

## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN.

#### 1.1. Generalidades

Una de las manifestaciones más evidentes de la evolución y del grado de desarrollo de una ciudad depende, principalmente, de una buena y segura infraestructura vial; capaz de soportar las necesidades de movimiento del tránsito vehicular que se demanden en la actualidad y en un futuro.

La carpeta de rodadura en condiciones buenas debe ofrecer al usuario una buena adherencia entre neumático y pavimento, siendo una de estas funciones que debe cumplir el pavimento cuando es construido.

Las cualidades de fricción en el pavimento juegan un papel muy importante dentro de la seguridad vial, avenidas y carreteras. La superficie de rodamiento debe proporcionar un adecuado nivel de fricción en la Interfaz neumático – pavimento para proveer seguridad de operación a los vehículos. Los métodos y sistemas usados a través del mundo para medición de textura y resistencia al deslizamiento varían significativamente en el resto del mundo.

Por lo expuesto el presente trabajo pretende hacer un análisis de fricción a través del tiempo de servicio de las Calles y Avenidas de la ciudad de Tarija, con la cual se pretende medir el Índice de Fricción Internacional (IFI), a través de métodos indirectos los cuales son el Péndulo Británico y la Mancha de Arena, de tal manera que a través de este indicador de estado se evalúe y catalogue las superficie de rodado de las avenidas de la Ciudad de Tarija, como también verificar la evolución de este indicador de estado con el transcurso del tiempo.

Para cumplir este objetivo se medirá el (CRD) coeficiente de resistencia al deslizamiento, como también el método del Mancha de arena para medir la textura de la carpeta de rodado.

## **1.2. Justificación.**

El crecimiento acelerado del parque automotor en los últimos años en nuestra ciudad de Tarija, trajo consigo también demandas de calles y avenidas resistentes, como así también carpeta de rodadura que brinden al usuario una buena comodidad, seguridad y confort al hacer uso de ellas.

La adecuada adherencia entre neumático y pavimento es una funcionalidad del pavimento, que con el paso del tiempo que estuvo al servicio se va perdiendo, debido al pulido repetido de los vehículos, lo que se pretende medir es este parámetro de fricción para verificar el estado en el que se encuentra, asíéndonos una hipótesis de que mientras más tiempo estuvo al servicio del usuario menos fricción tendrá este pavimento como así también que mientras menos tiempo estuvo al servicio del usuario tendrá una mayor fricción.

Lo que se pretende con este trabajo de aplicación es valorar y medir el índice de fricción internacional (IFI) actual de la vía, a través de dos ensayos el primero midiendo el coeficiente de resistencia al deslizamiento y el segundo es la mancha de arena, con el cual podremos verificar si este es un factor que afecta para que los pavimentos presentes deterioros a lo largo de su vida útil.

Realizando así un análisis del comportamiento del pavimento según el índice de fricción internacional, podremos encontrar si entre estas dos variables X (tiempo) y Y (IFI), existe alguna correlación entre sí, si este fuera el caso podremos ajustar a una ecuación que relacione esta dos variables.

Teniendo una ecuación ajustada podremos contar con información real de la variación de fricción de los pavimentos flexibles de la ciudad de Tarija, esta información podría ser útil a los encargados del mantenimiento para evaluar los pavimentos con cierto deterioro superficial.

## **1.3 Diseño teórico.**

### **1.3.1. Planteamiento del problema.**

#### **1.3.1.1. Situación Problemática.**

La ciudad de Tarija en los últimos años ha tenido un crecimiento acelerado del parque automotor, en el año 2005 se tenía un total de 28.612 vehículos en la ciudad y en el año 2015 se tiene que esa cifra creció al 87.301, teniendo un crecimiento del 305.12 % en el transcurso de los últimos 10 años, según el instituto nacional de estadística (INE).

Habiendo verificado que existe un elevado crecimiento de los vehículos en nuestra ciudad creemos que este crecimiento acelerado está trayendo consigo ciertos daños a nuestros pavimento urbanos, debido al elevado número de veces que circula un motorizado esto provoca fricción entre el neumático y el pavimento, ocasionando desgaste del árido y pulimiento, ocasionando que no exista una buena adherencia entre el neumático con el pavimento.

Esta problemática de los pavimentos si no se realizan una valoración o evaluación oportuna va creciendo cada vez más, llegando a ser un problema mayor lo que ocasionara un mayor costo de refacción de la carpeta de rodadura.

Lo que se pretende hacer en este trabajo de aplicación es utilizar el parámetro de estado que es el IFI, para hacer una valoración de la carpeta de rodadura de los pavimentos urbanos, para así poder evaluarlos en qué estado se encuentre después de años de servicio al usuario, al saber el estado podremos catalogarlo y calificarlo según la escala IFI propuesta por el estudio PIARC.

De esta manera cuando se quiera hacer un mantenimiento oportuno se cuente con información técnica para la misma y no esperar que el pavimento esté gravemente deteriorado para recién aplicarle el mantenimiento que muchas veces es más costosos que un mantenimiento preventivo de la superficie de rodado.

De esta manera aplicaremos un método muy poco usado por los encargados del mantenimiento de vías urbanas en la ciudad de Tarija, que a la vez puede servir como alternativa de evaluación de la superficie de rodado de los pavimentos flexibles de la Ciudad de Tarija.

### **1.3.2. Problema.**

¿La pérdida de adherencia en los pavimentos flexibles de la provincia Cercado Tarija, a través del tiempo de servicio afectara su condición inicial de la superficie de rodado?

### **1.3.3. Objetivos.**

#### **1.3.3.1. Objetivo General.**

Realizar un análisis del efecto que ocasiona la fricción en las superficies de los pavimentos flexibles de diferentes edades a través del indicador de estado IFI, aplicado en diferentes tramos de las vías urbanas de la ciudad de Tarija.

#### **1.3.3.2. Objetivos Específicos.**

- Analizar los principios y bases del indicador de estado IFI en pavimentos flexibles.
- Analizar los factores que intervienen en la fricción de pavimentos flexibles.
- Solicitar a la autoridad correspondiente información sobre la edad de los pavimentos flexibles que se encuentren en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija.
- Realizar los ensayos con el péndulo británico para obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) del pavimento flexible.
- Realizar los ensayos con el círculo de arena para determinar la textura de los pavimentos flexibles en estudio.
- Realizar teoría de errores de los datos obtenidos en campo con el péndulo británico y el ensayo de círculo de arena, para ver si son confiables estadísticamente.
- Determinar los valores de fricción utilizando el modelo PIARC (Asociación Internacional Permanente de Congreso de Carreteras), el mismo considera los parámetros de resistencia al deslizamiento (Péndulo Británico) y la textura del pavimento (Círculo de arena).

- Verificar la confiabilidad de los resultados, que se encuentren dentro de los rangos mínimos que puede aceptar el modelo (método PIARC).
- Realizar un análisis de resultados en función al tiempo de servicio de los pavimentos
- Realizar las conclusiones y recomendaciones del trabajo de aplicación.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

“Cuál será el desgaste de la superficie del pavimento flexible en el transcurso de los años de servicio ocasionado por el efecto del tránsito de los vehículos”

#### **1.5. FORMULACIÓN DE VARIABLES**

- **Variable Independiente:** Índice de Fricción Internacional como indicador de estado
- **Variable Dependiente:** Pavimentos Flexibles, Textura del pavimento, condición actual del pavimento.

#### **1.6. ALCANCE.**

El siguiente trabajo de aplicación tendrá como alcance el de realizar una evaluación superficial de la carpeta de rodadura mediante el (coeficiente de resistencia al deslizamiento) y (ensayo del círculo de arena), de las diferentes calles, avenidas de la ciudad de Tarija.

Con el resultado de la evaluación se podrá verificar la evolución o disminución de este parámetro de estado, constatando así si estos pavimentos requieren o no mantenimiento de la superficie de rodado.

#### **1.7. Diseño Metodológico.**

##### **1.7.1. Unidad de estudio.**

Calles y Avenidas de la ciudad de Tarija.

##### **1.7.2. Población.**

Pavimentos flexibles de la ciudad de Tarija.

### 1.7.3. Muestra.

Pavimentos Flexibles de la ciudad de Tarija con diferentes edades.

Para la identificación de los tramos para el estudio se hizo la inspección visual de cada uno de ellos, los mismos que mostraban cierto pulimiento o deterioro superficial leve, de estos tramos se solicitó al Gobierno Autónomo Municipal de Tarija la información de la edad de los pavimentos, los cuales de todo lo solicitado se nos brindó 20 tramos entre calles y avenidas con diferente años de ejecución.

Una vez que contamos con los tramos se seleccionó solo 15 tramos entre calles y avenidas, esto debido a que se repetía algunas edades en algunos tramos, esta lista de tramos se los describe en el capítulo III.

### 1.7.4. Tratamiento Estadístico.

En el presente trabajo de aplicación se manejara el método estadístico no probabilístico, sacando valores promedios de los ensayos a realizarse en campo con los equipos mencionados para el cálculo del IFI. Cabe mencionar que solo se saca el valor promedio de los ensayos debido a que se mide de manera directa la resistencia al deslizamiento y el espesor de la textura del pavimento, no aplicando así otros parámetros de la estadística como la desviación, moda, etc.

