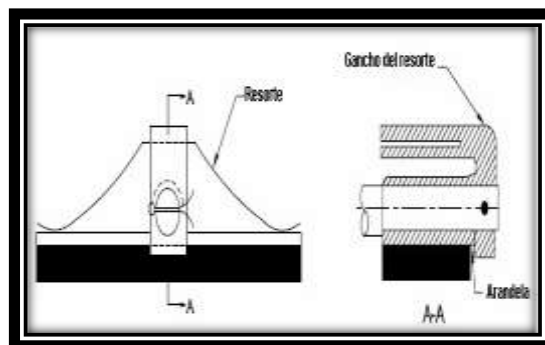
Con anterioridad a cada movimiento oscilatorio, la aguja indicadora debe ser devuelta a su posición de descanso contra el tornillo de ajuste. Se vuelve a mojar la superficie de ensayo y sin demora se realizan cuatro nuevos movimientos oscilatorios remojando la zona de ensayo antes de cada disparo y se registran los resultados.

Se deben utilizar cuatro movimientos oscilatorios cuando la zapata tenga caucho natural y cinco si tiene el tipo de caucho recomendado por la AASHTO M 261

Se debe tener cuidado de que la zapata permanezca paralela a la superficie durante el movimiento oscilatorio y no rote, de tal manera que una punta haga el contacto inicial y no todo el borde. Se dispone de información que demuestra que los giros de la zapata pueden dar origen a lecturas erradas. La instalación de un pequeño resorte plano puede atenuar el problema. Este resorte se puede insertarse en una ranura del gancho de resort e y asegurarse con un pasador como se muestra en la Figura.

EL borde libre del resorte se puede apoyar sobre la platina posterior de la zapata de tal manera que le impida girar.

Se debe revisar nuevamente la longitud de contacto de la zapata y se debe revisar nuevamente el ajuste del cero.

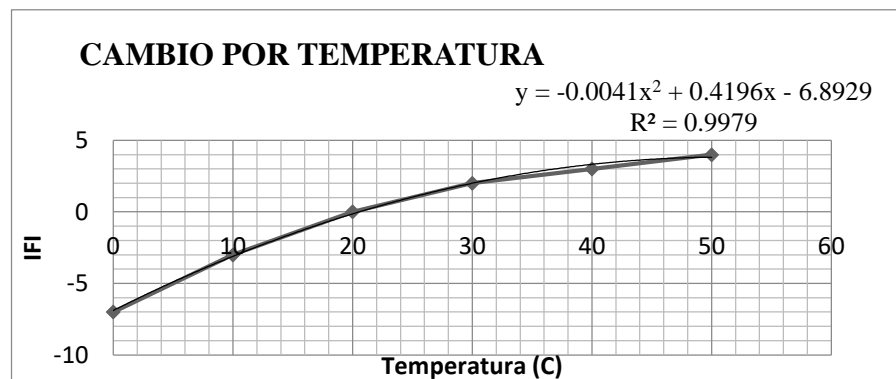


**Figura 11. Gancho del resorte para impedir la rotación de la zapata**  
**Fuente: Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico”**  
**i.n.v. e – 792 – 07.**

Como mencionamos anteriormente se realizara cinco mediciones en campo para cada muestra en la que se analizara la fricción, para así sacar valores promedios de las cinco

mediciones que se realizaran tomando en cuenta si los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos, habiendo la posibilidad de descartar un valor extremo en el promedio.

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor a la lectura efectiva.



**Figura 12. Factor de corrección por temperatura.**

**Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México**

### 2.3.11 ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA

El ensayo del círculo de arena en general, el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto asfáltico como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado.

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena.

Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

Esta norma no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer las medidas de seguridad y

salubridad apropiadas y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

### **DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA**

Este método de prueba es adecuado para pruebas de campo el cual determina el promedio del espesor de la macro textura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macro textura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macro textura derivada de este método de prueba puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado. Cuando se utiliza con otras pruebas, se debe tener cuidado de que todas ellas se apliquen al mismo lugar. Se pueden obtener mejoras en la evaluación del acabado de pavimentos y planes de mantenimiento del uso de este método. Las mediciones del espesor de la textura producida utilizando este método de prueba se ve influenciada por las características de la macro textura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento.

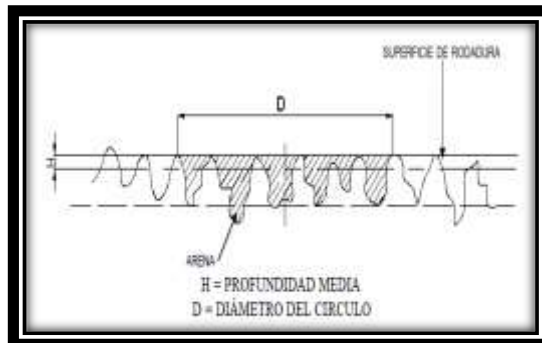
Este método de prueba no intenta proporcionar una calificación completa de las características de la textura superficial.

Los valores del espesor de la macro textura superficial en el pavimento determinado por este método, con el material y procedimientos establecidos aquí, no necesariamente concuerdan o se correlaciona directamente con otras técnicas de medición de textura superficial. Este método también es adecuado para propósitos de investigación y desarrollo, en donde se realizan comparaciones entre superficies de pavimento en la misma evaluación.

La superficie del pavimento a ser muestreado utilizando este método de prueba debe estar seca y libre de cualquier residuo de construcción, escombros superficiales, y



partículas agregados sueltos que se pudieran remover o desplazar durante condiciones ambientales y de servicio normales.



**Figura 13. Medición de diámetro y profundidad media**  
**Fuente: textura superficial método del círculo de arena**

## PROCEDIMIENTO

Los materiales y método de prueba estándar constan de una cantidad de material uniforme, un recipiente de volumen conocido, una pantalla adecuada para protección contra el viento, brochas para limpiar la superficie, un disco plano para dispersar al material sobre la superficie y una regla o cualquier otro dispositivo para determinar el área cubierta por el material. Se recomienda también una balanza de laboratorio para asegurarse de la consistencia de las mediciones de cada ensayo.

El procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición de dicha área cubierta, y subsecuentemente se calcula el promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macro textura.

En la dispersión del material especificado en este método, la superficie de los vacíos está completamente llena hasta los picos de las partículas circundantes.

Este método de prueba no se considera conveniente para utilizarse en superficies estriados o pavimentos con vacíos grandes ( $\geq 1.0$  plg (25mm)).

**Superficie de prueba.** Inspeccione la superficie del pavimento por ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no contenga características únicas o localizadas tales como grietas y juntas. Debe estar completamente limpia utilizando primeramente la brocha de alambre y posteriormente la brocha de cerdas suaves para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie. Colocar la pantalla contra viento alrededor de la superficie por ensayar.

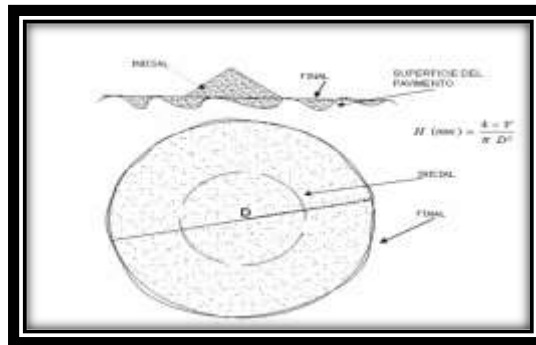
**Material de prueba.** - Llene el volumen de material conocido con material seco, golpee suavemente la base del cilindro varias veces sobre una superficie rígida.

Llene con material hasta la parte superior del cilindro y nivele con una regleta. Si se dispone de una balanza, determine la masa del material en el cilindro y utilice esta misma masa de material de prueba en cada determinación.

**Medición del ensayo.** – Vierta el volumen del material en la superficie limpia dentro del área protegida por la pantalla contra viento. Disperse cuidadosamente el material en el parche circular con la herramienta de disco, con la parte cubierta con hule hacia abajo, llenando los vacíos superficiales hasta los picos de las partículas de agregados, también puede realizarse con una regleta.

Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material como mínimo de cuatro localizaciones igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia de la muestra. Calcule y registre el diámetro promedio.

**Número de mediciones de prueba.** – El mismo operador deberá desarrollar al menos cinco mediciones del espesor de la macro textura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores de espesor de la macro textura se deben considerar como el promedio del espesor de la macro textura de la superficie del pavimento bajo estudio.



*Figura 14. Esquema del ensayo del círculo de arena.  
Fuente: textura superficial método del círculo de arena*

### **PARTES DEL EQUIPO**

**Material Esferas de vidrio** sólido con 90% de redondez de acuerdo con el método de prueba ASTM D 1155 o podría utilizarse arena graduada de tal manera que tengan un mínimo de 90% en peso que pase la malla No. 60 y se retenga en una No. 80.

**Recipiente de prueba.** Se puede utilizar un recipiente cilíndrico metálico o de vidrio, con volumen interno predeterminado de al menos 1.5 pulgadas cúbicas (25,000 mm<sup>3</sup>), el cual se utilizará para determinar el volumen de arena dispersa.

**Herramienta de dispersión.** Se deberá utilizar un disco plano duro de aproximadamente 1 pulgada (25 mm) de espesor y 2.5 a 3 pulgadas (60 a 75 mm) de diámetro para dispersar la arena. La parte inferior del disco deberá estar cubierta con un material de hule duro y se puede acoplar un asa conveniente a la parte superior del disco. O si no se cuenta con esta herramienta, puede ser remplazada por una regleta, lo suficientemente larga para abarcar el diámetro formado por la arena dispersa.

**Brochas.** Se deberán utilizar una brocha de alambre y una de cerdas suaves se deberá utilizar para limpiar completamente a la superficie del pavimento antes de la aplicación del material de prueba.

**Pantalla contra viento.** Se utiliza para proteger al material del viento y la turbulencia creada por el tráfico.

**Escala.** Se deberá utilizar una escala estándar (regla o cinta métrica) de 12 plg. (305 mm) o de longitud mayor que contenga divisiones de 1 mm (0.04 plg.).

## PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

**Volumen del cilindro** – Calcule el volumen interno del cilindro de prueba como sigue:

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} * H \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

V = volumen interno del cilindro, plg<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>).

d = diámetro del cilindro de prueba, plg (mm).

H = altura del cilindro, plg (mm).

**Espesor promedio de la macro textura del pavimento.** Calcule el promedio de la macro textura de la superficie utilizando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

H = promedio del espesor de la macro textura de la superficie, plg (mm).

V = volumen de la muestra, plg<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>).

d = diámetro promedio del área cubierta por el material plg, (mm).

### 2.3.12 ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL O RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

El modelo PIARC que se describirá es la base de la definición del Índice de Fricción Internacional, IFI, a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el par de valores (F60,Sp) expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macro textura.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica

deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI.

El coeficiente de rozamiento (o fricción) es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera, mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la meteorología (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc.). La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de adherencia de un pavimento evolucionan con el tiempo, como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de los neumáticos de los vehículos. Por tanto, se tiene que comprobar el coeficiente de rozamiento (fricción) mediante técnicas de auscultación

Existe una gran variedad de equipos y de principios de medición, lo que dificulta la interpretación y la comparación de los datos. Para solucionar este inconveniente la PIARC realizó un experimento para establecer correlaciones y comparaciones entre los equipos.

## **MODELOS MATEMÁTICOS DE REFERENCIA**

La obtención del Índice de Fricción Internacional (IFI) se basa en el modelo PIARC y este a su vez en el modelo de Pennsylvania, por lo que a continuación se hace una breve explicación de estos modelos.

### **MODELO DE PENNSILVANIA**

El modelo de Pennsylvania (Henry. 1992) asocia la fricción  $F(S)$  en una prueba de deslizamiento con la correspondiente velocidad de medición ( $S$ ) en una forma definida por la ecuación siguiente:

$$F(S) = F_0 * l^{\frac{-S}{S_0}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

F(S) = Es la fricción medida con un cierto equipo.

S = Es la velocidad de deslizamiento de la llanta de prueba.

S<sub>0</sub> = Es La velocidad del vehículo afectada por la condición de la llanta de prueba.

F<sub>0</sub> = Es el valor de la fricción a una velocidad de deslizamiento cero, o sea que el equipo se considera estático o estacionario.

El modelo traduce matemáticamente el hecho experimental de que a mayor velocidad menor valor de la fricción. Este modelo se modificó de manera que la velocidad de referencia fuera 10 km/h en lugar de 0 km/h; esto se debió a que el modelo no se adaptaba lo suficiente a las mediciones experimentales y presentaba mucha dispersión en los resultados.

Por tanto, el modelo modificado adopta la siguiente forma:

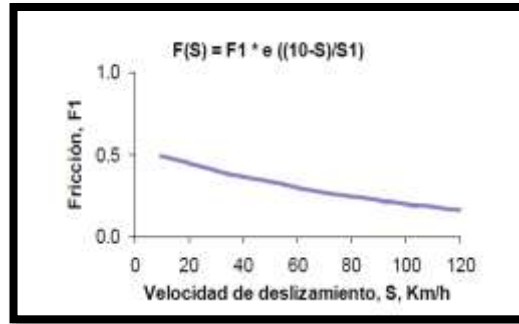
$$F(S) = F_1 * l^{\frac{10-S}{S_1}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

F<sub>1</sub> = Es el valor de la fricción obtenida para una velocidad de deslizamiento a 10 km/h.

S<sub>1</sub> = Es la velocidad del vehículo afectada por la condición de la llanta de prueba.

En la figura se gráfica la ecuación anterior que muestra la relación típica entre fricción y velocidad de deslizamiento. La fricción varía prácticamente entre un rango de 0 a 1; siendo 0 el valor correspondiente a la condición más lisa y 1 a la más rugosa.

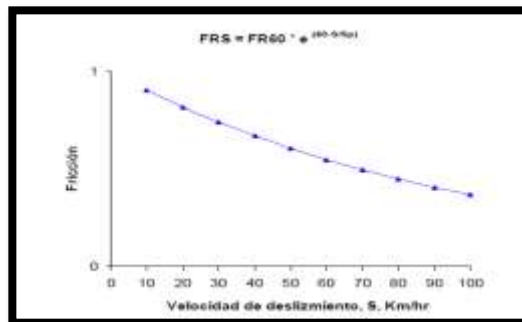


**Figura 15. Curva de comportamiento con el modelo de Pensilvania**  
**Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México**

#### MODELO DE PIARC

El modelo PIARC es simplemente una modificación del de Pensilvania para el caso en que la velocidad de referencia es de 60 km/h. El modelo se describe entonces en función de una constante “FR60” que corresponde al valor de la fricción medida para esa velocidad de deslizamiento y su ecuación queda de la siguiente manera:

$$F(S) = FR_{60} * e^{\frac{60-S}{S_p}} \quad \text{Ecuación 12}$$



**Figura 16. Curva de fricción-velocidad de deslizamiento aplicando el método PIARC**

***Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México***

De acuerdo a lo establecido en el experimento internacional de PIARC, al valor de la mejor estimación para el caso de la fricción se le denominará F60 y para el parámetro de velocidad la mejor estimación es directamente Sp.

**CALIBRACIÓN DE LOS DISTINTOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO DE PIARC**

**DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO SP**

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento PIARC, se ha comprobado que la constante de velocidad **Sp** puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la Macro textura (Tx) tal que:

$$S_p = a + (b + T_x) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde los valores de las constantes a y b para cada uno de los equipos que participaron en el experimento se presentan en la Tabla:

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14.2	89.7
MTD por ASTM E 985	-11.6	113.6

***Cuadro 4. Valores de a y b para la constate de velocidad***

***Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México***

**DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO F60**

Para la estimación de F60 se establece el tipo de equipo a emplear y se realiza la medición de la fricción FRS en una sección de un pavimento dado. Se determina la velocidad S que depende del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre de acuerdo a lo que se indica en la Tabla.



Tipo de Equipo	Ecuación para determinar S
Con rueda bloqueada	S = V
Con rueda parcialmente bloqueada	S = V por el % de deslizamiento
Con rueda oblicua	S = V por el Sen $\alpha$ , donde $\alpha$ = ángulo de esviaje

**Cuadro 5. Ecuaciones para determinar S de acuerdo al tipo de equipo**  
**Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México**

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S a partir de una ecuación , de donde despejando FR60 se obtiene:

$$FR60 = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Finalmente se obtiene el valor buscado de F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento PIARC:

$$F60 = A + (B * FR60) \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores se muestran en la Tabla.

Llantas lisas		CLAVE	S	A	B	C
Características	Equipo		Km/hr	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda Bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0.045	0.925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60	0.002	1.008	0
Rueda Parcialmente Bloqueada	OSCAR A 86% (N)	B4E	52	-0.03	0.864	0
	OSCAR A 20% (N)	B4E	12	0.119	0.643	0
	Komatsu Skid Trailer (J)	C5	10	0.042	0.849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0.019	0.868	0
	Griptester (UK)	D8	9.4	0.082	0.910	0
	Stradograph	C9	12.5	0.054	0.770	0
Rueda Oblicua	Odollograph Wallon (B)	D10	12.9	0.113	0.729	0
	Odollograph CRR (B)	D1E	20.5	0.113	0.746	0
	SCRIM Flemish (B)	C3B	20.5	0.049	0.967	0
	SCRIM CEDEX €	C4	20.5	0.019	0.813	0
	SCRIM MOPT €	C8	20.5	0.032	0.873	0
	SCRIM SRM (D)	D2	20.5	0.017	0.850	0
	SCRIM GEOCISA €	D3	20.5	0.021	0.928	0
	SCRIM (F)	D4	20.5	-0.006	0.862	0
	SUMSS (I)		20.5	0.002	0.987	0
	SCRIMTEX (UK)	D5	17.1	0.033	0.872	0
	<b>Equipos con neumáticos grabados</b>					
Rueda Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser	B1	60	0.022	0.050	0.082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0.026	0.504	0.099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60	-0.072	0.767	0.086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	-0.023	0.607	0.098
Rueda Parcialmente Bloqueada	Equipo de fricción (PL)	C1	60	-0.025	0.807	0.068
	Stuttgarter Reibungsmesser	B1	12	0.141	0.323	0.074
	Skiddometer	B2	12	0.03	0.918	-0.014
	BV-11S	B3	12	0.04	0.856	-0.016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0.02	0.867	-0.006
<b>Equipos con zapata</b>						
Estáticos	DF Tester at 60 km/hr (J)	A13	60	-0.034	0.771	0
	DF Tester at 20 km/hr (J)	A13	20	0.081	0.723	0
	Pendulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0.056	0.008	0
	Pendulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0.078	0.01	0

**Cuadro 6. Equipos utilizados para medir la fricción.**  
**Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México**

## RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL IFI

Fricción, Valor de CDR, adimensional	Calificación
< 0.5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 – 0.6	De regular a bueno
0.61 – 0.8	Bueno
0.81 – 0.9	De bueno a regular
> 0.91	Malo (desgaste de neumáticos)

**Cuadro 7. Rangos del IFI de acuerdo a la norma de México**  
**Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México**

### **2.3.13 CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS**

#### **Gestión De Conservación De Vías**

El objetivo fundamental de la infraestructura vial es prestar a los usuarios un servicio de calidad que satisfaga sus necesidades de movilidad, sea un adecuado soporte de las actividades económicas y contribuya a la integración territorial. Para ello una vez ejecutada la infraestructura hay que gestionarla, desarrollando una serie de actividades de explotación y conservación.

Desde un punto de vista general las actividades de conservación y de explotación cubren dos grupos de objetivos generales.

El primero de ellos se relaciona con el servicio a prestar a los usuarios, en ese sentido las actuaciones se dirigirán a asegurar una circulación segura, fluida y cómoda por la red existente, de manera que los costos globales de transporte sean los menores posibles.

El segundo grupo de objetivos hay que incluir fundamentalmente la preservación del valor primordial de las vías, que forman parte de la riqueza (capital fijo) de una nación.

Las características iniciales de una carretera se van degradando con el transcurso del tiempo debido al paso de los vehículos y a las acciones climáticas. Todas las operaciones tendientes a restituir en lo posible esas características pueden ser consideradas como parte de la conservación de la carretera.

Las intervenciones de conservar deben estar dirigidas al logro de dos objetivos particulares:

- Adecuada resistencia al deslizamiento de la superficie, de manera que el pavimento permita el tránsito seguro de los vehículos.
- Regularidad superficial acorde con el trazado de la vía y las velocidades normales de recorrido, de manera que la circulación se cómoda por el usuario, sin olvidar que la falta de comodidad puede redundar también en inseguridad

#### **ORGANIZACIÓN**

## Actividades Generales De Conservación

Para el logro de los objetivos indicados en el apartado anterior, es necesario desarrollar una serie de actividades que se puede agrupar como se indica.

- a) **Vialidad en información.** Son actividades destinadas a hacer posible el mantenimiento del servicio, incluso dentro de determinados límites, en circunstancias adversas situaciones de congestión del tránsito, obras en calzada, climatología desfavorable (niebla, nieve, hielo, etc.).
- b) **Actividades de uso y defensa.** Comprende todo lo relacionado con la vigilancia de la carretera y la regulación de sus zonas de influencia, en aplicación a lo establecido en la legislación. Se trata de una labor de policía de carretera, propia de la administración vial, que no debe confundirse con la labor de policía de tránsito encomendada a las fuerzas de seguridad.
- c) **Conservación de rutina.** Incluye actuaciones con carácter fundamentalmente preventivo, destinadas a retrasar lo más posible el proceso de degradación de manera que la infraestructura no baje un determinado umbral de aceptabilidad.
- d) **Rehabilitación.** Refiere a actuaciones con un cierto carácter extraordinario, cuyo objetivo es recuperar los niveles de calidad que se ha ido perdiendo con el tiempo, a pesar incluso de que se haya realizado una conservación preventiva.

## GESTIÓN DE LA CONSERVACIÓN

Se suele definir el sistema de gestión de la conservación como "el procedimiento consistente en coordinar y controlar todas las actividades encaminadas a conservar los firmes de los pavimentos, asegurando la mejor utilización posible de los recursos disponibles, es decir haciendo máximo beneficio a la sociedad".

Dentro del objetivo global señalado se puede definir objetivos específicos de diversos tipos: técnico económico y administrativo.

Desde el punto de vista técnico un sistema de gestión de la conservación debe dirigirse al establecimiento de estrategias de conservación y a la definición de prioridades en las actuaciones implícitas en esas estrategias.

### **Bases De Datos**

En relación a los firmes las fuentes de una base de datos son por un lado inspección visual y auscultación con aparatos, y por otro el propio proyecto de construcción y los informes de control de calidad, así como los de todas las actuaciones de conservación llevadas a cabo durante la vida del pavimento.

La información mínima disponible en una base de datos ha de estar constituida por:

- Datos de tránsito.
- Secciones estructurales del pavimento.
- Deterioros superficiales.

### **Estrategias De Evaluación Económica**

La estrategia de conservación de un pavimento con características homogéneas se puede definir como el conjunto de actuaciones a desarrollar durante la vida del pavimento, para que los parámetros e índices de comportamiento no bajen de los mínimos admisibles.

El objetivo de la estrategia de conservación debe ser lograr la **mayor vida útil del pavimento a menor costo.**

Esto lleva lógicamente a que no todas las estrategias que pudieran plantearse técnicamente sean económicamente adecuadas.

### **ACTUACIONES DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN**

Dentro de las tareas de conservación se puede distinguir entre las que contribuyen al a conservación ordinaria de rutinas y las actuaciones extraordinarias.

El primer grupo se refiere a actuaciones llevadas a cabo de manera rutinaria y con regularidad semanal o mensual, antes o después de temporada de lluvias.

Las actuaciones extraordinarias responden a la aparición de deterioros importantes o generalizados.

Por otra parte, considerada la conservación en su sentido más amplio pueden distinguirse diferentes niveles.

En primer lugar se sitúa la conservación propiamente dicha, en donde las actuaciones no conducen modificaciones sustanciales de los elementos de la vía y que está muy ligada a su explotación. Se realizan actuaciones periódicas que impiden la aparición de deterioros (conservación preventiva) o bien se actúa lo antes posible cuando estos deterioros han aparecido (conservación curativa).

En un segundo nivel de la conservación se sitúan las rehabilitaciones. En general se recurre a ellas cuando el tránsito y las acciones climáticas han provocado una disminución apreciable de las características iniciales o se requiere hacer frente a nuevas solicitudes o contempladas con anterioridad.

Dentro de segundo nivel y como actuación extrema se ubica la reconstrucción.

La reconstrucción puede ser total o parcial, este último caso se presenta cuando afecta un pequeño tramo o parte de la sección transversal.

Finalmente hay que señalar que el alcance de la conservación de vías es muy amplio en ella hay que incluir los sistemas de drenaje, estructuras (puentes), el paquete estructural de la calzada y banquetas el alumbrado, etc.

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS

#### 3.1 DEFINICIÓN DE MÉTODOS Y TÉCNICAS

Para la evaluación superficial aplicamos la metodología PCI para determinar el nivel de serviciabilidad, IRI índice de rugosidad internacional y el Péndulo de fricción para determinar el coeficiente de fricción.

##### 3.1.1 TÉCNICAS DE MUESTREO

###### PCI

Se evaluaron muestras obtenidas estadísticamente aplicando la formula.

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

*Ecuación 16*

Con un numero de 46 muestras en total, 23 para cada sentido de la vía.

###### IRI

Se evaluaron las muestras obtenidas el método PCI.

###### COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Se realizaron 5 puntos de evaluación para cada unidad de muestra seleccionada en el método PCI obteniendo un número total de 230 puntos de inspección.

### 3.1.2 EQUIPO

El equipo empleado en el método PCI es el siguiente:

- a. Una regla de metálica de 2 m. de longitud, para medir ayudar a medir los ahuellamientos, depresiones.



Regla metálica.

- b. Un flexómetro, para medir los diferentes tipos de fallas sean longitudinales o por metro cuadrado.



Flexometro de 5 metros de longitud.

- c. Una huincha, para medir cada sub tramo, y el ancho de la vía.



Huincha Plástica de 50 metros de longitud.



- d. Una cámara fotográfica para obtener fotografías de cada una de las fallas o deterioros.



Cámara fotográfica.

Se añadió a este método una inspección visual minuciosa, y un conocimiento de cada tipo de falla asociado con su Nivel de Severidad.

En el método IFI se hizo uso del siguiente equipo.

- a) Péndulo de fricción TRRL.



Skid Resistance Tester.

En el método IRI se hizo uso del siguiente equipo:

- a. Un Nivel de Ingeniero para efectuar la nivelación.



Nivel Digital de Ingeniero Modelo (Sokia SDL50).

- b. Una Mira para ayudar a realizar la nivelación.



Mira Graduada.

- c. Un Software denominado INPACO donde incluye el programa IRI (Método Mira y Nivel), para hallar el Índice de Rugosidad internacional.

#### Seguridad

- a) Conos de Seguridad.



Cono reflectante de seguridad.

b) chaleco reflectante.



Chaleco Reflectante de Seguridad.

c) Cascos de seguridad.



Casco de Seguridad.

## **3.2 PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN**

### **3.2.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN PCI (ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO)**

#### **Identificación de fallas**

Se realizaron recorridos por los 10.74 km de la vía, utilizando la evaluación visual para identificar y valorar los posibles daños en la superficie del pavimento que presenten las unidades de muestreo seleccionadas, que coincida con los descritos en el manual de daños de la Norma ASTM D6433-99, a la vez registrando la información en los formatos pertinentes utilizada por la Norma ASTM D6433-99.

### Medición de fallas

Para la medición de las fallas se procedió a ubicar la progresiva de inicio y fin de la unidad de muestra, y se ejecutó los pasos siguientes.

- Inspecciono cada unidad de muestra seleccionada.
- Registro el tramo y número de sección así como el número de unidad de muestra.
- Realizo la inspección de las fallas, cuantificando cada nivel de severidad y llenando la información obtenida en las hojas de registro. Los tipos de fallas y el grado de severidad se encuentran descritos en el Capítulo 2 del presente trabajo.
- Repetir este procedimiento para cada unidad de muestra a ser inspeccionada.

### Clasificar el tipo de falla

Utilizando el manual de daños utilizado por la Norma ASTM D6433-99, y la información obtenida de todas las fallas presentes en las unidades de muestra, Clasificamos las fallas con los siguientes parámetros establecidos por la Norma ASTM D6433-99:

- **Tipo de falla.-** Nombre de la falla y su respectivo código
- **Severidad.-** L = bajo  
M = medio  
H = alto
- **Área de influencia.-** De acuerdo al tipo de falla puede ser metros lineales (ml), metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

#### 3.2.2 MÉTODO DE EVALUACIÓN IRI (ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)

Para este método de evaluación realizamos un trabajo de nivelación, empleando para ello una Mira y un Nivel, esta nivelación nos permitirá conocer las cotas de la superficie del pavimento.

La nivelación se hará en las huellas, o lugar de tránsito de las llantas de los vehículos en el carril, una vez llevado adelante la nivelación, se obtienen las cotas de la superficie del pavimento de los sub tramos estudiados, seguidamente estas cotas son introducidas en el programa IRI (Método mira y nivel), el cual nos dará como resultado el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para cada sub tramo, el promedio de estos, será el IRI que representa al tramo total en estudio.