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:

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

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.

Para sacar la media de los valores de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico, pueden sumarse todos y dividirlo entre el número de lecturas; o bien, eliminar el término más alto y el más bajo, y con las lecturas restantes obtener la media.

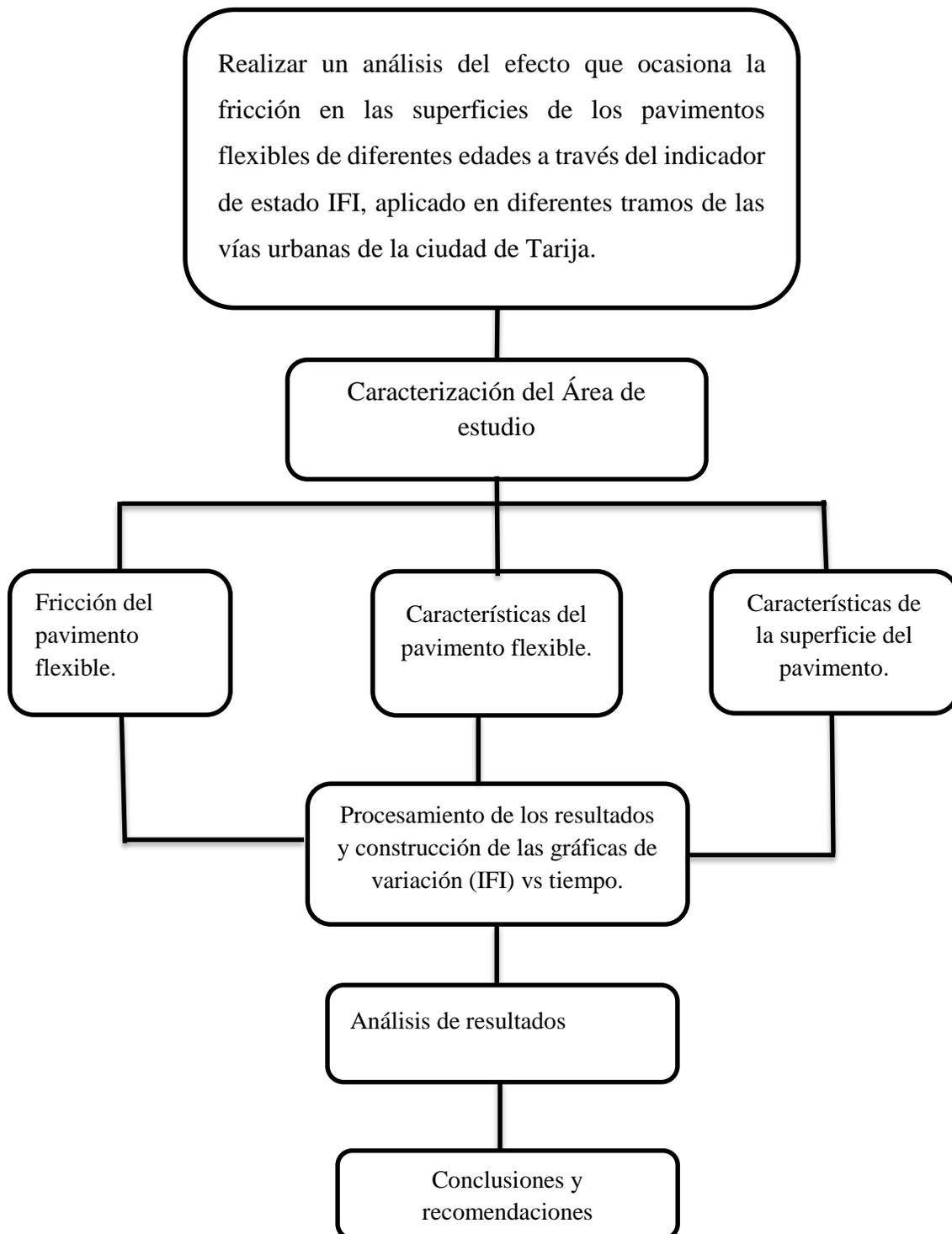
Esta última operación es más recomendable para evitar que algún valor que se sale de rango afecte significativamente los resultados.

En los valores obtenidos de la Macrotextura con el círculo de arena, puede tomarse el mismo criterio. Más si los valores presentan poca dispersión, puede tomarse el promedio de todos los datos.

Luego se procederá a realizar la teoría de errores para así dar confiabilidad estadística a los datos obtenidos en campo.

Se recomienda que sea una sola persona la que realice los ensayos y se entrene previamente para que logre una similitud en resultados, siguiendo adecuadamente los procedimientos indicados en los manuales de los equipos.

### 1.7.5. Métodos y técnicas empleadas.



### **1.7.6. Técnicas.**

Las técnicas en este trabajo de aplicación son experimentales.

- Experimentales porque se realizarán ensayos de medición con un instrumento en campo, llamado péndulo de fricción y el círculo de Arena.

### **1.8. Medios.**

Para la ejecución del proyecto de aplicación se utilizarán los siguientes medios:

- Plano de la ciudad de Tarija.
- Péndulo de Fricción.
- Cilindro con volumen conocido.
- Esparcidor de superficie lisa.
- Protector de viento.
- Brocha para limpieza.
- Bote de agua a presión, para Humedecer la superficie.
- Conos de Señalización.
- Chaleco de Señalización.
- Fluxómetro.
- Regla milimétrica.
- Cuaderno de notas.
- Cámara Fotográfica.

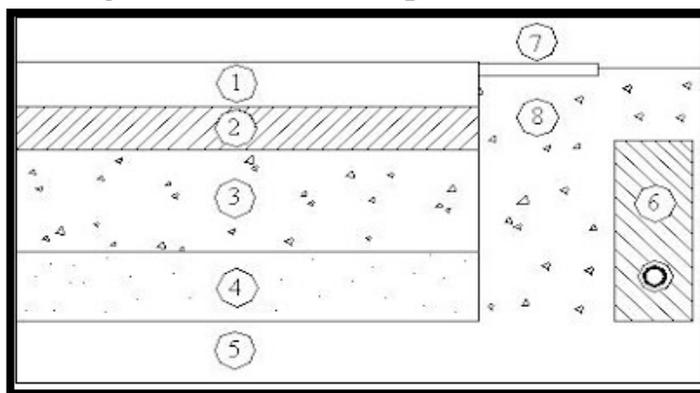
## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y SU DETERIORO EN FRICCIÓN A TRAVÉS DEL TIEMPO.

#### 2.1. Definición.-

La palabra pavimento proviene del latín (pavimentum), el pavimento está constituido por capas superpuestas, relativamente horizontales que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados, y adecuadamente compactados. Estas estructuras de estratos se apoyan sobre una sub rasante obtenida mediante el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito que le transmiten durante el periodo de la vida útil para el cual fue diseñada la estructura del pavimento<sup>1</sup>.

**Fig. 1. Estructura de un pavimento flexible**



*Fuente: Instituto tecnológico de aeronáutica, Brasil*

Donde:

1. Capa de Rodadura
2. Capa Base
3. Capa Sub-base
4. Suelo Compactado

---

<sup>1</sup> **Gonzalo Álvarez barriga** (EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL TRAMO "PUERTA DEL CHACO – CARLAZO"- DICIEMBRE DE 2013

5. Sub rasante
6. Sub-drenaje longitudinal
7. Revestimiento de Bermas
8. Sub-base de Bermas

### **2.1.1. Características de un Pavimento.-**

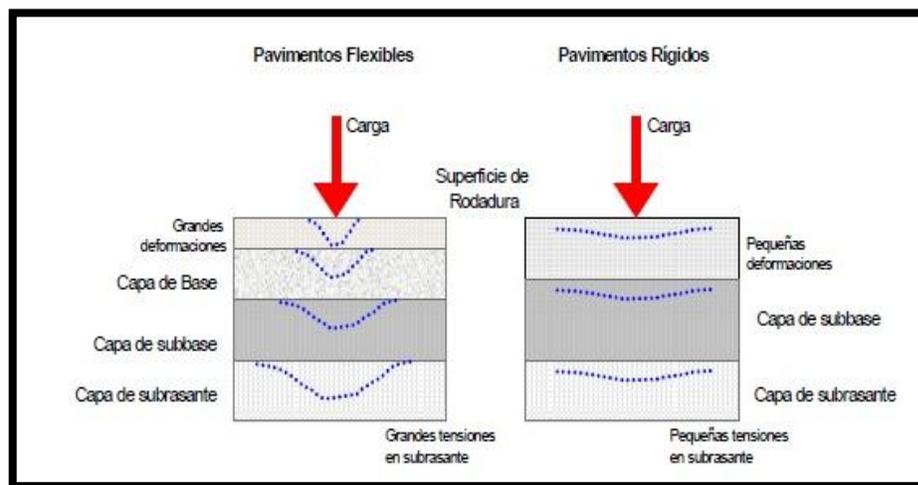
Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir los siguientes requisitos:

- Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tráfico.
- Resistir ante los agentes del intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios en función a las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de diseño.
- Debe ser durable.
- Debe presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.
- La sonoridad en el interior del vehículo que afecta al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser moderada.
- Debe ser económico
- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

## 2.2. Tipos de Pavimentos

Los pavimentos se clasifican en dos grandes grupos: Los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos, presentan notables diferencias en sus características, pero desde el punto de vista mecánico la más importante es la transmisión de cargas como se muestra en la figura 2.