### **3.2.3 ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO.**

Se eligió una distribución lineal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones de muestreo a evaluar. En cada sección se fijaron puntos de ensayo en las rodadas, (huellas de paso de vehículos).

El péndulo, una vez montado, se colocó sobre el pavimento y se procedió a su nivelación comprobado el "cero" del aparato, se ajustó la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de caucho, en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud de  $125 \pm 1.6$  mm. La superficie de pavimento a ensayar se limpió ayudándose con el cepillo, asegurándose que quede libre de partículas sueltas.

Se midió la temperatura ambiente en el punto de ensayo, se comprobó la temperatura del agua, cuyo recipiente está a la intemperie. Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedeció la zapata con abundante agua limpia y se mojó la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo. Se procedió entonces a realizar de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo y la aguja, anotando la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo.

Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se volverán a su posición de disparo. La medida se repetirá cinco (5) veces sobre cada punto del pavimento a ensayar y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar la superficie de ensayo antes de cada disparo con agua a la temperatura

ambiente. Si las lecturas de las cinco (5) medidas no difieren en más de tres (3) unidades, se anotará el valor medio resultante. Si la diferencia entre las cinco (5) lecturas es mayor de tres (3) unidades, se continuará realizando medidas.

#### **3.2.4 ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA**

Se realizó la dispersión de un volumen de 50 centímetros cúbicos de arena graduada sobre la superficie de pavimento limpia y seca, medimos con una regla graduada el diámetro cubierto por la arena dispersada, realizamos la medición en cada punto que se realizara el ensayo del péndulo de fricción.

### **3.3 PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

#### **3.3.1 PCI.**

#### **3.3.2 MEDICIÓN DE FALLAS O DETERIOROS EXISTENTES**

La medición de cada una de las fallas o deterioros, se la realiza de acuerdo a su forma individual de medición, y el nivel de su severidad o grado de daño en el pavimento, ambos estarán basados en lo descrito en el capítulo 2.



Identificación y Medición de Falla.

La cuantificación de cada tipo de falla, se la debe realizar minuciosamente, de esta forma se controle mejor la cuantificación de las fallas. Los datos de la cuantificación se muestran en el ANEXO III.

### 3.3.3 TIPOS DE FALLAS EXISTENTES

En el presente estudio de “Evaluación y Diagnostico del Estado Actual de la Superficie del Pavimento Avenida Circunvalación de la Ciudad de Tarija”, existen los siguientes tipos de fallas o deterioros:

- Piel De Cocodrilo
- Abultamientos y Hundimientos
- Fisuras Longitudinales y Transversales
- Parches y Cortes Utilitarios
- Blow up/Buckling
- Grieta de Esquina
- Losa Dividida
- Grieta de Durabilidad
- Escala
- Sello de Junta
- Grieta Lineal
- Parqueo Grande
- Parqueo Pequeño
- Pulimento de Agregados
- Punzonamiento
- Desconchamiento
- Descascaramiento de Esquina
- Descascaramiento de Junta

***Cuadro 8. Tipos de fallas encontradas PCI  
Fuente: Elaboración Propia***

Se puede observar visualmente las fallas encontradas en el ANEXO III.

### 3.3.4 CÁLCULO DEL PCI

#### DATOS.

CUANTIFICACION DE FALLAS						
<b>NOMBRE DE LA VIA:</b>		AV. CIRCUNVALACION (AV. PANAMERICANA - QUEBRADA SAN PEDRO)				
<b>FECHA:</b>	13-03-15	<b>UNIDAD N°:</b>	1			
<b>LONG. TRAMO:</b>	40 m.	<b>ANCHO VIA:</b>	7.5 m.	<b>AREA DE LA MUESTRA:</b>	300 m2.	
<b>REALIZADO POR:</b> YHORDAN TORRES BRAVO				<b>PROGRESIVAS:</b> 0+000 - 0+040		
TIPOS DE FALLAS						
1	Piel de cocodrilo	m2	11	Parcheo	m2	
2	Exudación de asfalto	m2	12	Pulimentos de agregados	m2	
3	Agrietamiento en bloque	m2	13	Huecos	N°	
4	Abultamiento y hundimientos	m	14	Cruce de vía férrea	m2	
5	Corrugaciones	m2	15	Ahuellamientos	m2	
6	Depresiones	m2	16	Desplazamientos	m2	
7	Grietas de borde	m	17	Grietas parabólicas	m2	
8	Grietas de reflexión de juntas	m	18	Hinchamiento	m2	
9	Desnivel carril – berma	m	19	Desprendimientos de agregados	m2	
10	Grietas longitudinales y Transversales	m				
FALLA	CANTIDAD			TOTAL	DENSIDAD %	
1 L	3.92	6.5	4.07	14.49	4.83	
1M	2.4	5.8		8.2	2.73	
10 L	1.6	4.3		5.9	1.97	
10 M	15			15	5	

***Cuadro 9. Cuantificación de fallas muestra 1 PCI***  
***Fuente: Elaboración Propia***

#### DETERMINACIÓN DE VALORES DEDUCIDOS.

Se totaliza cada tipo de deterioro y su severidad, es importante separar el mismo daño que se clasifique con diferente severidad. El daño se puede medir en área, longitud o número según su tipo.



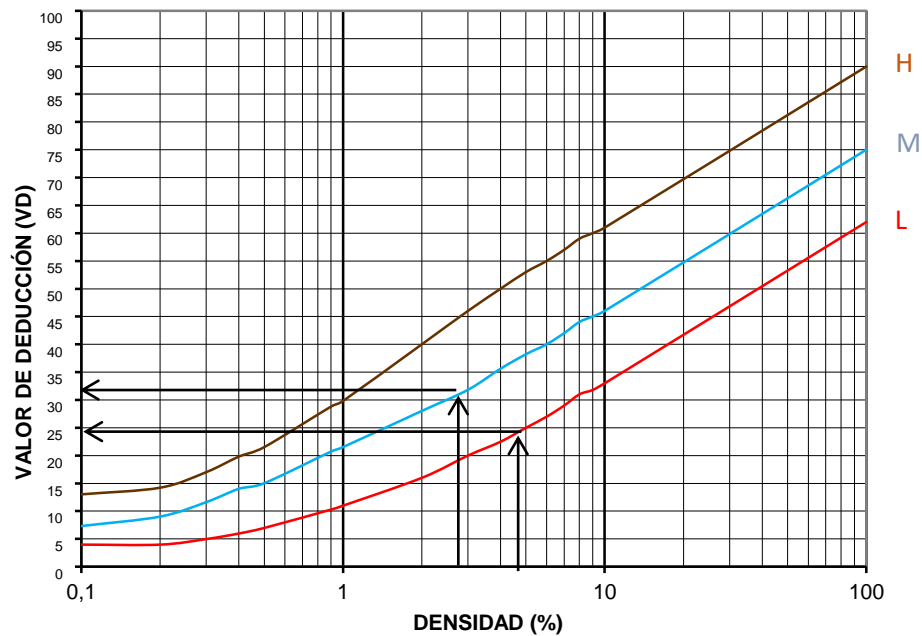
## Piel de cocodrilo

FALLA	DENSIDAD %
1 L	4.83
1M	2.73

**Cuadro 10. Severidad y densidad falla piel de cocodrilo**  
Fuente: *Elaboración Propia*

Con estos datos entramos a la gráfica de valores deducidos.

### PIEL DE COCODRILO



**Figura 17. Valores deducidos falla piel de cocodrilo**  
Fuente: *Pavement Concition Index, Manizales, Ingepav.*

FALLA	VD
1 L	24
1M	32

**Cuadro 11. Valores deducidos Falla piel de cocodrilo**  
Fuente: *Elaboración Propia*

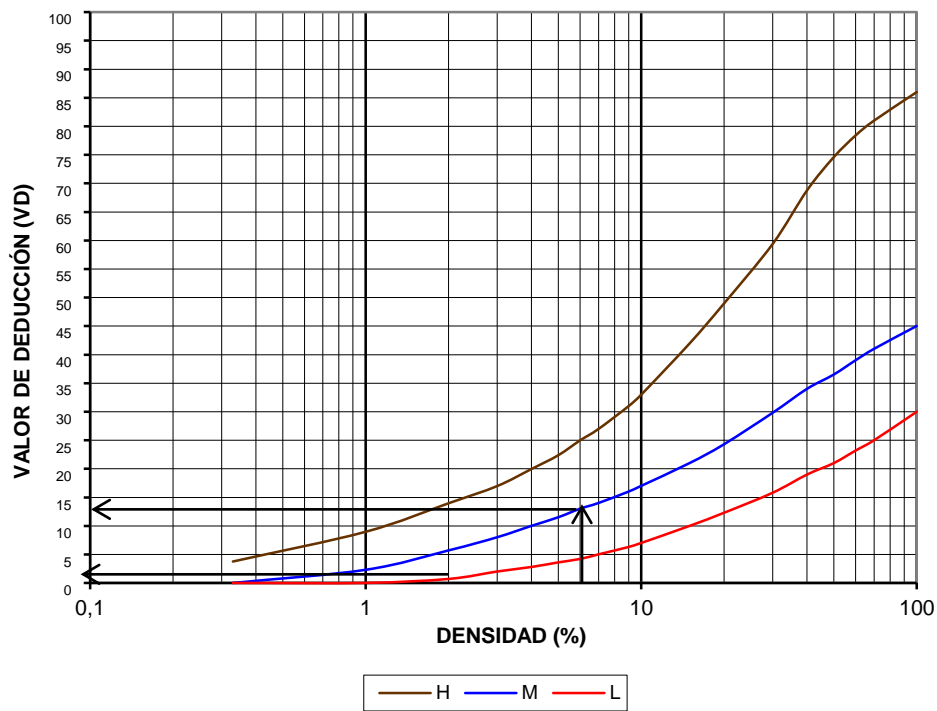
### Grietas longitudinales y transversales.

FALLA	DENSIDAD %
10L	1.97
10M	5

**Cuadro 12. Severidad y densidad falla grietas longitudinales y transversales**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Con estos datos entramos a la gráfica de valores deducidos.

### GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES



**Figura 18. Valores deducidos falla grietas longitudinales y transversales**  
**Fuente: Pavement Concition Index, Manizales, Ingepav.**

FALLA	VD
10L	2
10M	12

**Cuadro 13. Valores deducidos Falla grietas longitudinales y transversales**  
**Fuente: Elaboración Propia**

## CÁLCULO DE NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS (m)

Se procede a colocar los Valores Deducidos de Mayor a Menor, como se muestra a continuación.

FALLA	VD
1M	32
1 L	24
10M	12
10L	2

**Cuadro 14. Resumen de valores deducidos**  
**Fuente: Elaboración Propia**

Se determina el ‘Número Máximo Admisible de Valores Deducidos’ (m) utilizando la siguiente ecuación.

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

Donde.

m = Número máximo admisible de “valores deducidos”.

HDV = 32.

$$m = 1.00 + \frac{9}{98}(100 - 32)$$

$$m = 7.2 \approx 7$$

### Cálculo del Máximo Valor Deducido Corregido, CDV

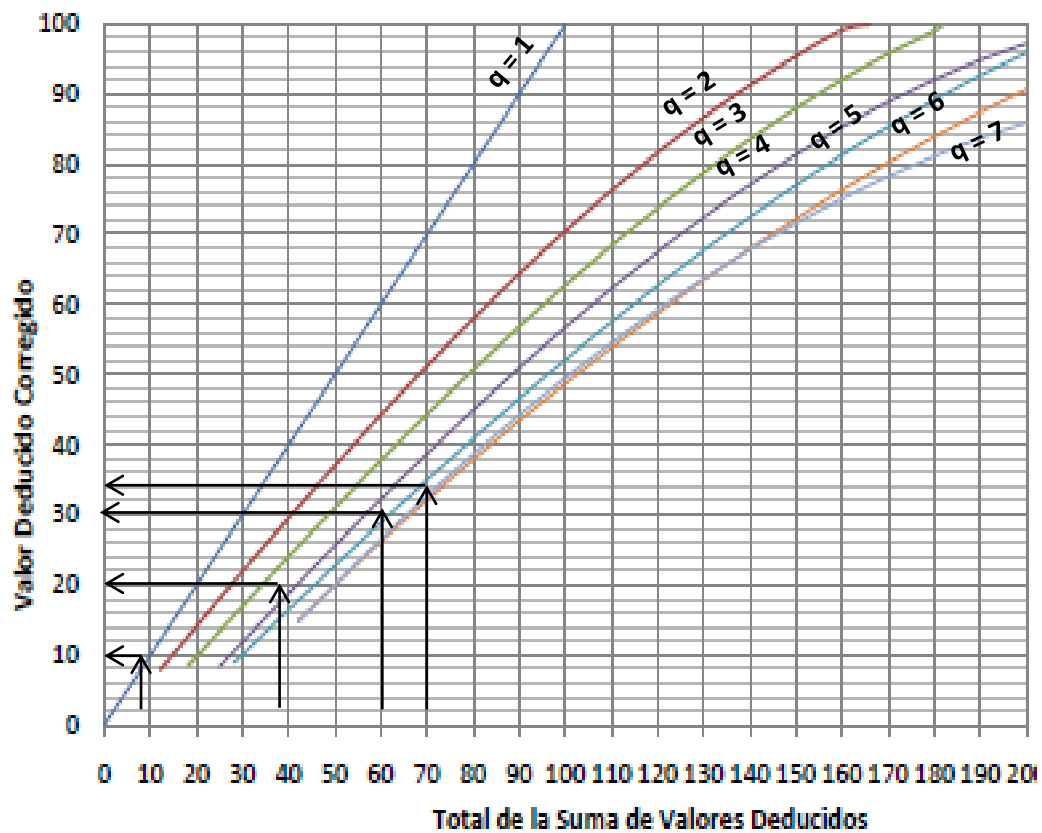
El máximo CDV se determina siguiendo proceso iterativo.

N°	VALOR DEDUCIDO				TOTAL	q
1	32	24	12	2	70	7
2	32	24	12	2	70	6
3	32	24	2	2	60	5
4	32	2	2	2	38	4
5	2	2	2	2	8	3
6	2	2	2	2	8	2
7	2	2	2	2	8	1

**Cuadro 15. Máximo valor deducido**

*Fuente: Elaboración Propia*

Con estos datos entramos a la gráfica para determinar el máximo valor de deducido corregido (CDV).



**Figura 19. Valores deducidos corregidos**

*Fuente: Pavement Concition Index, Manizales, Ingepav.*

TOTAL	q	CDV
70	7	32
70	6	32
60	5	28
38	4	18
8	3	2
8	2	4
8	1	8

**Cuadro 16. Valor deducido corregido**  
**Fuente: Elaboración Propia**

El PCI de la muestra se obtiene restando a 100 el máximo CDV.

$$PCI = 100 - \max CDV$$

$$PCI = 100 - 32$$

$$PCI = 68$$

### 3.3.5 CLASIFICACIÓN

Rango PCI %	Color	Estado
0-10	Grigio	Falla
11-25	Naranja	Muy Malo
26-40	Rojo	Mal
41-55	Rosa	Regular
56-70	Amarillo	Bueno
71-85	Verde	Muy Bueno
86-100	Verde Oscuro	Excelente

**Figura 20. Rangos del PCI**  
**Fuente: Pavement Condition Index, Manizales, Ingepav.**

Este valor encontrado, según la escala o rango del PCI que se muestra en la corresponde a un Índice de Condición del pavimento de: **BUENO**.

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestra inspeccionadas, el cálculo del PCI de todas las unidades de muestra se muestran en los ANEXO IV detalladamente.

### 3.3.6 CÁLCULO DEL IRI.

#### DATOS.

MUESTRA : 1

NOMBRE DEL TRAMO: AV. CIRCUNVALACIÓN

ABSCISA INICIAL: 0 + 000

ABSCISA FINAL: 0 + 040

ABSCISA	COTA		ABSCISA	COTA
0	1.5766		20	1.9108
0.5	1.5848		20.5	1.9161
1	1.5892		21	1.9197
1.5	1.5966		21.5	1.9352
2	1.6072		22	1.9435
2.5	1.6151		22.5	1.9507
3	1.62		23	1.957
3.5	1.6262		23.5	1.9627
4	1.6333		24	1.9693
4.5	1.6396		24.5	1.9755
5	1.6463		25	1.9829
5.5	1.655		25.5	1.983
6	1.6584		26	1.9887
6.5	1.6681		26.5	1.9872
7	1.6726		27	1.9914
7.5	1.6804		27.5	1.9971
8	1.687		28	2.0024
8.5	1.6971		28.5	2.0106
9	1.7066		29	2.0166
9.5	1.7169		29.5	2.0254
10	1.7229		30	2.0308
10.5	1.7307		30.5	2.0326
11	1.7405		31	2.0344
11.5	1.7479		31.5	2.0365
12	1.7534		32	2.0412
12.5	1.7608		32.5	2.0454
13	1.7713		33	2.0448
13.5	1.7765		33.5	2.0553
14	1.7853		34	2.0557
14.5	1.7968		34.5	2.0565
15	1.8059		35	2.058
15.5	1.8151		35.5	2.0628
16	1.8225		36	2.0639
16.5	1.8335		36.5	2.0622
17	1.8418		37	2.0635
17.5	1.8553		37.5	2.063
18	1.8677		38	2.0634
18.5	1.8786		38.5	2.0605
19	1.8948		39	2.0619
19.5	1.8995		39.5	2.0634
			40	2.0604

*Cuadro 17. Lecturas de cotas muestra 1 IRI*

*Fuente: Elaboración Propia*

Estos datos obtenidos en campo introducimos en el Software denominado INPACO donde incluye el programa IRI (Método Mira y Nivel), para hallar el Índice de Rugosidad internacional.



**Portada del Software Impaco**



**Identificación De La Muestra**

Cna	Abcisa	Cota (m)
1	0.00	1.500
2	0.50	1.500
3	1.00	1.500
4	1.50	1.500
5	2.00	1.510
6	2.50	1.520
7	3.00	1.520
8	3.50	1.530
9	4.00	1.530
10	4.50	1.540
11	5.00	1.550
12	5.50	1.600
13	6.00	1.600
14	6.50	1.670
15	7.00	1.67

**Entrada De Datos (Cotas Obtenidas Con El Nivel De Ingeniero)**

Cota X (m)	Cota (m)
Número Total de Datos	
Número de Datos Analizados	
n de Análisis	
21	-2.52
22	-10.10
23	-4.20
24	-1.30
Y	0.00
2.831	503.407
IRI Calculado (m/km)	6.9176

**Calculo Del IRI**

## RESULTADO

Para la muestra N°1 **IRI= 6.9176 m/km** según la escala mostrada en el capítulo 2 pertenece a Pavimentos Viejos.

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestra inspeccionadas, el cálculo del IFI de todas las unidades de muestra se muestran en los ANEXO VI detalladamente.



### 3.3.7 CÁLCULO DEL IFI.

#### DATOS.

Ensayo del círculo de arena.

Muestra	Progres. Inicial	Progres. Final	Mancha de Arena D (cm)					Prom.
			28.5	28.2	28.4	28.1	28.2	
1	0+000	0+040	28.5	28.2	28.4	28.1	28.2	28.3

*Cuadro 18. Datos ensayo círculo de arena muestra 1  
Fuente: Elaboración Propia*

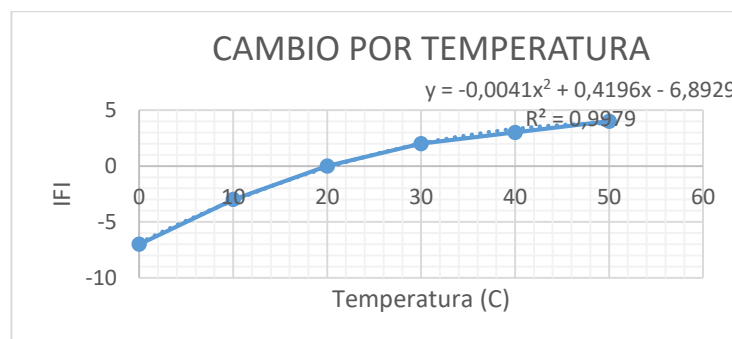
Péndulo de fricción.

Muestra	Progres. Inicial	Progres. Final	Péndulo										Prom.
			Lec.	T °C	Lec.	T °C	Lec.	T °C	Lec.	T °C	Lec.	T °C	
1	0+000	0+040	85	29	73	26	63	29	60	29	62	24	69

*Cuadro 19. Datos péndulo británico muestra 1  
Fuente: Elaboración Propia*

#### CORRECCIÓN POR TEMPERATURA.

Para la corrección por temperatura empleamos la fórmula que se muestra en el siguiente gráfico:



*Figura 21. Factor de corrección por temperatura.  
Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México*

Para temperatura 29°Centígrados.

$$y = -0.0041x^2 + 0.4196x - 6.8929$$

$$y = -0.0041 * 29^2 + 0.4196 * 29 - 6.8929$$

$$y = 1.83$$

Para temperatura 26°Centígrados.

$$y = -0.0041 * 26^2 + 0.4196 * 26 - 6.8929$$

$$y = 1.25$$

Para temperatura 24°Centígrados.

$$y = -0.0041 * 24^2 + 0.4196 * 24 - 6.8929$$

$$y = 0.82$$

Muestra	Lec. Correg	Lec. Correg	Lec. Correg	Lec. Correg	Lec. Correg	Prom.
1	86.83	73.85	65.23	62.23	62.42	<b>70.11</b>

*Cuadro 20. Lecturas corregidas por temperatura  
Fuente: Elaboración Propia*

## DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO SP

Donde los valores constantes a y b son.

PRUEBA	a	b
ASTM E 965	-11.60	113.60

Tx = promedio del espesor de la macrotextura superficial [mm].

V = Volumen de la muestra [cm<sup>3</sup>].

V =	50	[cm <sup>3</sup> ]
-----	----	--------------------

Dp = diámetro promedio del área cubierta por la arena (obtenida en campo).

## DETERMINACIÓN DEL PARÁMETRO F60

Donde los valores constantes A y B son:

PRUEBA	A	B
ASTM E 274	0.078	0.0107

FRSP= valor de fricción (obtenida en campo).

S = velocidad de deslizamiento del péndulo.

SP= velocidad de referencia.

S =	10	[km/hr]
-----	----	---------

Cálculo de Tx promedio del espesor:

$$Tx = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

$$Tx = \frac{4 * 50}{\pi * 28.3^2}$$

$$Tx = 0.0794 \text{ cm} = 0.794 \text{ mm}$$

Cálculo Sp Velocidad de referencia.

$$Sp = a + (b * Tx)$$

$$Sp = -11.60 + (113.60 * 0.794)$$

$$Sp = 78.7 \text{ km/h}$$

Cálculo para una velocidad de 120 km/h.

$$FR 120 = FRSp * e^{\frac{S-120}{Sp}}$$

$$FR 120 = 72.09 * e^{\frac{10-120}{78.7}}$$

$$FR 120 = 0.264$$

Cálculo para una velocidad de 100 km/h.

$$FR 100 = FRSp * e^{\frac{S-100}{Sp}}$$

$$FR 100 = 72.09 * e^{\frac{10-100}{78.7}}$$

$$FR 100 = 0.318$$

Cálculo para una velocidad de 80 km/h.

$$FR_{80} = FRSp * e^{\frac{S-80}{Sp}}$$

$$FR_{80} = 72.09 * e^{\frac{10-80}{78.7}}$$

$$FR_{80} = 0.387$$

Cálculo para una velocidad de 60 km/h.

$$FR_{60} = FRSp * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

$$FR_{60} = 72.09 * e^{\frac{10-60}{78.7}}$$

$$FR_{60} = 0.476$$

Cálculo para una velocidad de 40 km/h.

$$FR_{40} = FRSp * e^{\frac{S-40}{Sp}}$$

$$FR_{40} = 72.09 * e^{\frac{10-40}{78.7}}$$

$$FR_{40} = 0.591$$

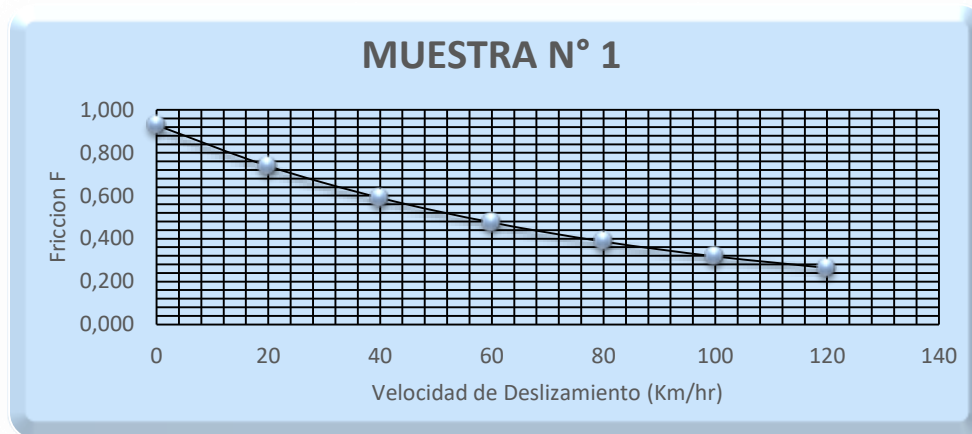
Cálculo para una velocidad de 20 km/h.

$$FR_{20} = FRSp * e^{\frac{S-20}{Sp}}$$

$$FR_{20} = 72.09 * e^{\frac{10-20}{78.7}}$$

$$FR_{20} = 0.739$$

En el siguiente gráfico se muestra como varía el coeficiente de fricción en función a la velocidad.



### Resultado de la muestra N° 1

IFI para el resultado tomamos como referencia la velocidad de 40 km/h ya que es esta es la velocidad de circulación de los vehículos en la avenida circunvalación.

Fricción, Valor de CDR, adimensional	Calificación
< 0.5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 – 0.6	De regular a bueno
0.61 – 0.8	Bueno
0.81 – 0.9	De bueno a regular
> 0.91	Malo (desgaste de neumáticos)

### Cuadro 21. Rangos del IFI de acuerdo a la norma de México

*Fuente: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México*

IFI	Estado del Pavimento
0.591	De regular a Bueno

### Cuadro 22. Resultado IFI muestra 1

*Fuente: Elaboración Propia*

Este proceso es reiterativo para cada una de las unidades de muestra inspeccionadas, el cálculo del IFI de todas las unidades de muestra se muestran en los ANEXO V detalladamente.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 PCI.-

Los resultados de la evaluación de todas las unidades de muestra inspeccionadas se muestran en la siguiente tabla resumen.

MUESTRA	PCI	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
1	68	BUENO
2	36	MALO
3	60	BUENO
4	62	BUENO
5	60	BUENO
6	43	REGULAR
7	38	MALO
8	65	BUENO
9	51	REGULAR
10	36	MALO
11	50	REGULAR
12	12	MUY MALO
13	58	BUENO
14	12	MUY MALO
15	54	REGULAR
16	31	MALO
17	68	BUENO
18	62	BUENO
19	28	MALO
20	66	BUENO
21	41	REGULAR
22	23	MUY MALO
23	46	REGULAR
24	66	BUENO
25	16	MUY MALO
26	26	MALO
27	26	MALO
28	48	REGULAR
29	6	FALLADO
30	48	REGULAR
31	48	REGULAR
32	16	MUY MALO
33	46	REGULAR
34	46	REGULAR
35	38	MALO
36	52	REGULAR
37	50	REGULAR
38	62	BUENO
39	38	MALO
40	8	FALLADO
41	54	REGULAR
42	28	MALO

MUESTRA	PCI	CONDICIÓN DEL PAVIMENTO
43	68	BUENO
44	64	BUENO
45	50	REGULAR
46	54	REGULAR
<b>PCI Promedio</b>	<b>44</b>	<b>REGULAR</b>

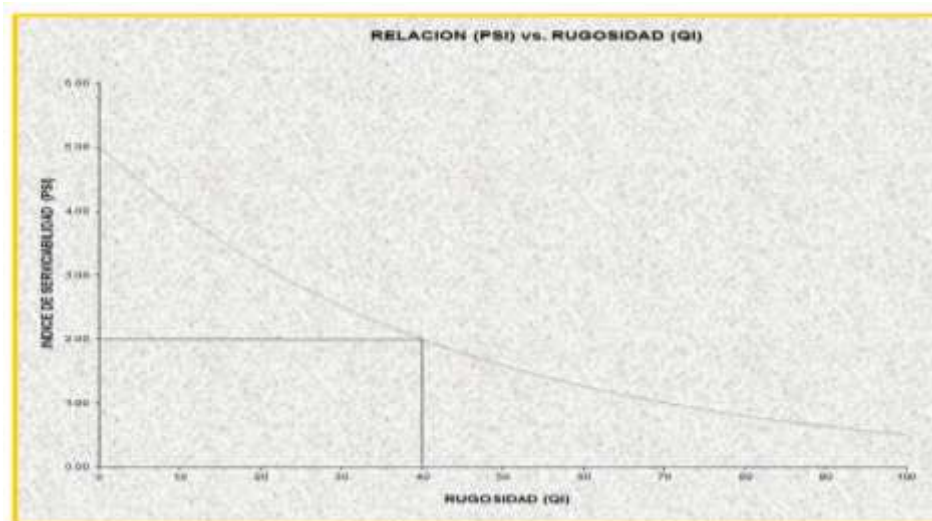
*Cuadro 23. Resumen de resultados PCI*  
*Fuente: Elaboración Propia*

Este método de evaluación, nos dio como resultado la obtención del Índice de Condición del Pavimento para el tramo en estudio, el resultado es: **PCI = 44** este valor encontrado, según el rango que se mostrado anteriormente corresponde a un Índice de Condición del pavimento de: **REGULAR**.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### RELACIÓN CON EL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE

La calidad de servicio que ofrece una carretera se mide en función del Índice de Serviabilidad Presente, la Fig.22 muestra una curva que relaciona la rugosidad con el PSI, observando la curva se puede decir que la rugosidad admisible para una carretera es de 40 QI, que equivale a un Índice de Serviabilidad de 2, cuando el Índice de Serviabilidad es menor a dos quiere decir que la rugosidad tiene un valor superior a los 40 QI, lo cual significa que la carretera tiene fallas o deterioros.