**Fig. 2. Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos**



*Fuente: 4.bp.blogspot.com*

### 2.2.1. Pavimentos Flexibles

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, no obstante puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades de cada obra y de la calidad de la sub rasante<sup>2</sup>.

El pavimento debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las capas subyacentes los esfuerzos por las cargas del tránsito.

<sup>2</sup> Gonzalo Álvarez barriga (EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL TRAMO "PUERTA DEL CHACO – CARLAZO" - DICIEMBRE DE 2013

### **2.2.1.1. Características de los pavimentos flexibles**

Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- Resistencia estructural
- Deformabilidad
- Durabilidad
- Costo
- Requerimientos de conservación
- Comodidad

#### **2.2.1.1.1. Resistencia estructural**

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los esfuerzos producidos por la aceleración, el frenado de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura

#### **2.2.1.1.2. Deformabilidad**

Una de las propiedades de un pavimento flexible, como su nombre lo indica es la capacidad de deformarse y restituirse a su forma original ante la repetición de las cargas actuantes

#### **2.2.1.1.3. Durabilidad**

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se desee dar a un camino, depende de la importancia del mismo. Es más económico realizar mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones que un pavimento nuevo

#### **2.2.1.1.4. Costo**

Al ser este un tipo de pavimento que para la conformación de su estructura utiliza material pétreo de acceso local y que para su carpeta de rodadura pueden utilizarse mezclas fabricadas in situ, además que los espesores de la capa superficial son reducidos en relación a los de un pavimento rígido, resulta económico siempre y cuando se realicen las obras de conservación necesarias para garantizar y extender la vida útil del pavimento flexible.

#### **2.2.1.1.5. Requerimientos de conservación**

Los factores climáticos tienen gran influencia en la vida de un pavimento, otro factor es la intensidad del tránsito, debe preverse el crecimiento futuro. Debe tomarse en cuenta el comportamiento futuro de las capas estructurales, la degradación de las mismas por la repetición de las cargas, deformaciones y derrumbes. La falta de conservación sistemática reduce la vida de un pavimento flexible.

#### **2.2.1.1.6. Comodidad**

Tendrá una superficie final suave uniforme y regular, resistente al deslizamiento, resistente al rozamiento y que no produzca sonidos molestos en el interior del vehículo del usuario ni en el exterior al entorno.

### **2.2.2. Pavimentos Rígidos**

Los pavimentos rígidos son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de un elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en un área muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido de la resistencia de las losas, y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

## **2.3. Componentes de un Pavimento Flexible**

### **2.3.1. Carpeta Asfáltica**

La carpeta asfáltica es una de las capas que componen el paquete estructural, está situada sobre una o más capas estructurales preparadas, está elaborada con material pétreo y un producto asfáltico, el espesor de esta capa puede variar desde menos de 25 mm. Hasta más de 75 mm. Dependiendo de una gran variedad de factores y circunstancias de diseño, construcción y mantenimiento. Su función primordial será proveer al usuario de una superficie confortable y segura para su circulación, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática, además de proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores degradando sus propiedades. Además evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Una de las principales ventajas de los pavimentos asfálticos es la economía asegurada por el uso de materiales disponibles localmente.

#### **2.3.1.1. Tipos de carpetas asfálticas**

Existen varios tipos de carpetas utilizadas en nuestro medio, pueden clasificarse de la siguiente manera:

- **Tratamiento superficiales**
  - Simple o de un riego
  - Doble o de dos riegos
  - Triple o de tres riegos
- **Macadam asfáltico**
- **Mezcla en el lugar**
  - Elaborado con moto niveladora
  - Elaborado con mezcladora ambulante

- **Mezcla en planta**

Para la construcción de cualquiera de las carpetas asfálticas mencionadas anteriormente, se debe contar con una base debidamente conformada, compactada, imprimada y seca.

La imprimación consiste en barrer la base para retirar las partículas sueltas y el exceso de polvo en la superficie, inmediatamente realizado este procedimiento se procede al riego de producto asfáltico de fraguado medio, luego deben esperarse por lo menos dos días para que el líquido penetre y seque.

#### **2.3.1.1.1. Tratamiento superficial simple**

El riego superficial simple consiste en un riego de material asfáltico cubierto de agregado pétreo de baja gradación, el mismo que es nivelado y compactado. Esta carpeta es aconsejable para bajas densidades de tráfico, inferior a 200 vehículos por día.

#### **2.3.1.1.2. Tratamiento superficial doble**

El tratamiento superficial doble es similar al anterior, cambian las cantidades de material y en algún caso los materiales, además de agregarse otro riego superficial y de agregados que son nivelados y compactados. Este tipo de carpeta es aconsejable para un tráfico menor a los 600 vehículos por día.

#### **2.3.1.1.3. Tratamiento superficial triple**

El tratamiento superficial triple consiste en un tratamiento superficial simple con cantidades de asfalto y agregado pétreo en mayor cantidad que uno normal, sobre el cual se aplica un tratamiento superficial doble, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Este tipo de tratamiento puede resistir un tráfico de 1000 vehículos por día.

#### **2.3.2. Cementos asfálticos (AC)**

Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub-clasificar bajo tres sistemas diferentes: viscosidad antes y después de envejecimiento y penetración. Se preparan comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 70-90, AC-60-80, AC 80-100. Los números indican la

penetración en décimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto<sup>3</sup>.

### **2.3.3. Asfaltos líquidos.**

Se producen diluyendo cemento asfáltico en algún solvente del petróleo. Se agrupan en 3 clases, dependiendo de la rapidez con que se produce la evaporación del solvente (curado del asfalto).

SC: asfaltos rebajados de curado lento

MC: asfaltos rebajados de curado medio

RC: asfaltos rebajados de curado rápido

Esta denominación se suele acompañar de un número que indica el grado de viscosidad cinemática (en centiestokes). Por ejemplo: RC-250, MC-70.

### **2.3.4. Emulsiones asfálticas.**

Se componen de dos elementos: agua y cemento asfáltico. Se utilizan en tratamientos superficiales, riegos de adherencia, mezclas abiertas, estabilización de suelos y lechadas asfálticas.

Dependiendo de la carga eléctrica de los glóbulos de asfalto, pueden ser catiónicas (C, carga +) o aniónicas (A, carga -). Dependiendo de la velocidad del rompimiento de la emulsión, se clasifican en rompimiento rápido (RR), medio (RM) o lento (RL).

### **2.3.5. Los agregados Pétreos**

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica.

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

---

<sup>3</sup> Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia ASOPAC- Bogotá 2004

## 2.4. Ciclo de vida de los pavimentos

El ciclo de vida del pavimento, sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas, las cuales se describen a continuación<sup>4</sup>:

**Construcción:** El estado del pavimento es excelente y cumple con los estándares de calidad necesarios para satisfacer a los usuarios. El costo en el que se ha incurrido hasta esta etapa es la construcción del paquete estructural

**Deterioro imperceptible:** El pavimento ha sufrido un desgaste progresivo en el transcurso del tiempo, el deterioro en esta etapa ya existe pero es poco visible y no es apreciable por los usuarios. Generalmente el mayor daño se produce en la superficie de rodadura debido al tránsito y clima. Para disminuir el deterioro o desgaste se hace necesario aplicar una serie de medidas de mantenimiento y conservación, si no se efectúan la vida útil del pavimento se reduce drásticamente. El camino sigue estando en buenas condiciones y sirviendo adecuadamente a los usuarios, el costo del mantenimiento anual esta alrededor del 0.4 a 0.6% del costo de construcción. El estado del camino varía desde excelente a regular.

**Deterioro acelerado:** Después de varios años, los elementos del pavimento están cada vez más deteriorados, la resistencia al tránsito se ve reducida. La estructura básica del pavimento está dañada, esto lo podemos constatar por las fallas visibles en la superficie de rodadura. Esta etapa es corta, ya que la destrucción es bastante acelerada. El estado del camino varía desde regular hasta muy pobre<sup>5</sup>.

**Deterioro total:** Esta etapa puede durar varios años y constituye el desgaste completo del pavimento. La transitabilidad se ve seriamente reducida y los vehículos empiezan a experimentar daños en sus neumáticos, ejes, etc. Los costos de operación de los vehículos aumenta y la vía se hace intransitable para autos.