*Figura 22. Relación PSI vs Rugosidad*

Con la asistencia técnica que ofreció a Bolivia WILBUR SMITH Y ASOCIADOS, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$PSI = 5 * e^{-0.02291*QI} \quad \text{Ecuación 17}$$

QI = Rugosidad determinada con un aparato auscultador.

La aplicación de esta fórmula se muestra en el Cuadro 24, las relaciones existentes entre la Rugosidad QI y PSI.

QI UNIDADES/KM	PSI	DESCRIPCIÓN
0 - 20	3 - 5.0	El pavimento es nuevo.
20 - 35	2.5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe baches ni corrugaciones.
35 - 65	1.0 - 2.5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales ( 1-3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80km/h.
65 - 110	0.4 - 1.0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales ( $\geq 20$ mm/3m), baches frecuentes ( 15-20 baches cada 50 mt., 15% de baches).

**Cuadro 24. Relación PSI-QI**



Las relaciones de equivalencia entre el PCI, QI, y PSI, se muestran en el Cuadro 25.

PCI	DESCRIPCIÓN	QI Unidades/Km	PSI	DESCRIPCIÓN
90 - 100	Muy bueno, excelente	0 - 20	3 - 5.0	El pavimento es nuevo.
60 - 90	Bueno	20 - 35	2.5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe baches ni corrugaciones.
40 - 60	Regular	35 - 65	1.0 - 2.5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales ( 1-3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80km/h.
20 - 40	Muy pobre			
0 - 20	Fallado	65 - 110	0.4 - 1.0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales ( $\geq 20$ mm/3m), baches frecuentes ( 15-20 baches cada 50 mt., 15% de baches).

*Cuadro 25. Relación PCI-QI-PSI*

Entonces podemos expresar nuestro resultado obtenido mediante el PCI (Índice de Condición de Pavimento) en PSI (Índice de Serviciabilidad Presente) utilizando los rangos de relación de equivalencia y la ecuación mostrada anteriormente.

**PCI = 44**, corresponde a un **PCI de REGULAR**, lo cual nos muestra que estaría en los intervalos de **(40 – 60) PCI**, y **(35 – 65) QI** (Cuadro 25), entonces se tiene:

<b>PCI</b>		<b>QI</b>
60	→	35
44	→	x
40	→	65

Interpolando Se obtiene las siguiente ecuación.

$$\frac{60 - 44}{60 - 40} = \frac{35 - x}{35 - 65}$$

Iterando  $x = 59$

$$\text{PCI} = 44 \longrightarrow \text{QI} = 59$$

$$\text{PSI} = 5 * e^{-0.02291*59}$$

$$\text{PSI} = 1.3$$

PCI	DESCRIPCIÓN	QI Unidades/Km	PSI	DESCRIPCIÓN
44	Regular	59	1.3	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.

**Cuadro 26. Resultados PCI-QI-PSI**

*Fuente: Elaboración Propia*

## ESTADÍSTICA

### ANÁLISIS DE PROBABILIDADES

Para realizar el análisis de probabilidades a través de la curva de Gauss se obtuvo una varianza de 314.88 de todos los resultados que se obtuvo en cada muestra, al obtener la varianza se determinó el valor máximo 68 y mínimo 6, la desviación estándar de 17.74, con estos valores obtuvimos un  $z = 1.35$ , ingresamos a la tabla de valores de la función estándar de la distribución normal, donde se puede apreciar que nuestros resultados tienen un **91.12 %** de confiabilidad.

**Tabla de valores de la función estándar de distribución normal**

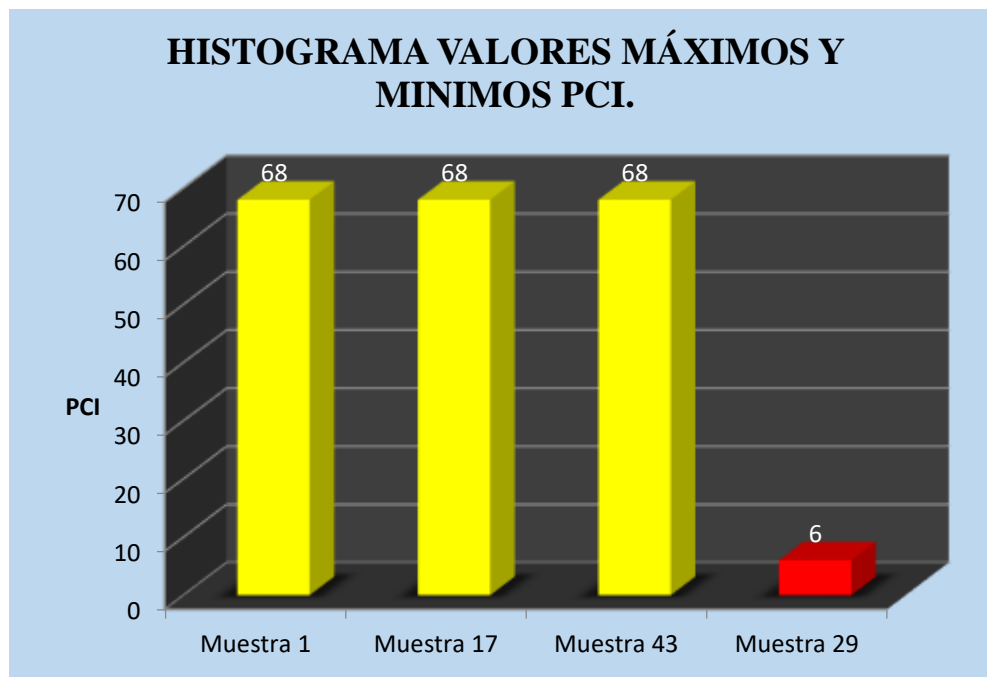
**z 0**

**z 0**

1,0	0,8413	-2,0	0,0228
1,1	0,8643	-1,9	0,0287
1,2	0,8849	-1,8	0,0359
1,3	0,9032	-1,7	0,0446
1,4	0,9192	-1,6	0,0548
1,5	0,9332	-1,5	0,0668
1,6	0,9452	-1,4	0,0808
1,7	0,9554	-1,3	0,0968
1,8	0,9641	-1,2	0,1151
		-1,1	0,1357

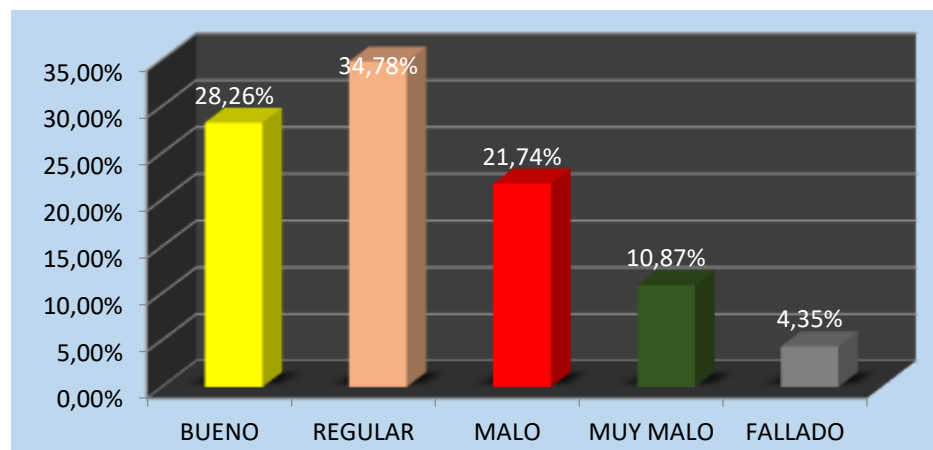
El promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas da como resultado un Índice de Condición de Pavimento **PCI = 44** lo cual nos permite aseverar que tienen un estado **REGULAR** en un sentido genérico dado que es un promedio, es decir que el 50% de las muestras evaluadas están en un nivel regular.

## GRÁFICAS



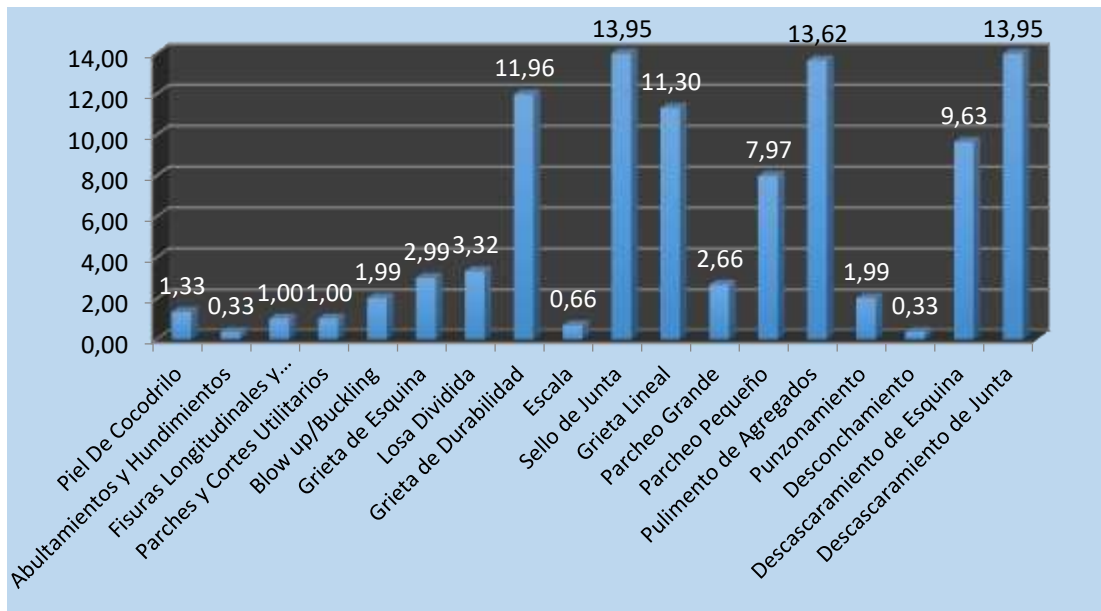
La muestra que tiene el más elevado índice de condición de pavimento es la M1, M17, M43 con un PCI=68, por el contrario la muestra con menor índice de condición de pavimento es M29 con PCI=6 lo cual nos da un rango de 62.

### HISTOGRAMA ESTADO DE LAS MUESTRAS



De todas las muestras evaluadas el 34.78 % en un nivel regular, 28.26 % en estado bueno, 21.74 % en un nivel de malo, 10.87 % en estado muy malo y el otro 4.35 % fallado, tal como lo muestra el gráfico.

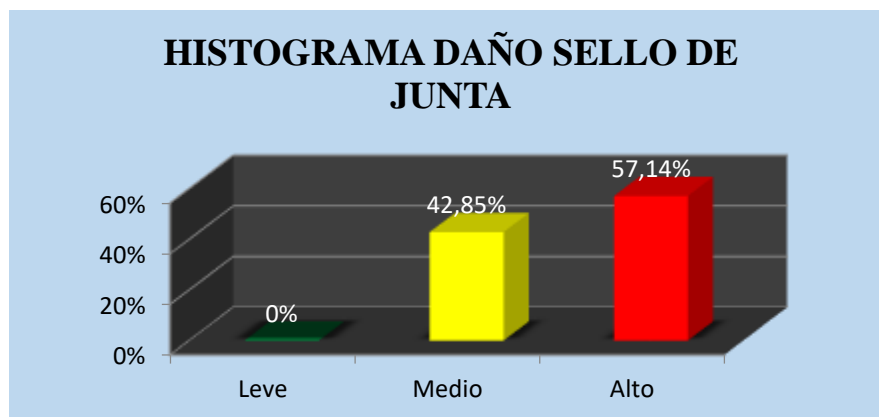
### HISTOGRAMA DAÑOS SUPERFICIALES



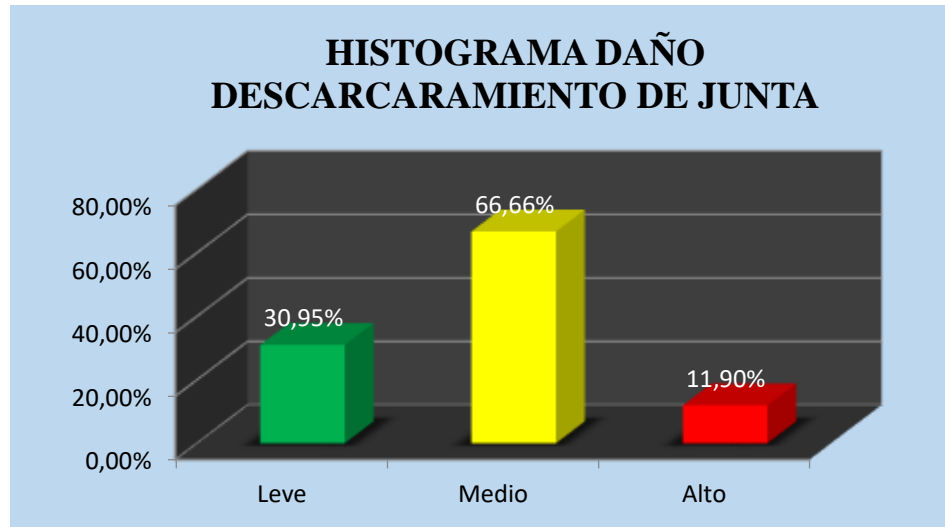
El gráfico muestra los daños superficiales encontrados y el porcentaje que ocupa en relación a la cantidad total de daños, el daño superficial del pavimento predominante en los 10.74 km de vía es el sellado de junta y el descascaramiento de junta, con un 13.95% sobre el total de daños.