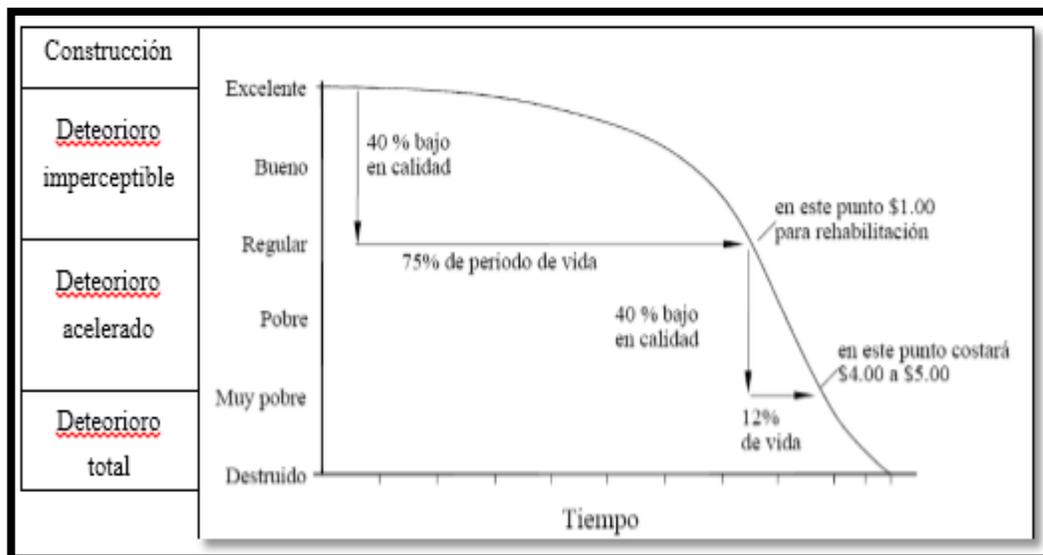
---

<sup>4</sup> Cfr.: Gamboa 2009: 12 - 13

<sup>5</sup> Cfr.: Gamboa 2009: 12 - 13

Según lo descrito líneas arriba los pavimentos sufren deterioros constantes debido a las sollicitaciones externas como la lluvia, el tránsito, etc. cuyos efectos puede resultar en un pavimento intransitable. El deterioro de un pavimento se da desde una etapa inicial, con un deterioro casi imperceptible hasta el deterioro total. Es importante resaltar que un pavimento de una condición regular hacia arriba ofrece un camino aún adecuado para los usuarios. En la siguiente figura 3 se muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos se disminuye con el tiempo.

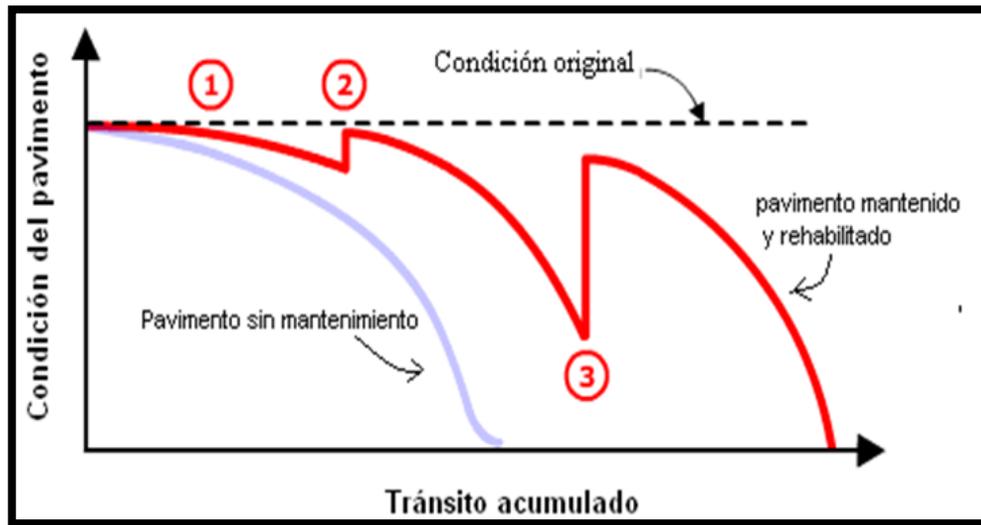
**Fig. 3. Ciclo de vida de los Pavimentos**



*Fuente: Sánchez 2012*

Es importante citar que con la ayuda del índice de serviciabilidad o el índice de condición de un pavimento se puede determinar la condición. Asimismo existen otras variables además del tiempo como el número de ejes equivalentes y el tránsito acumulado que nos permitirán graficar la degradación del pavimento. Asimismo el ciclo de vida de los pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, tal como se puede apreciar en la siguiente figura

**Fig. 4. Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación**



*Fuente: Sánchez 2012*

Se puede observar la curva gris que representa el comportamiento de un pavimento sin intervención y la de color rojo con mantenimiento y rehabilitación. En la curva roja se identificación tres puntos, los cuales se describen a continuación:

En el punto 1 el pavimento se deteriora con menor rapidez debido a trabajos de mantenimiento. En el punto 2 se aplica un trabajo inicial de rehabilitación que restauración de la condición del pavimento. Por ultimo en el punto 3 se realiza una segunda intervención de rehabilitación que restaura la mayoría de la condición original del pavimento.

En el siguiente punto se desarrollara el tema de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.

#### **2.4.1. Definición de Tiempo.**

Es la magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos, sujetos a cambio, de los sistemas sujeto a observaciones, su unidad de medida es el segundo [seg].

El tiempo es una magnitud física con la que medimos la duración o separación de acontecimientos. El tiempo permite ordenar los sucesos en secuencia, estableciendo un

pasado, un futuro y un tercer conjunto de eventos ni pasados ni futuro respecto a otro. En mecánica clásica esta tercera clase se llama “presente” y está formada por eventos simultáneos a uno dado.

El tiempo es así un desenrollar, cuyos estadios guardan entre sí la relación de un antes y un después. Cualquier anterioridad y posterioridad puede determinarse a partir de un ahora, que en sí mismo es arbitrario.

### **2.5. Evaluación de pavimentos**

La evaluación de pavimentos es una tarea muy importante, cada institución se dedica al mantenimiento y conservación de las vías (caminos, calles, autopistas), con el único propósito de detectar fallas o anomalías que pudiera presentar una determinada vía, para luego ver la alternativa de solución en caso de necesitarla, de tal forma poder seguir dando la continuidad de operación a dicha vía.

Con el transcurso del tiempo y bajo la acción del tráfico, los pavimentos empiezan a presentar deterioros, aunque a menudo el origen de los daños aparentes está en efectos de ejecución, en consecuencia, entre la información que como mínimo ha de tener una base de datos de un sistema de gestión de firmas está la relativa a los deterioros superficiales, es decir, los que pueden ser detectados mediante una inspección visual directa o mediante unos sistemas automáticos de detección visual.

Al estar en operación una obra vial, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero con el transcurso del tiempo pueden ser la causa de problemas serios en la obra vial, que aceleren su falla, por lo que para una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure la vida útil del proyecto.

En general, la evaluación de un pavimento consiste en determinar los daños existentes en éste, así como las causas de origen. Asimismo, tiene por objeto establecer un diagnóstico que permita seleccionar y proyectar la solución de mantenimiento o rehabilitación más adecuada para cada uno de los tramos homogéneos en que puede dividirse la carretera en estudio.

En la evaluación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Debe ser sistemática y permanente, a fin de detectar los daños tan pronto como se presentan y tomar de inmediato las medidas preventivas o correctivas más adecuadas.
- No se debe asumir determinadas condiciones o propiedades de los materiales, dado que esto puede impedir que se obtengan los resultados deseados.
- Se debe distinguir entre los daños que influyen en la calidad del tránsito, y aquellos que se refieren al deterioro y reducción de la capacidad de carga del pavimento.
- Condición de drenaje. La presencia de bombeo en juntas y grietas me indica que hay deficiencias en el drenaje.

### **2.5.1. Tipos de evaluación de pavimentos**

#### **2.5.1.1. Evaluación estructural**

La evaluación estructural se refiere a una apreciación de los tramos cuyo estado de deterioro ha decaído hasta un nivel en el cuál el pavimento ha reducido su capacidad de resistir cargas; y cualquier programa de mantenimiento tradicional ya no es factible. Por lo tanto, dichos tramos deben ser rehabilitados para que vuelvan a ser transitables. El principal objetivo de la evaluación estructural es determinar la capacidad estructural efectiva del pavimento existente, ya que de ella va depender que el refuerzo sea correctamente diseñado.

Hay tres maneras de determinar la capacidad estructural del pavimento existente:

- Capacidad estructural basada en la observación visual y ensayo de materiales.
- Capacidad estructural basada en ensayos no destructivos
- Capacidad estructural basada en la vida remanente.

#### **2.5.1.2. Evaluación superficial**

Se entiende por evaluación funcional o superficial a la inspección superficial realizada en una vialidad con el objeto de determinar los deterioros que afectan al usuario, pero que no comprometen la capacidad estructural del pavimento.

Existen diferentes indicadores para establecer el estado superficial de un pavimento. Cada indicador generalmente es expresado a través de fórmulas, en las que se recoge una serie de parámetros del pavimento. Para cada indicador existen tablas en las cuales se dan valores que indican en que condición se encuentra el pavimento, generalmente cada país en su norma de pavimentos establece estos límites.

Los diversos organismos internacionales que investigan los pavimentos han creado diversos índices que permiten evaluar en qué estado se encuentra, esto con la finalidad de recomendar una rehabilitación oportuna.

## **2.6. Indicadores**

Entre los principales indicadores del estado superficial del pavimento tenemos:

- Índice de serviciabilidad presente (PSI).
- Índice de rugosidad internacional (IRI).
- Índice de condición del pavimento (PCI).
- Índice de estado (IE).
- Índice de fricción internacional (IFI)

Cada uno de estos indicadores establece rangos para evaluar el pavimento. Su finalidad principal es definir en qué estado se encuentra superficialmente el pavimento, pero también puede ser un indicador de la necesidad de realizar una evaluación estructural<sup>6</sup>.

### **2.6.1. Índice de serviciabilidad presente (PSI)**

Es un índice de la comodidad y seguridad que percibe el usuario al transitar en el pavimento, este método fue desarrollado por los años sesenta por AASHTO.

La forma de medición de este índice ha variado, en un principio se realizaba en forma subjetiva a través de cinco conductores, quienes transitaban en el pavimento varias veces evaluando su confort en una escala de 0 (pésimo) – 5 (excelente). Al ser esta medición subjetiva podía reflejar un panorama inexacto del estado del pavimento, por lo que el proceso de medición fue objeto de modificaciones. Para reflejar mejor el

---

<sup>6</sup> TESIS: CARINA HUANCA COLQUE-“LIMITACIONES DE LA EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL EN VÍAS URBANAS DE LA CIUDAD DE TARIJA”-2016

estado del pavimento se incorporaron parámetros medibles tales como: rugosidad, agrietamientos, ahuellamientos, baches, los cuales se correlacionaron con las opiniones de los usuarios para finalmente, a través de métodos estadísticos, obtener el PSI.

Los rangos de evaluación que se deberán tener en cuenta en la calificación del estado del pavimento a través del PSI se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1. Escala de calificación de la serviciabilidad**

0 – 1	Muy pobre
1 – 2	Pobre
2 – 3	Regular
3 – 4	Buena
4 – 5	Muy buena

*Fuente: Guía AASHTO “Diseño de Estructuras de Pavimentos, 1993”.*

La rugosidad es el parámetro que gobierna el valor del PSI, dado que es el factor que tiene más en cuenta el usuario para juzgar la calidad del pavimento. Así, es importante emplear un instrumento confiable para medir la rugosidad al monitorear la historia del comportamiento del pavimento.

Existen diferentes equipos para medir la rugosidad o pendiente longitudinal desde los más tradicionales como el rugosímetro, perfilómetro hasta instrumentos modernos de última generación como el perfiló grafo láser, el analizador de perfil longitudinal (APL), etc.

### **2.6.2. Índice de rugosidad internacional (IRI)**

Este índice como su propio nombre lo indica evalúa el estado de la superficie del pavimento, en qué condiciones se encuentra, por lo tanto al igual que el PSI está relacionado con el confort del usuario al transitar en el pavimento.

El IRI es el número de irregularidades (desplazamientos verticales) obtenido, por medio de una simulación matemática, con un "cuarto de coche" que circula a 80 km/h, dividido por la longitud del intervalo (m/km). En la actualidad hay diversos

instrumentos que permiten obtener el IRI de una manera rápida y precisa, como el perfilómetro pivotante, el SCRIM, etc.

El IRI no solamente se usa para evaluar pavimentos antiguos. En algunos países, se usa para la recepción de obras nuevas. Se ha especificado que el IRI no debe superar determinados valores para realizar la recepción de carreteras.

En lo referente a las escalas de clasificación existen diferentes, en cada país de acuerdo a su experiencia se pueden establecer estos límites. En la tabla 2. se muestran valores de IRI para algunos países.

**TABLA 2. Valores de IRI (m/km) utilizados internacionalmente**

País	Bueno	Regular	Malo	Rechazo	Recepción
EE.UU.	<2.4	2.4-4.7	>4.7		
España	0-2.5	2.5-4.0	>4	2.5	1.85
Chile	0-3	3-6	>4	2.5	2.5
Honduras	<3.5	3.5-6.0	>6		
Uruguay	<3.9	4-6	>4.6		

*Fuente: Publicación “Índices de Medición de la Regularidad de un Pavimento”, 2002, Edwing Alvarenga – w.w.w.biblioteca.udep.edu.pe*

Los valores de IRI presentados en la tabla 2. son casi parecidos, siendo Honduras el país que da mayor rango para el IRI y España el país con menores rangos. Cada país de acuerdo a su experiencia establece estos límites. En el caso de nuestro país aún no existe una normalización al respecto y generalmente se basan en los de otros países. Esto es muy subjetivo ya que los índices de otros países no reflejan las características de los pavimentos del país.

### **2.6.3. Índice de condición del pavimento (PCI)**

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

La metodología es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas más allá de las que constituyen el sistema y las cuales se presentan a continuación.

El deterioro de la estructura de pavimento es una función de la clase de daño, su severidad y cantidad o densidad del mismo. La formulación de un índice que tuviese en cuenta los tres factores mencionados ha sido problemática debido al gran número de posibles condiciones. Para superar esta dificultad se introdujeron los “valores deducidos”, como un arquetipo de factor de ponderación, con el fin de indicar el grado de afectación que cada combinación de clase de daño, nivel de severidad y densidad 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 la Tabla 3. Se presentan los rangos de PCI con la correspondiente descripción cualitativa de la condición del pavimento.

**TABLA 3. Rangos de calificación del PCI**

<b>Rango</b>	<b>Clasificación</b>
100-85	Excelente
85-70	Muy Bueno
70-55	Bueno
55-40	Regular
40-25	Malo
25-10	Muy Malo
10-0	Fallado

*Fuente: Pavement Condition Index (pci) - Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras - Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela – 2002*

#### **2.6.4. Índice de estado (IE)**

Facilita el manejo de la información en un nivel general, agrupa en una sola fórmula las fallas más significativas que afecta a un pavimento. Se han desarrollado diferentes ecuaciones según el tipo de pavimento.

La fórmula general es:

$$IE = 10 * e^{-\sum ai*Di}$$

### ECUACIÓN 1. Índice de Estado

Donde:

**ai:** es el coeficiente de peso, que depende del tipo de la capa de rodamiento del pavimento evaluado, según sea flexible con capa de rodamiento de concreto asfáltico, flexible con tratamiento bituminoso superficial, o rígido adoptan valores entre 0.04 y 0.08.

**Di:** es el coeficiente que valoriza el grado de falla, adopta valores correspondientes entre 0 y 10, correspondiendo los mayores valores a situaciones más desfavorables.

El rango establecido para evaluar un pavimento a través del IE está entre 1 y 10, correspondiendo los mayores a los mejores estados de los pavimentos. En la tabla 4 se dan los rangos correspondientes a cada uno.

**TABLA 4. Rangos de IE según el estado del pavimento**

Rango de IE	Estado del pavimento	Recomendación
7-10	Bueno	Mantenimiento preventivo
5-7	Regular	Estudio para determinar la conveniencia de encarar oportunamente las fallas con tareas de mantenimiento
< 5	Deteriorado	Requiere atención urgente (rehabilitación)

*Fuente: Pavement Condition Index (pci) - Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carreteras - Ing. Esp. Luis Ricardo Vásquez Varela – 2002*

### 2.6.5. Índice de Fricción Internacional (IFI)

El Índice de Fricción Internacional (IFI), es el segundo de una, probable, larga serie de indicadores internacionales que definen el estado de una carretera. El desarrollo de indicadores internacionales comenzó con el IRI (Índice de Rugosidad Internacional). Así pues, el IFI se puede describir como una escala de referencia, de aplicación internacional, de la fricción y de la textura de un pavimento. Entendiendo como textura, las pequeñas irregularidades superficiales de la capa de rodadura que contribuyen a dicha fricción. Considerando los equipos para la medición de la fricción se trató de establecer un parámetro de macrotextura para amortizar los resultados. Por lo tanto el Índice de Fricción IFI viene indicado por dos números expresados entre paréntesis separados por una coma, el primero representa la fricción y el segundo la macrotextura. El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y unidad de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, con una relación sencilla, definir o establecer el segundo número que compone el IFI. En resumen, el Índice de Fricción Internacional IFI, es una escala de referencia basado en el modelo AICPR (que relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento), modelo que sirve para estimar la constante de referencia de velocidad ( $S_p$ ) y la fricción a 60 km/h (ver figura 5.). El par de valores ( $F_{60}$  y  $S_p$ ) expresan el IFI de un pavimento y permite calcular el valor de fricción  $F(S)$ , a cualquier velocidad de deslizamiento  $S$  mediante la siguiente ecuación:

$$F(S) = F_{60} * e^{60-S/wwS_p} \quad \text{ECUACIÓN 2. IFI}$$

Donde:

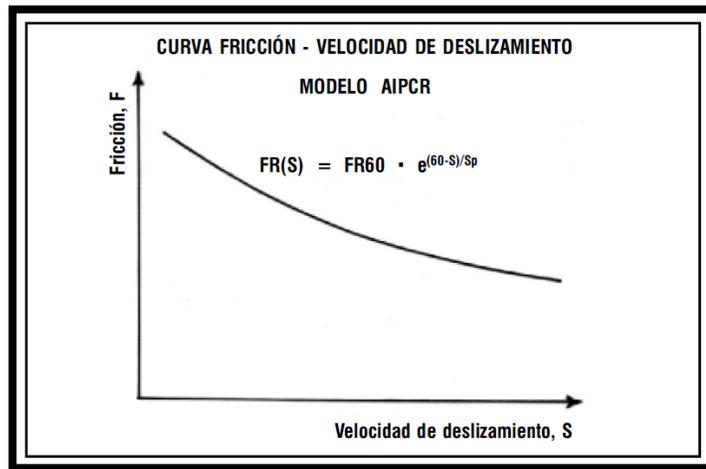
$F(S)$  = es el valor de la fricción a cualquier velocidad de deslizamiento  $S$

$F_{60}$  = es el valor de la fricción a 60 km/h

$S_p$  = constante de referencia de velocidad

$S$  = velocidad de deslizamiento.