El pulimento de agregados ocupa un segundo lugar con un 13.62%, en tercer lugar está la grieta de durabilidad con un 11.96 %.

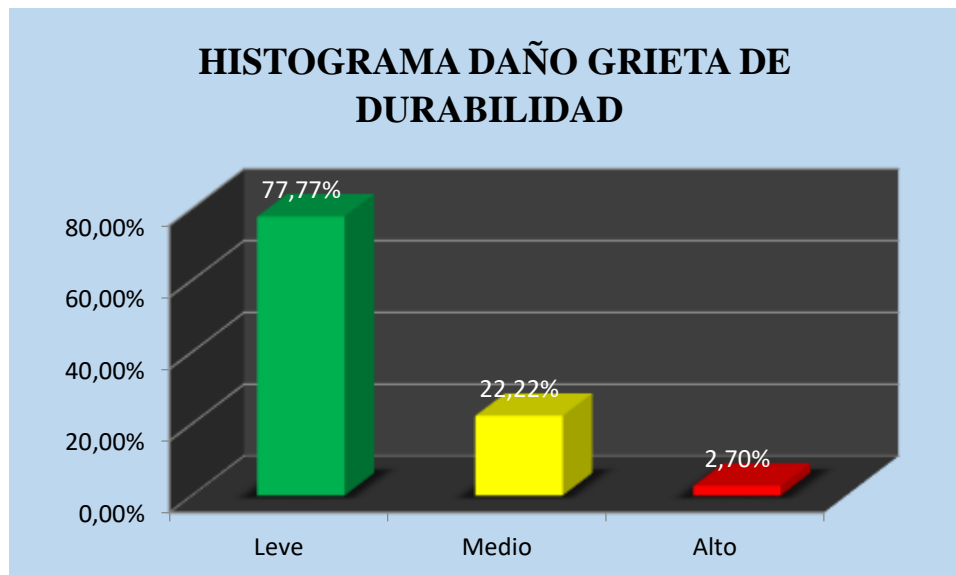
Se presentan las 3 fallas más representativas.



El daño de sello de junta representa un 13.95 % de las fallas encontradas en la evaluación, de las cuales en la mayoría tienen un nivel alto es decir que hay ausencia del sello de junta.



El daño de desacatamiento de junta representa un 13.95 % de las fallas encontradas en la evaluación, el nivel de este daño en su mayoría es medio lo que indica que ya hay presencia de fisuras.



La grieta de durabilidad representa un 11.96 % de las fallas encontradas en la evaluación, las cuales en su mayoría son de nivel leve, la presencia de esta falla nos indica que ya existe fatiga del pavimento.

### 4.3 IRI

Los resultados de la evaluación del índice de rugosidad internacional de todas las unidades de muestra evaluadas se muestran en la siguiente tabla resumen.

Muestra	IRI m/Km	Estado del Pavimento
1	6.92	Pavimento deteriorado
2	7.20	Pavimento deteriorado
3	7.16	Pavimento deteriorado
4	4.24	Pavimento viejo
5	5.46	Pavimento viejo
6	5.60	Pavimento viejo
7	10.95	Pavimento deteriorado
8	5.32	Pavimento viejo
9	10.94	Pavimento deteriorado
10	5.70	Pavimento viejo
11	10.98	Pavimento deteriorado
12	5.03	Pavimento viejo

13	5.41	Pavimento viejo
14	5.12	Pavimento viejo
15	5.75	Pavimento viejo
16	5.13	Pavimento viejo
17	5.40	Pavimento viejo
18	5.17	Pavimento viejo
19	5.31	Pavimento viejo
20	5.16	Pavimento viejo
21	5.15	Pavimento viejo
22	10.99	Pavimento deteriorado
23	6.38	Pavimento deteriorado
24	5.14	Pavimento viejo
25	11.30	Pavimento deteriorado
26	5.44	Pavimento viejo
27	5.64	Pavimento viejo
28	5.16	Pavimento viejo
29	5.90	Pavimento viejo
30	11.23	Pavimento deteriorado
31	5.61	Pavimento viejo
32	5.30	Pavimento viejo
33	5.78	Pavimento viejo
34	5.67	Pavimento viejo
35	5.60	Pavimento viejo
36	5.37	Pavimento viejo
37	5.15	Pavimento viejo
38	5.17	Pavimento viejo
39	3.98	Pavimento viejo
40	5.51	Pavimento viejo
41	10.99	Pavimento deteriorado
<b>Muestra</b>	<b>IRI m/Km</b>	<b>Estado del Pavimento</b>
42	5.18	Pavimento viejo
43	8.79	Pavimento deteriorado
44	6.72	Pavimento deteriorado
45	10.99	Pavimento deteriorado
46	9.19	Pavimento deteriorado

***Cuadro 27. Resumen de resultados IRI***  
***Fuente: Elaboración Propia***

#### **4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS ESTADÍSTICA**

Para obtener El promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas Mediante el IRI (método mira y nivel), realizaremos una



depuración de datos mediante estadística, debido a la dispersión que muestra los resultados es así que obtenemos los siguientes datos estadísticos:

$$\text{Media } (\bar{\alpha}) = 8.05$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 8.5264$$

$$\text{Desviación estándar } (\sigma) = \sqrt{8.5264} = 2.92$$

RANGO

$$\text{Máximo} = \bar{\alpha} + \sigma = 8.05 + 2.92 = 10.97$$

$$\text{Mínimo} = \bar{\alpha} - \sigma = 8.05 - 2.92 = 5.13$$

Entonces para sacar el promedio depuramos (no tomamos en cuenta) los resultados que no estén dentro del rango establecido anteriormente, es así que obtenemos un promedio de internacional **IRI = 5.18 m/km** que corresponde a una rugosidad de **PAVIMENTOS VIEJOS**.

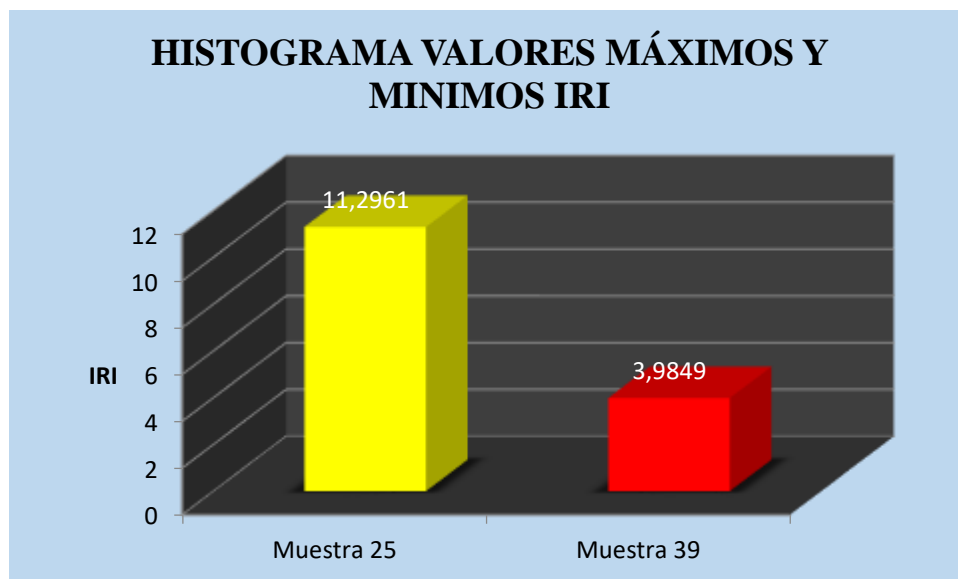
## ANÁLISIS DE PROBABILIDADES

Para realizar el análisis de probabilidades a través de la curva de Gauss se obtuvo una varianza de 8.52 de todos los resultados que se obtuvo en cada muestra, al obtener la varianza se determinó el valor máximo 11.29 y mínimo 3.98, la desviación estándar de 2.92, con estos valores obtuvimos un **z = 1.11**, ingresamos a la tabla de valores de la función estándar de la distribución normal, donde se puede apreciar que nuestros resultados tienen un **84.38 %** de confiabilidad.

### Tabla de valores de la función estándar de distribución normal

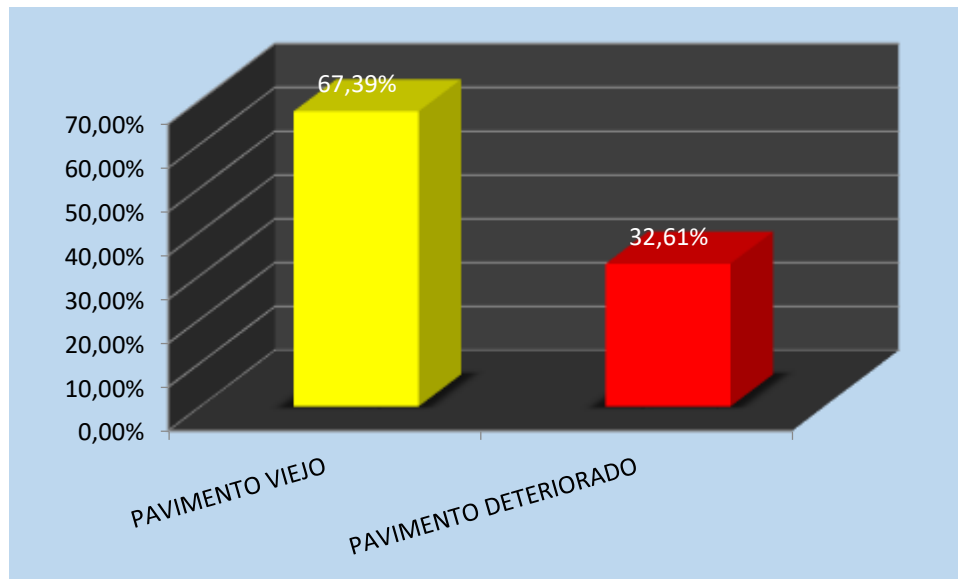
Z	0	Z	0
1,0	0,8413	-2,0	0,0228
1,1	0,8643	-1,9	0,0287
1,2	0,8849	-1,8	0,0359
1,3	0,9032	-1,7	0,0446
1,4	0,9192	-1,6	0,0548
1,5	0,9332	-1,5	0,0668
1,6	0,9452	-1,4	0,0808
1,7	0,9554	-1,3	0,0968

## GRÁFICAS



La muestra que tiene el más elevado Índice de Rugosidad Internacional es la M25, con un IRI=11.2961 que corresponde a un estado de pavimento deteriorado, por el contrario la muestra con menor Índice de Rugosidad Internacional es M36 con IRI=3.9849 que corresponde a un estado de pavimento viejo.

## HISTOGRAMA ESTADO DE LAS MUESTRAS



De todas las muestras evaluadas el 67.39 % corresponde a un estado de pavimento viejo, el 32.61 % corresponde a un estado pavimento deteriorado, tal como lo muestra el grafico.

### **RELACIÓN CON EL ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD PRESENTE**

La calidad de servicio que ofrece una carretera se mide en función del Índice de Serviabilidad Presente (PSI), podemos relacionar IRI obtenido con el PSI utilizando el siguiente cuadro de relación.

IRI m/Km	QI Unidades/Km	PSI	DESCRIPCIÓN
0 - 1.6	0 - 20	3 - 5.0	El pavimento es nuevo.
1.6 - 2.8	20 - 35	2.5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno no existe baches ni corrugaciones.
2.8 - 5.2	35 - 65	1.0 - 2.5	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro. Baches ocasionales (1-3 baches cada 50 m, 2% de baches), depresiones (20 - 40 mm cada 5 m o 10 - 20 mm cada 3 m), velocidad normal de conducción 80km/h.
5.2 - 8.8	65 - 110	0.4 - 1.0	El pavimento severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales ( $\geq 20$ mm/3m), baches frecuentes (15-20 baches cada 50 mt., 15% de baches).

**Cuadro 28. Relación IRI-QI-PSI**

**IRI = 5.18**, lo cual nos muestra que estaría en los intervalos de **(2.8 – 5.2) IRI**, y **(35 – 65) QI** (Cuadro 28), entonces se tiene:

<b>PCI</b>	→	<b>QI</b>
2.8	→	35
5.18	→	x
5.2	→	65

Interpolando Se obtiene la siguiente ecuación.

$$\frac{2.8 - 5.18}{2.8 - 5.2} = \frac{35 - x}{35 - 65}$$

Iterando x

$$x = 64.75$$

$$\mathbf{IRI = 5.18} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{QI = 64.75}$$

$$PSI = 5 * e^{-0.02291*64.75}$$

$$\mathbf{PSI = 1.13}$$

IRI m/Km	QI Unidades/Km	PSI	DESCRIPCIÓN
5.18	64.75	1.13	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.

**Cuadro 29. Resultados IRI-QI-PSI**

**Fuente: Elaboración Propia**

#### 4.5 IFI.-

Los resultados del ensayo del péndulo de fricción de todas las unidades de muestra se muestran en la siguiente tabla resumen.

Muestra	IFI	Calificación
1	0.591	De regular a Bueno
2	0.602	Bueno
3	0.524	De regular a Bueno
4	0.539	De regular a Bueno
5	0.522	De regular a Bueno
6	0.521	De regular a Bueno
7	0.516	De regular a Bueno
8	0.525	De regular a Bueno
9	0.518	De regular a Bueno
10	0.549	De regular a Bueno
11	0.552	De regular a Bueno
12	0.563	De regular a Bueno
13	0.583	De regular a Bueno
14	0.551	De regular a Bueno
15	0.541	De regular a Bueno
16	0.544	De regular a Bueno
17	0.468	malo deslizamiento del vehículo
18	0.497	malo deslizamiento del vehículo

Muestra	IFI	Calificación
19	0.526	De regular a Bueno
20	0.532	De regular a Bueno
21	0.569	De regular a Bueno
22	0.543	De regular a Bueno
23	0.539	De regular a Bueno
24	0.639	Bueno

25	0.636	Bueno
26	0.577	De regular a Bueno
27	0.575	De regular a Bueno
28	0.567	De regular a Bueno
29	0.563	De regular a Bueno
30	0.498	malo deslizamiento del vehículo
31	0.498	malo deslizamiento del vehículo
32	0.504	De regular a Bueno
33	0.543	De regular a Bueno
34	0.571	De regular a Bueno
35	0.502	De regular a Bueno
36	0.516	De regular a Bueno
37	0.430	malo deslizamiento del vehículo
38	0.551	De regular a Bueno
39	0.547	De regular a Bueno
40	0.547	De regular a Bueno
41	0.547	De regular a Bueno
42	0.547	De regular a Bueno
43	0.547	De regular a Bueno
44	0.547	De regular a Bueno
45	0.547	De regular a Bueno
46	0.547	De regular a Bueno
<b>IFI Promedio</b>	<b>0.543</b>	<b>De regular a Bueno</b>

*Cuadro 30. Resumen de resultados IFI  
Fuente: Elaboración Propia*

Este ensayo, nos dio como resultado la obtención del Índice de Fricción del Pavimento para el tramo en estudio, el resultado es:

$$\mathbf{IFI = 0.543}$$

Este valor encontrado, según el rango que se muestra corresponde a una Condición de fricción de: **DE REGULAR A BUENO**.