**Fig. 5. Curva fricción-Velocidad de deslizamiento (Según el modelo de AIPCR)**



*Fuente: Índice de Seguridad Vial – Revista Universidad EAFIT N°127– Medellín – 2002*

## 2.7. Fallas y Deterioros de los Pavimentos Flexibles.

### 2.7.1. Definición.

Se define como el conjunto de daños que disminuyen la serviciabilidad y funcionalidad del pavimento y son de distinto origen y naturaleza; entre las que cabe destacar las siguientes:

Incremento de las cargas y su frecuencia con respecto a las diseño inicial.

Deficiencias durante la construcción, referente a la calidad de los materiales, espesores de capas y operaciones de construcción.

Diseños deficientes, métodos de diseño que resultan inadecuados en la actualidad (Incorrecta valoración de las características de los materiales, incorrecta evaluación del tránsito existente y previsto durante el periodo de diseño del pavimento).

Factores climáticos regionales desfavorables por ejemplo elevación del nivel freático, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia de drenaje superficial.

**Fallas funcionales:** Se produce una falla en la capacidad funcional del pavimento, es decir, se pierde la función inicial de diseño. Están estrechamente ligadas a la carpeta

asfáltica, se pierde la calidad de la superficie de rodadura y no se tiene una adecuada fricción superficial.

**Fallas estructurales:** Son fallas graves e involucran al paquete estructural, se originan cuando se produce la falla estructural en una o varias capas del pavimento, lo que ocasiona el rompimiento del mismo. Estos deterioros afectan significativamente la capacidad de soportar las sollicitaciones para las cuales fue diseñado el pavimento.

### **2.7.1.1. Fallas comunes en los pavimentos**

En este punto se verán las fallas comunes en los pavimentos según la clasificación del “Cuerpo de ingenieros de la armada de Estados Unidos”.

Según el manual del “Método de evaluación de pavimentos PCI” existen 19 tipos de falla encontrados en pavimentos, que son los siguientes<sup>7</sup>:

1. Grieta piel de cocodrilo
2. Exudación de asfalto
3. Grietas de contracción (Bloque)
4. Elevaciones – hundimiento
5. Corrugaciones
6. Depresiones
7. Grietas de borde
8. Grietas de reflexión de juntas
9. Desnivel calzada – berma
10. Grietas longitudinales y transversales
11. Baches y zanjas reparadas
12. Agregados pulidos
13. Huecos
14. Cruce de rieles, por acceso a puentes, pontones y rejillas de drenaje
15. Ahuellamiento

---

<sup>7</sup> GONZALO ALVAREZ BARRIGA- EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL TRAMO “PUERTA DEL CHACO – CARLAZO”-2013

16. Deformación por empuje
17. Grietas de deslizamiento
18. Hinchamiento
19. Disgregación y desintegración

Los tipos de fallas más comunes en pavimentos asfálticos son: grietas tipo piel de cocodrilo, de contracción, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales, baches, huecos, ahuellamientos y desintegración o disgregación. El resto de los tipos de falla considerados en el método son encontrados con menos frecuencia.

#### **2.7.1.1.1. Grieta piel de cocodrilo**

Esta falla se presenta como una serie de grietas interconectadas, producida por fatiga de la mezcla asfáltica. Las grietas comienzan en el fondo de la capa y se propagan a la superficie, habiendo sido inicialmente grietas longitudinales paralelas, posteriormente bajo el efecto del tráfico, estas se conectan formando polígonos de distintos tamaños que se asemejan a la piel de un cocodrilo o la malla de gallinero. Estas fallas, que ocurren solo en áreas sometidas al tráfico se consideran una falla estructural severa y generalmente son acompañadas de ahuellamientos.

#### **2.7.1.1.2. Exudación de asfalto**

Esta falla consiste en la formación de una película de material asfáltico en la superficie del pavimento, creando una superficie brillante y reflectiva, normalmente pegajosa. La exudación es causada por exceso de asfalto en la mezcla, en aplicación de sellos, y bajo contenido de vacíos. Ocurre normalmente a altas temperaturas.

#### **2.7.1.1.3. Grietas de contracción (Bloque)**

Esta falla se presenta como grietas interconectadas que dividen el pavimento en bloques aproximadamente rectangulares, con lados de entre 30 cm y 3 m. Son

causadas por contracción del asfalto, por efecto de la variación cíclica de temperatura, no están asociadas con cargas o fatigas, e indican que el asfalto se ha endurecido considerablemente. Ocurren generalmente en grandes áreas del pavimento, incluso en áreas sin tráfico, en general difieren de las grietas piel de cocodrilo por el tamaño de los bloques, y en que estas últimas son causadas por cargas (fatiga) y ocurren solo en áreas sometidas al tráfico.

#### **2.7.1.1.4. Elevaciones – hundimientos**

Las elevaciones son pequeñas y localizadas protuberancias de la superficie del pavimento, las elevaciones son producidas por:

- Movimientos y levantamientos de trozos de losas de concreto debajo de la carpeta asfáltica
- Hinchamiento por congelación
- Infiltración de materiales en las juntas

Los hundimientos son pequeñas y abruptas deformaciones de la superficie. No debe confundirse esta falla con las deformaciones más pronunciadas y largas, producidas por hinchamiento (falla n°18).

#### **2.7.1.1.5. Corrugaciones**

Estas fallas están conformadas por hundimientos y crestas (ondulaciones), espaciadas por menos de tres metros en sentido transversal al tráfico. Son causadas normalmente por el tráfico en pavimentos de base o superficie inestable.

#### **2.7.1.1.6. Depresiones**

Son áreas de pavimento con elevación inferior a las adyacentes. Las pequeñas depresiones son difíciles de observar en los pavimentos secos. Bajo la lluvia se producen empozamientos de agua, que normalmente dejan una marca de agua la secar. Generalmente son producto de asentamientos en la fundación o fallas constructivas. Pueden producir rugosidad y ser peligrosas al momento de llenarse de agua. Se diferencian de los hundimientos en que estos no son abruptos.

#### **2.7.1.1.7. Grietas de borde**

Son grietas longitudinales paralelas, contenidas en una franja de 30 a 60 cm. En el borde externo del pavimento. Esta falla es acelerada por las cargas y puede ser causada por congelación de las capas estructurales, materiales expansivos y falta de soporte lateral, en algunos casos se puede llegar a producir pérdida de borde por disgregación.

#### **2.7.1.1.8. Grietas de reflexión de juntas (de losas de concreto)**

Este tipo de falla solo ocurre en capas asfálticas colocadas sobre pavimentos de concreto (rígidos). No incluyen grietas de reflexión de ningún otro tipo de base o material bajo el asfalto superficial. Normalmente son longitudinales y transversales causadas por contracción y expansión, o movimiento de las losas por infiltración de agua. Esta falla no está asociada con el tráfico, sin embargo, este puede producir disgregamiento en los bordes de grieta y agrietamiento adicional. Si el pavimento esta fracturado a lo largo de la grieta se dice que existe disgregación a lo largo de los bordes. El conocer las dimensiones de la losa de concreto ayuda en la identificación de estas grietas de reflexión.

#### **2.7.1.1.9. Desnivel calzada – berma**

Diferencia de elevación entre el borde del pavimento y el hombrillo. Normalmente causado por erosión o asentamiento de la berma, o elevación de la calzada sin nivelar la altura de la berma.

#### **2.7.1.1.10. Grietas longitudinales y transversales**

Las grietas longitudinales son paralelas al eje de del pavimento o eje de construcción, son causadas generalmente por:

- Mala construcción de juntas en franjas de asfalto.
- Contracción del asfalto debido a los cambios de temperatura y el envejecimiento.
- Reflexión de las grietas del pavimento inferior, grietas en el asfalto, o losas de concreto (no de juntas de losas)

Las grietas transversales son aproximadamente perpendiculares al eje del pavimento y pueden ser causadas por las mismas razones indicadas en las grietas longitudinales.

Estos tipos de grietas no están generalmente asociados con efectos del tráfico y las cargas.

No se consideran las grietas de reflexión de losas de concreto.

#### **2.7.1.1.11. Bacheo y zanjas reparadas**

Un bache es un área del pavimento que ha sido reparado mediante el empleo de material nuevo. Un bache es considerado un defecto, independientemente de lo bien que haya sido ejecutado. Generalmente produce algo de rugosidad.-

#### **2.7.1.1.12. Agregados pulidos**

Esta falla es causada por el paso del tráfico. Cuando el agregado superficial se pule la adherencia con los neumáticos se reduce considerablemente. El agregado pulido se cuenta cuando un examen detallado revela que la textura del pavimento es inadecuada y la superficie del agregado es suave al tacto. Este tipo de falla está asociada con baja resistencia a la fricción.

#### **2.7.1.1.13. Huecos**

Los huecos son pequeñas fallas de forma cóncava y diámetros generalmente menores a 0.9 m. Usualmente tienen bordes verticales y angulosos en las cercanías de la superficie. Crecen rápidamente por el efecto del agua acumulada en el propio hueco. Son producidos por disgregación (debido al tráfico) de pequeños áreas de pavimentos. Este se desintegra debido a defectos de la mezcla, puntos débiles en la base o sub rasante, o grietas piel de cocodrilo de alta severidad. Los huecos son generalmente causados por una falla estructural y no deben confundirse con disgregación y desintegración (Falla n°19). Cuando los huecos son consecuencia de del deterioro progresivo de fallas del tipo piel de cocodrilo deben considerarse como huecos y no como falla n° 19.

#### **2.7.1.1.14. Cruce de rieles, por acceso a puentes y rejillas de drenaje**

Estos producen depresiones o elevaciones que afectan la calidad de rodaje.

#### **2.7.1.1.15. Ahuellamiento**

El ahuellamiento es una depresión longitudinal, bajo la huella de los neumáticos. El pavimento puede levantarse a lo largo de los bordes de la depresión. Generalmente el ahuellamiento se observa después de la lluvia, al llenarse de agua las depresiones. El ahuellamiento es originado por la deformación permanente de la sub rasante o alguna capa del pavimento, normalmente causado por consolidación o movimiento lateral de los materiales bajo los efectos del tráfico. El excesivo ahuellamiento puede producir una falla estructural del pavimento.

#### **2.7.1.1.16. Deformación por empuje**

Es un desplazamiento o deformación producida por el tráfico en un área localizada del pavimento. Cuando el tráfico “empuja” sobre el pavimento produce una corta y abrupta cresta o deformación. Este tipo de falla se produce mayormente en mezclas con asfaltos líquidos o emulsiones, así como en mezclas de baja estabilidad. Es común donde se une un pavimento asfáltico con uno rígido. En este caso el pavimento rígido empuja, produciendo tal tipo de falla por deformación en el asfalto.

#### **2.7.1.1.17. Grietas de deslizamiento**

Son grietas en forma de media luna, con las puntas en el sentido de la dirección del tráfico. Son causadas por el deslizamiento de la capa asfáltica superficial y ocurren por falta o exceso del riego de adherencia.

#### **2.7.1.1.18. Hinchamiento**

Es caracterizado por un levantamiento de la superficie del pavimento, afectando una longitud mayor de 3 m. Puede estar acompañado por agrietamiento y es causado por la expansión del suelo de la sub rasante.

#### 2.7.1.1.19. Disgregación o desintegración

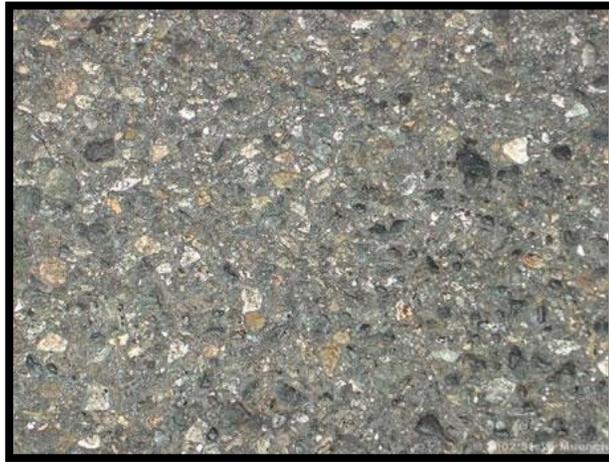
Se produce por el desgaste de la capa asfáltica superficial, caracterizada por la pérdida de agregado y/o ligante asfáltico que produce partículas sueltas. Esta falla generalmente indica que el ligante se ha endurecido o que la mezcla es de mala calidad. Este fenómeno también puede ser causado por neumáticos con cadenas o clavos de fricción.

#### 2.7.2. Agregados pulidos

##### Niveles de severidad

No se define ningún nivel de severidad. Sin embargo, el nivel de pulimento deberá ser significativo antes de ser incluido en una calificación de la condición y contabilizado como defecto.

**Fig. 6. Agregados Pulidos**



*Fuente: Manual de evaluación de pavimentos (Corros, Urbaz, Corredor)*

##### Medición:

Se mide el área afectada en metros cuadrados. Si se contabiliza la exudación no se tendrá en cuenta el pulimento de agregados.

##### Opciones de reparación:

**L, M, H:** No se hace nada. Tratamiento superficial. Sobrecarpeta. Fresado y sobrecarpeta.

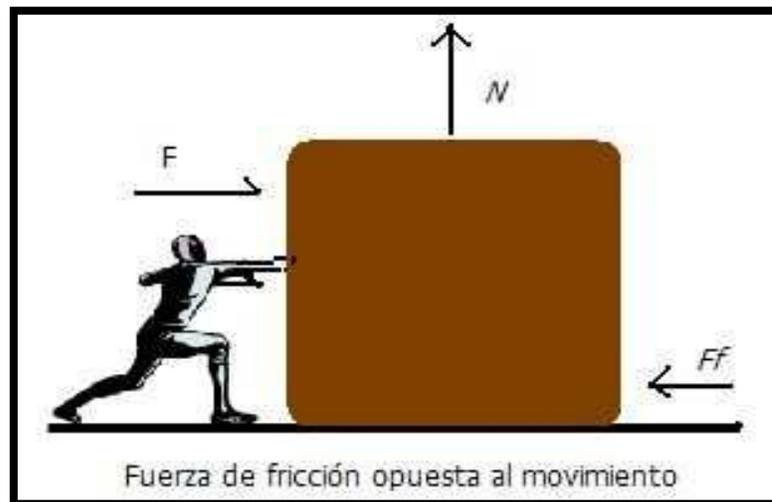
## 2.8. Fuerza de Fricción.

Se define como fuerza de rozamiento o fuerza de fricción entre dos superficies en contacto a la fuerza que se opone al deslizamiento de una superficie sobre la otra (fuerza de fricción dinámica) o a la fuerza que se opone al inicio del movimiento (fuerza de fricción estática). Se genera debido a las imperfecciones, especialmente microscópicas, entre las superficies en contacto.

Estas imperfecciones hacen que la fuerza entre ambas superficies no sea perfectamente perpendicular a éstas, sino que forma un ángulo  $\phi$  con la normal (el ángulo de rozamiento). Por tanto, esta fuerza resultante se compone de la fuerza normal (perpendicular a las superficies en contacto) y de la fuerza de rozamiento, paralela a las superficies en contacto.

No depende del área de contacto sino del tipo de material que interactúan.

**Fig. 7. Representación Gráfica de las Fuerzas que actúan.**



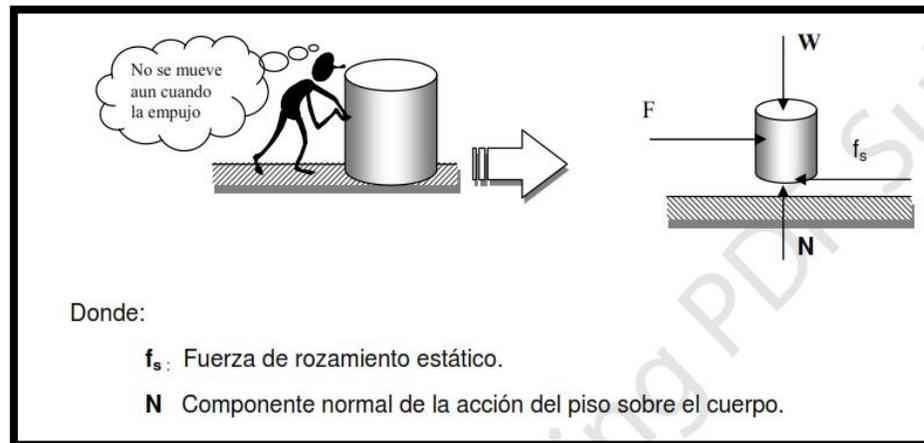
*Fuente: física y coeficiente de rozamiento.*

### 2.8.1. Fuerza de Rozamiento Estático

Esta fuerza surge cuando la superficie rugosa de un cuerpo intenta deslizarse sobre la superficie rugosa de otro cuerpo. La fuerza de rozamiento estático es tangente a la superficie de contacto y se manifiesta en dirección contraria al posible

Deslizamiento de la superficie de dicho cuerpo respecto a otra.