#### **4.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

##### **ESTADÍSTICA**

##### **ANÁLISIS DE PROBABILIDADES**

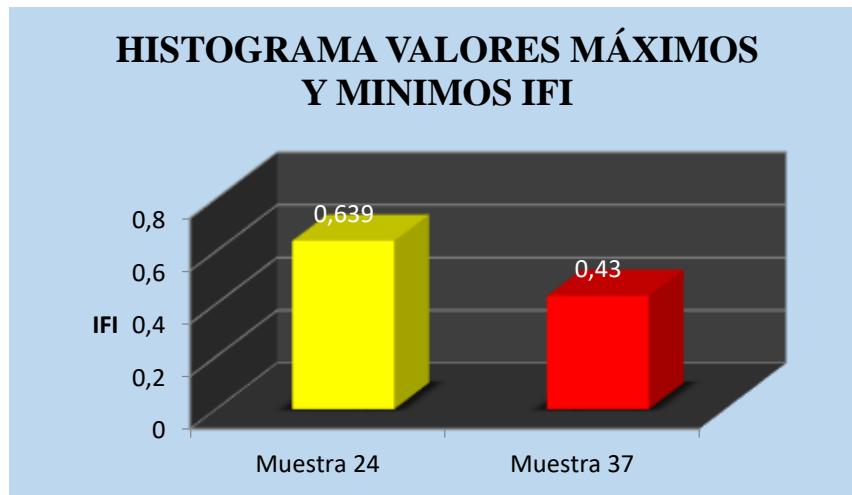
Para realizar el análisis de probabilidades a través de la curva de Gauss se obtuvo una varianza de 0.0024 de todos los resultados que se obtuvo en cada muestra, al obtener la varianza se determinó el valor máximo 0.639 y mínimo 0.43, la desviación estándar de 0.049, con estos valores obtuvimos un  $z = 1.92$ , ingresamos a la tabla de valores de la función estándar de la distribución normal, donde se puede apreciar que nuestros resultados tienen un **97.2 %** de confiabilidad.

**Tabla de valores de la función estándar de distribución normal**

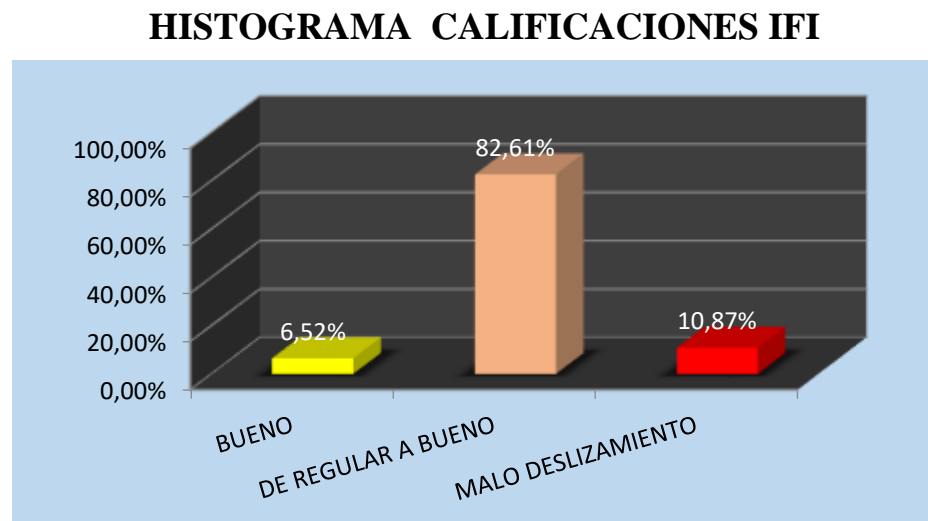
z	0	z	0
1,6	0,9452	-1,4	0,0808
1,7	0,9554	-1,3	0,0968
1,8	0,9641	-1,2	0,1151
1,9	0,9713	-1,1	0,1357
2,0	0,9772	-1,0	0,1587
2,1	0,9821	-0,9	0,1841
2,2	0,9861	-0,8	0,2119
2,3	0,9893	-0,7	0,2420
2,4	0,9918	-0,6	0,2743
2,5	0,9938	-0,5	0,3085
2,6	0,9953	-0,4	0,3446
2,7	0,9965	-0,3	0,3821
2,8	0,9974	-0,2	0,4207
2,9	0,9981	-0,1	0,4602
3,0	0,9987	-0,0	0,5000

El promedio aritmético (media) de los resultados obtenidos en las muestras evaluadas en el presente trabajo da como resultado un Índice de Fricción del Pavimento **IFI = 0.543** que tienen una calificación **DE REGULAR A BUENO** en un sentido genérico dado que es un promedio, es decir que el 50% de los pavimentos ensayados están en un nivel de regular a bueno.

## GRÁFICAS



La muestra que tiene el más elevado índice de fricción internacional es la M2, con un IFI=0.639, que corresponde a una calificación de buen estado por el contrario la muestra con menor índice de fricción internacional es M37 con IFI=0.43 que corresponde a una calificación de malo deslizamiento del vehículo, dándonos un rango de 0.209.



De todas las muestras evaluadas el 6.52 % está en un calificación de bueno, 82.61 % con una calificación de regular a bueno, 10.78 % con calificación de malo deslizamiento el vehículo, tal como lo muestra el gráfico.

### RESUMEN DE RESULTADOS



MÉTODO DE EVALUACIÓN		PCI	IRI (m/Km)	PSI	DESCRIPCIÓN (PSI)
PCI	(ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO)	44		1.3	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro
IRI	(ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)		5.18	1.13	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro
			IFI	SP (Km/hr)	DESCRIPCIÓN
SP	ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA			81	Textura Cerrada
IFI	ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL		0.543		De Regular a Bueno

***Cuadro 31. Resumen de resultados***

***Fuente: Elaboración Propia***

Es importante resaltar la diferencia que existe entre los indicadores de estado IRI y PCI de los ensayos del círculo de arena (SP) e índice de fricción internacional (IFI) ya que estos indicadores de estado están relacionados a través de cuadros de equivalencias, con el índice de serviciabilidad presente en un pavimento, por lo que pueden ser expresados en PSI.

Mientras que la macro textura (ensayo del círculo de arena) es un valor que están relacionado con las características de acabado que se le da a la superficie de la carpeta de rodadura en el momento del colocado, y el índice de fricción internacional depende directamente de la macro textura ya que es un parámetro de cálculo necesario para determinar el mismo.

#### **4.7 PROPUESTA DE MEJORAS A REALIZAR**

##### **AGRIETAMIENTO EN FORMA DE PIEL DE COCODRILO:**

Descripción: Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito. El agrietamiento se inicia en el fondo de la capa asfáltica (o base estabilizada) donde los esfuerzos y deformaciones unitarias de tensión son mayores bajo la carga de una rueda. Inicialmente, las grietas se propagan a la superficie como una serie de grietas longitudinales paralelas. Después de repetidas cargas de tránsito, las grietas se conectan formando polígonos con ángulos agudos que desarrollan un patrón que se asemeja a una malla de gallinero o a la piel de cocodrilo.

### **PUNZONAMIENTO**

Descripción: Este daño es un área localizada de la losa que está rota en pedazos. Puede tomar muchas formas y figuras diferentes pero, usualmente, está definido por una grieta y una junta o dos grietas muy próximas, usualmente con 1.52 m entre sí. Este daño se origina por la repetición de cargas pesadas, el espesor inadecuado de la losa, la pérdida de soporte de la fundación o una deficiencia localizada de construcción del concreto.

### **REPARACIÓN RECOMENDADA**

Para las fallas Piel De Cocodrilo y Punzonamiento de severidad alta.

#### **Bacheo Profundo (Reparación Permanente)**

##### **PERSONAL**

- Superintendente de obras.
- Operador a.
- Operador b.
- Chofer.
- Peón.

##### **EQUIPO**

- Camión volquete a diesel  $\leq 8\text{ m}^3$ .
- Compactador de rodillo liso autopropulsado.
- Martillo neumático y rompe asfaltos.
- Compresora de campo de 230 a 600 cfm.

- Compactador vibratorio manual de placa.

## **PROCEDIMIENTO**

Para realizar este trabajo, se procederá de la siguiente manera:

- a) Se remueve la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria para alcanzar un apoyo firme, extendiéndose al menos 30 cm en el pavimento sano, fuera de área agrietada. Esto puede significar que parte del material de la subrasante también tendrá que ser removido. Hágase el corte cuadrado o rectangular, con caras rectas y verticales.
- b) Si el agua es la causa de la falla, se instalan drenajes.
- c) Se aplica una capa de pega a las caras verticales.
- d) Para obtener los mejores resultados, se rellena el hueco con la mezcla asfáltica densamente graduada, mezclada en caliente en planta para evitar la segregación de la mezcla, extendiéndose cuidadosamente. Si no se dispone de mezcla asfáltica se pueden hacer el relleno con un buen material granular de base. Parte del material de la superficie y de la parte superior de la base removida del hueco, desmenuzado en pequeños pedazos y mezclados completamente, puede colocarse en el fondo del hueco.
- e) Si el hueco tiene más de 15 cm de profundidad, se debe compactar en capas, compactándose cada capa perfectamente. La compactación debe realizarse con el equipo más apropiado al tamaño del trabajo.
- f) Cuando la mezcla asfáltica se coloca directamente sobre la subrasante, no se requiere imprimación.
- g) Si se emplea una base granular, entonces debe ser imprimada. La reparación se completa luego colocando mezcla asfáltica mezclada en caliente en planta y compactándola hasta dejarla a ras con la superficie adyacente. Si no se dispone de mezcla asfáltica en caliente, se puede utilizar material mezclado en planta usando asfalto líquido.
- h) Utilice una regla o un alambre para verificar las cualidades de rodamiento y el alineamiento del bache.

## **PRECIO UNITARIO**

DATOS GENERALES					
PROYECTO :					
Actividad :		Bacheo Profundo Mezcla en Caliente C.A.			
Cantidad :					
Unidad :		m2			
Moneda :		Bolivianos			
1.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
4	ASFALTO DILUIDO MC -800	LT	0.8000	12.0000	9.60
1	MEZCLA ASFÁLTICA PARA BACHEO EN CALIENTE	M3	0.0650	1640.0000	106.60
<b>TOTAL MATERIALES:</b>					<b>116.20</b>
2.- MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
8	SUPERINTENDENTE DE OBRAS	HH	0.2000	53.5000	10.70
19	OPERADOR A	HH	0.0150	25.0000	0.38
20	OPERADOR B	HH	0.2000	16.5000	3.30
21	CHOFER	HH	0.0500	12.5000	0.63
26	PEON	HH	1.2000	10.0000	12.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA:</b>					<b>27.00</b>
			CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% a 171.18%)	63.09%	17.03
			MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)	14.94%	6.58
<b>TOTAL MANO DE OBRA:</b>					<b>50.61</b>
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
14	CAMIÓN VOLQUETE A DIESEL <= 8 M3	HM	0.0500	45.0000	2.25
13	COMPACTADOR RODILLO LISO AUTOPROPULSADO	HM	0.0150	320.0000	4.80
41	MARTILLO NEUMÁTICO Y ROMPE ASFALTOS	HM	0.1000	145.0000	14.50
29	COMPRESORA DE CAMPO DE 230 A 600 CFM	HM	0.1000	250.0000	25.00
31	COMPACTA VIBRATORIO MANUAL DE PLACA	HM	0.0300	85.0000	2.55
			HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)	50.6130	5.00%
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:</b>					<b>51.63</b>
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					<b>Costo Total</b>
		GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3	%	218.4437	15.00%
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS:</b>					<b>32.77</b>
5.- UTILIDAD					
					<b>Costo Total</b>
		UTILIDAD = % DE 1+2+3+4	%	2512.102	10.00%
<b>TOTAL UTILIDAD:</b>					<b>25.12</b>
6.- IMPUESTOS					
					<b>Costo Total</b>
		IMPUESTOS IT = % DE 1+2+3+4+5	%	276.3312	3.09%
<b>TOTAL IMPUESTOS:</b>					<b>8.54</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>					<b>284.87</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>					<b>284.87</b>

**Cuadro 32. Costo Unitario Bacheo Profundo.**  
**Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarja**

**REPARACIÓN RECOMENDADA**

Para las fallas Piel De Cocodrilo y Punzonamiento de severidad leve y media.

**Bacheo superficial (reparación provisional) para superficies con grietas de más de tres milímetros de ancho.**

#### **PERSONAL**

- Superintendente de obras.
- Operador a.
- Operador b.
- Chofer.
- Peón.

#### **EQUIPO**

- Camión volquete a diesel  $\leq 8m^3$ .
- Compactador de rodillo liso autopropulsado.
- Martillo neumático y rompe asfaltos.
- Compresora de campo de 230 a 600 cfm.
- Compactador vibratorio manual de placa.

#### **PROCEDIMIENTO**

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- a) Se abre una zanja poco profunda alrededor del área que se va a bachear, en forma tal que los bordes resulten con caras verticales.
- b) Se limpian el área agrietada barriéndola con cepillos y si es necesario con aire comprimido.
- c) Se usa el cepillo para extender sobre las grietas, material asfáltico de gradación fina, mezclado en planta.
- d) Se compacta con un compactador vibrante plano, o se apisona con las ruedas traseras de un camión cargado.
- e) Se aplica una capa de pega.
- f) Se coloca un parche delgado con material asfáltico mezclado en caliente en planta. Si no se dispone de esta material, se utiliza mezcla con asfalto líquido. Antes de compactar deben limpiarse los bordes cuidadosamente, removiendo las partículas gruesas con un raspador y un rastrillo.
- g) Se compacta el parche con un compactador vibrante plano. Si no se dispone de ninguno de ellos, la compactación podrá realizarse con las ruedas del camión que transporta la mezcla.

#### **PRECIO UNITARIO**

DATOS GENERALES					
PROYECTO :					
Actividad :		Bacheo Superficial Mezcla en Caliente T.S.			
Cantidad :		0.00			
Unidad :		m2			
Moneda :		Bolivianos			
1.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
4 ASFALTO DILUIDO MC -800	LT	0.6000	12.0000	7.20	
1 MEZCLA ASFÁLTICA PARA BACHEO EN CALIENTE	M3	0.0450	1640.0000	73.80	
<b>TOTAL MATERIALES:</b>				<b>81.00</b>	
2.- MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
8 SUPERINTENDENTE DE OBRAS	HH	0.2000	53.5000	10.70	
19 OPERADOR A	HH	0.0120	25.0000	0.30	
20 OPERADOR B	HH	0.3300	16.5000	5.45	
21 CHOFER	HH	0.0500	12.5000	0.63	
26 PEON	HH	12000	10.0000	12.00	
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA:</b>				<b>29.07</b>	
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% a 171.18%)			63.09%	18.34	
IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)			4.94%	7.08	
<b>TOTAL MANO DE OBRA:</b>				<b>54.49</b>	
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
14 CAMIÓN VOLQUETE A DESEL <= 8 M3	HM	0.0500	45.0000	2.25	
13 COMPACTADOR RODILLO LSO AUTOPROPULSADO	HM	0.0120	320.0000	3.84	
41 MARTILLO NEUMÁTICO Y ROMPE ASFALTOS	HM	0.1000	145.0000	14.50	
29 COMPRESORA DE CAMPO DE 230 A 600 CFM	HM	0.1000	250.0000	25.00	
31 COMPACTA VIBRATORIO MANUAL DE PLACA	HM	0.0300	85.0000	2.55	
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)	%	54.4934	5.00%	2.72	
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:</b>				<b>50.86</b>	
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				<b>Costo Total</b>	
GASTOS GENERALES = % DE 1+2 +3		%	186.3580	15.00%	27.95
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS:</b>				<b>27.95</b>	
5.- UTILIDAD					
				<b>Costo Total</b>	
UTILIDAD = % DE 1+2 +3 +4		%	214.3117	10.00%	21.43
<b>TOTAL UTILIDAD:</b>				<b>21.43</b>	
6.- IMPUESTOS					
				<b>Costo Total</b>	
IMPUESTOS IT = % DE 1+2 +3 +4 +5		%	235.7429	3.09%	7.28
<b>TOTAL IMPUESTOS:</b>				<b>7.28</b>	
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>				<b>243.03</b>	
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>				<b>243.03</b>	

*Cuadro 33. Costo Unitario Bacheo Superficial.  
Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarja*

**FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES**

Descripción: Las Fisuras longitudinales son paralelas al eje del pavimento o a la dirección de construcción y pueden ser causadas por, una junta de carril del pavimento pobremente construida, contracción de la superficie de concreto asfálticos debido a bajas temperaturas o al endurecimiento del asfalto o al ciclo diario de temperatura.

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

### **GRIETAS DE DURABILIDAD.**

Descripción: Las grietas de durabilidad “D” son causadas por la expansión de los agregados grandes debido al proceso de congelamiento y descongelamiento, el cual, con el tiempo, fractura gradualmente el concreto. Usualmente, este daño aparece como un patrón de grietas paralelas y cercanas a una junta o a una grieta lineal. Dado que el concreto se satura cerca de las juntas y las grietas, es común encontrar un depósito de color oscuro en las inmediaciones de las grietas “D”. Este tipo de daño puede llevar a la destrucción eventual de la totalidad de la losa.

### **GRIETAS EN LOS BORDES**

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

### **REPARACIÓN RECOMENDADA**

Para las fallas Fisuras Longitudinales y Transversales Grietas De Durabilidad y en los Bordes de severidad leve, media y alta.

### **Sellado De Fisuras Y Grietas**

**PERSONAL**

- Superintendente de obras.
- Operador a.
- Operador b.
- Chofer.
- Peón.

**EQUIPO**

- Camión volquete a diesel  $\leq 8m^3$ .
- Compactador de rodillo liso autopropulsado.
- Compresora de campo de 230 a 600 cfm.
- Calentador de asfaltos.
- Distribuidor de arena.
- Sierra circular.

**PROCEDIMIENTO**

Para realizar este trabajo, se procede de la siguiente manera:

- a) Se limpia el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- b) Se rellena las grietas con lechada de emulsión o asfalto líquido, mezclado con arena, enjugando con una escobilla de goma.
- c) Se aplica una capa de pega.
- d) Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico en caliente. Se comprueba la nivelación con una regla.
- e) El parche terminado se compacta hasta emparejarlo con la superficie circundante.

**PRECIO UNITARIO**



DATOS GENERALES					
PROYECTO :					
Actividad :		Sellado de Fisuras y Grietas			
Cantidad :		0.00			
Unidad :		m			
Moneda :		Bolivianos			
1.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
86 ASFALTO MODIFICADO	LT	3.6000	6.0000	21.60	
87 SELLANTE	M	1.000	3.5000	3.85	
88 ARENA FINA	M3	0.0002	150.0000	0.03	
<b>TOTAL MATERIALES:</b>				<b>25.48</b>	
2.- MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
8 SUPERINTENDENTE DE OBRAS	HH	0.0200	53.5000	1.07	
19 OPERADOR A	HH	0.0010	25.0000	0.03	
20 OPERADOR B	HH	0.0020	16.5000	0.03	
21 CHOFER	HH	0.0015	12.5000	0.02	
26 PEON	HH	0.1000	10.0000	1.00	
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA:</b>				<b>2.15</b>	
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 171.8%)			63.09%	1.35	
NO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)			14.94%	0.52	
<b>TOTAL MANO DE OBRA:</b>				<b>4.02</b>	
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
14 CAMIÓN VOLQUETE A DIESEL <= 8 M3	HM	0.0015	45.0000	0.07	
13 COMPACTADOR RODILLO LISO AUTOPROPULSADO	HM	0.0010	320.0000	0.32	
29 COMPRESORA DE CAMPO DE 230 A 600 CFM	HM	0.0005	250.0000	0.13	
30 CALENTADOR DE ASFALTOS	HM	0.0005	320.0000	0.16	
33 DISTRIBUIDOR DE ARENA	HM	0.0005	20.0000	0.01	
67 SIERRA CIRCULAR	HM	0.0005	20.0000	0.01	
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)		%	4.0242	5.00%	0.20
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:</b>				<b>0.89</b>	
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				Costo Total	
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3		%	30.3979	15.00%	4.56
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS:</b>				<b>4.56</b>	
5.- UTILIDAD					
				Costo Total	
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4		%	34.9576	10.00%	3.50
<b>TOTAL UTILIDAD:</b>				<b>3.50</b>	
6.- IMPUESTOS					
				Costo Total	
IMPUESTOS IT = % DE 1+2+3+4+5		%	38.4534	3.09%	1.19
<b>TOTAL IMPUESTOS:</b>				<b>1.19</b>	
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>				<b>39.64</b>	
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>				<b>39.64</b>	

**Cuadro 34. Costo Unitario Sellado de Fisuras y Grietas.**  
**Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarja**

**LIMPIEZA DE CUNETAS Y ALCANTARILLAS**

Descripción. Esta labor se ejecuta para mantener las cunetas y alcantarillas, libres de todo tipo de obstáculos que dificulten o impidan el paso del agua. Se trata de mantener limpia la zona de entrada, el interior y salida de la obra de drenaje.

Todos los materiales recogidos o extraídos deben colocarse en zonas aledañas o transportarse a sitios alejados donde no perjudiquen o queden en posibilidad de volver a interferir en el buen funcionamiento del drenaje. En todo caso está prohibida la incineración de los desechos.

## **MEJORA RECOMENDADA**

### **Limpieza De Cunetas Y Alcantarillas**

#### **PERSONAL**

- Albañil.
- Peón.

#### **EQUIPO**

Herramientas menores.

- Pala.
- Pico.
- Carretilla.
- Azadón.

#### **PROCEDIMIENTO**

- a) Las cunetas y alcantarillas se deben mantener libres de obstrucciones, removiendo todo material que obstaculice el regular flujo del agua, en tal sentido se efectuara el retiro de piedras, basura y ramas que existan en el interior de cada obra de drenaje.
- b) Se acumula todo el material extraído, y su eliminación se efectuara en un botadero apropiado.
- c) La labor de limpieza deberá efectuarse sin causar daño a la tubería de la alcantarilla ni a sus estructuras extremas como ser: cajas (tomas), cabezales de entrada y salida.

#### **PRECIO UNITARIO**

DATOS GENERALES					
	PROYECTO :				
	Actividad :	Limpieza de Cunetas			
	Cantidad :	0.00			
	Unidad :	m			
	Moneda :	Bolivianos			
1.- MATERIALES					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
<b>TOTAL MATERIALES:</b>					<b>0.00</b>
2.- MANO DE OBRA					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
24	ALBAÑIL	HH	0.1500	17.5000	2.63
26	PEON	HH	0.1500	10.0000	1.50
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA:</b>					<b>4.13</b>
	% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA (55% al 71.18%)			63.09%	2.60
	UBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)			14.94%	0.62
<b>TOTAL MANO DE OBRA:</b>					<b>7.34</b>
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total
	HERRAMIENTAS	%	7.3437	5.00%	0.37
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:</b>					<b>0.37</b>
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
					Costo Total
	GASTOS GENERALES	%	7.3437	15.00%	1.10
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS:</b>					<b>1.10</b>
5.- UTILIDAD					
					Costo Total
	UTILIDAD = % DE	%	8.8125	10.00%	0.88
<b>TOTAL UTILIDAD:</b>					<b>0.88</b>
6.- IMPUESTOS					
					Costo Total
	IMPUESTOS IIT = %	%	9.6937	3.09%	0.30
<b>TOTAL IMPUESTOS:</b>					<b>0.30</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>					<b>9.99</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>					<b>9.99</b>

**Cuadro 35. Costo Unitario Limpieza de Cunetas**  
**Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarja**

DATOS GENERALES					
	PROYECTO :				
	Actividad :	Limpieza de Alcantarillas			
	Cantidad :	0.00			
	Unidad :	m3			
	Moneda :	Bolivianos			
1.- MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
<b>TOTAL MATERIALES:</b>				<b>0.00</b>	
2.- MANO DE OBRA					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
24	ALBAÑIL	HH	2.2200	17.5000	38.85
26	PEON	HH	1.5000	10.0000	15.00
<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA:</b>				<b>53.85</b>	
	% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% a 171.18%)		63.09%	33.97	
	UBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14.94%	8.05	
<b>TOTAL MANO DE OBRA:</b>				<b>95.87</b>	
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Productivo	Costo Total	
	HERRAMIENTAS	%	95.8692	5.00%	4.79
<b>TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS:</b>				<b>4.79</b>	
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				Costo Total	
	GASTOS GENERALES	%	95.8692	15.00%	14.38
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS:</b>				<b>14.38</b>	
5.- UTILIDAD					
				Costo Total	
	UTILIDAD = % DE	%	115.0430	10.00%	11.50
<b>TOTAL UTILIDAD:</b>				<b>11.50</b>	
6.- IMPUESTOS					
				Costo Total	
	IMPUESTOS IT = %	%	126.5473	3.09%	3.91
<b>TOTAL IMPUESTOS:</b>				<b>3.91</b>	
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)</b>				<b>130.46</b>	
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)</b>				<b>130.46</b>	

**Cuadro 36. Costo Unitario Limpieza de Alcantarillas.**  
**Fuente: Honorable Alcaldía Municipal de Tarja**

## 5 CONCLUSIONES

- La evaluación superficial del pavimento AVENIDA CIRCUNVALACIÓN de la ciudad de TARIJA de acuerdo a los indicadores de estado, Índice de Condición de Pavimento (PCI), Índice de Rugosidad Internacional (IRI) se obtuvo los resultados de; PCI = 44 que corresponde a un estado de pavimento regular, IRI = 8.51 que corresponde a un estado del pavimento deteriorado.

		ESTADO DEL PAVIMENTO
PCI	44	REGULAR
IRI	8.51	PAVIMENTO DETERIORADO

**Cuadro 37. Resumen de resultados PCI IRI.**

**Fuente: Elaboración propia**

- Se estableció la relación que tienen los indicadores de estado Índice de Condición de Pavimento (PCI), Índice de Rugosidad Internacional (IRI) con el Índice de Seviciabilidad presente (PSI).

MÉTODO DE EVALUACIÓN		PCI	IRI (m/Km)	PSI	DESCRIPCIÓN (PSI)
PCI	(ÍNDICE DE CONDICIÓN DEL PAVIMENTO)	44		1.3	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro
IRI	(ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL)		5.18	1.13	El pavimento muestra algunos tramos con los primeros vestigios de deterioro.

**Cuadro 38. Resumen de resultados PSI.**

**Fuente: Elaboración propia**

- En la evaluación del índice de condición de pavimento PCI las fallas más frecuentes encontradas son el daño de Sello de junta, Descascaramiento de Junta y Grietas de Durabilidad, con los tres niveles de severidad presentes. Las 46 unidades evaluadas presentan estos tres tipos de falla, con densidades variables.

- Se determinó la macro textura de la superficie del pavimento AVENIDA CIRCUNVALACIÓN mediante el ensayo del círculo de arena cuyo resultado fue  $SP = 81$  Km/hr que corresponde a una textura cerrada.

ENSAYO		SP (Km/hr)	DESCRIPCIÓN
SP	CÍRCULO DE ARENA	81	Textura Cerrada

**Cuadro 39. Resumen de resultados ensayo círculo de arena..**

**Fuente: Elaboración propia**

- Realizado el ensayo Péndulo de Fricción en el pavimento AVENIDA CIRCUNVALACIÓN se obtuvo el índice de fricción internacional IFI dando como resultado fue  $IFI = 0.543$  que corresponde a una calificación de regular a bueno.

ENSAYO PÉNDULO DE FRICCIÓN		IFI	DESCRIPCIÓN
IFI	ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL	0.543	De Regular a Bueno

**Cuadro 40. Resumen de resultados IFI.**

**Fuente: Elaboración propia**

- Para los resultados del Índice de fricción se analizó con la velocidad máxima permitida en la avenida Circunvalación (40 km/hr).

## RECOMENDACIONES

- En la aplicación del método del PCI (Índice de Condición del Pavimento), requiere de aspectos muy importantes como ser: la cuantificación de cada tipo de falla, asociada con su Nivel de Severidad o daño, estos datos servirán para poder efectuar una propuesta de acciones a realizar en función a las fallas superficiales presentes.
- Dentro de los ensayos realizados mediante el círculo de arena, se recomienda mantener limpio y libre de partículas las zonas donde se realizará el ensayo, ya que esto provoca error en los ensayos, además de tratar de no realizar los ensayos en superficies que cuenten con grietas o juntas como recomienda la norma.
- Dentro de los ensayos realizados con el péndulo británico, se recomienda tener muy en cuenta la nivelación del equipo, en especial de la zapata de caucho y el cuerpo del péndulo, ya que la mala nivelación trae mucha variación de los datos obtenidos, además de tener siempre la superficie del pavimento mojada que representa el caso más crítico en la obtención del coeficiente de resistencia al deslizamiento CRD.