**Fig. 8. Fuerza de Rozamiento Estático**



*Fuente: física y coeficiente de rozamientos*

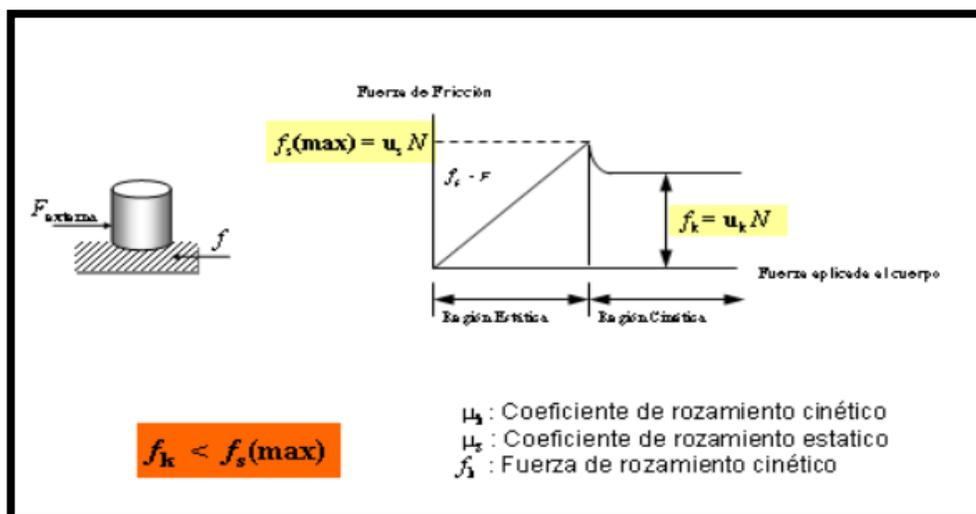
La fuerza de rozamiento tomará su máximo valor, cuando la superficie de dicho cuerpo esté a punto de deslizarse respecto del otro, para tal efecto se

Utilizará:  $f_s(\text{Max}) = \mu_s \cdot N$

Dónde:  $\mu_s$  : Coeficiente de rozamiento estático

N: Normal.

**Fig. 9. Fuerza de rozamiento**



*Fuente: física y coeficiente de rozamientos*

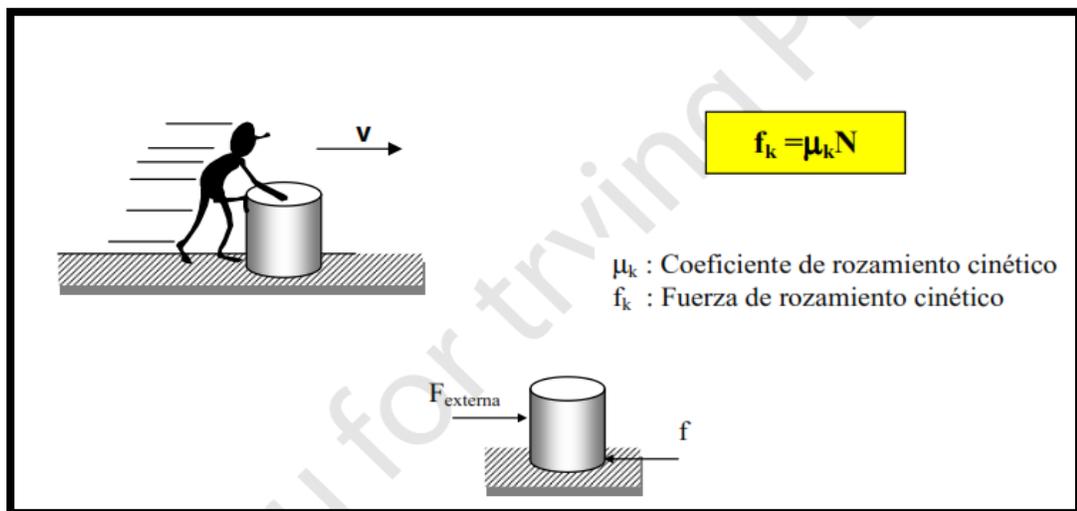
La fuerza de fricción está fuertemente ligada a la aspereza de las superficies que entran en contacto. La fuerza de rozamiento estática es variable y según el bloque de la figura es del mismo módulo que la fuerza externa aplicada al bloque.

- a) Por lo general en superficies pulidas:  $\mu_s < 1$   
(En algunos casos especiales:  $\mu_s > 1$ )
- b) En superficies lisas se considera que no hay fricción.

### 2.8.2. Fuerza de Rozamiento Cinético

Es aquella fuerza que surge cuando la superficie rugosa de un cuerpo desliza sobre otra (con velocidad constante o con aceleración) que también es rugosa. Esta fuerza también es tangente a las superficies en contacto, y se opone al deslizamiento de una respecto de la otra.

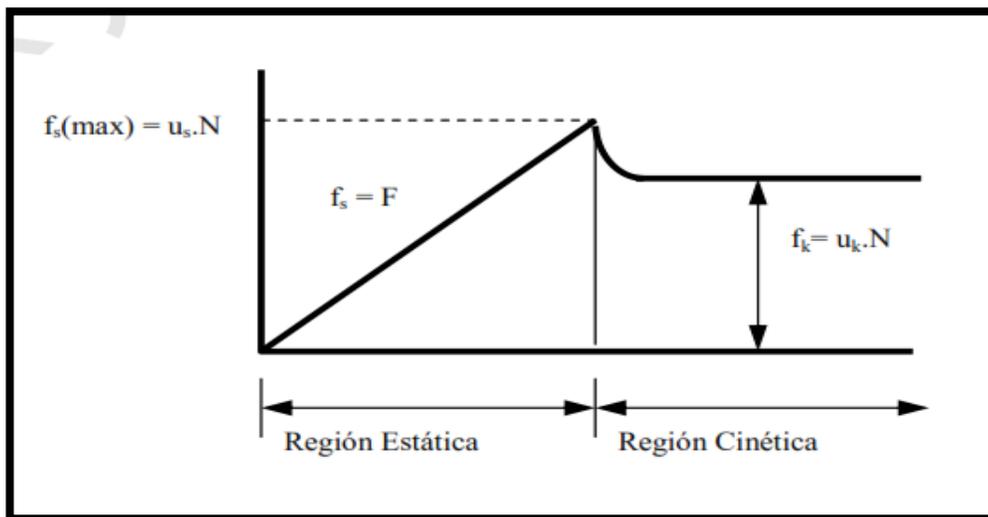
**Fig. 10. Rozamiento Cinético**



*Fuente: física y coeficiente de rozamientos*

Por lo general se cumple:  $0 < \mu_k < \mu_s < 1$ . En la gráfica se puede observar que la fuerza de fricción Cinética es constante y de menor magnitud que la fuerza de fricción estática máxima.

Fig. 11. Fricción Cinemática



*Fuente: física y coeficiente de rozamientos*

### 2.9. Características Superficiales.

Las propiedades funcionales, en tanto no exista un daño estructural, pueden describirse a través del microperfil de un pavimento a lo largo de un eje.

Hablando en términos generales y considerando la seguridad y comodidad al circular por cualquier carretera se debe cumplir con ciertas características:

- ❖ La rodadura debe ser cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y debe facilitar la evacuación del agua (cuando existe) en la zona de contacto con el neumático.
- ❖ La evaluación de la resistencia al deslizamiento (fricción) debe ser tal que permita un tránsito seguro y evitando en lo posible, el desgaste de los vehículos y sus partes.

Entre las diferentes características superficiales de los pavimentos, la que ha sido objeto de estudio y preocupación en los comités internacionales desde hace más años es la resistencia al deslizamiento. De hecho, el primer comité internacional de la AIPCR (Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras), fue el actual C1 de

Características Superficiales, que se dedicó, en un principio, a investigar los métodos de medida de la resistencia al deslizamiento, sus indicadores y su aplicación. Aún hoy día, continúa siendo una característica destacada en los trabajos del Comité, debido a su indudable influencia en la seguridad de los usuarios de las carreteras.

Otra de las características superficiales de pavimentos que está cobrando cada vez más importancia en los ámbitos nacionales e internacionales es la regularidad superficial. Aunque no influye mucho, salvo en casos extremos, en la seguridad de los usuarios, sí lo hace en el costo de funcionamiento de los vehículos, al afectar a los amortiguadores y al consumo de combustible. Además, la falta de regularidad aumenta el nivel de emisión sonora de los vehículos y las cargas dinámicas inducidas en el pavimento.

Por otro lado, la falta de adherencia según las estadísticas, es la responsable de un elevado porcentaje de accidentalidad. Por lo tanto la evaluación de la resistencia al deslizamiento adquiere una gran importancia con objeto de que el administrador de la carretera pueda ofrecer a los usuarios un adecuado nivel de seguridad.

A lo largo de los años y en numerosos países se han desarrollado distintos tipos de equipos para medida de las características superficiales. Incluso dentro de un mismo país puede ocurrir que distintos organismos que tengan competencias en la gestión de carreteras utilicen métodos de ensayo o equipos diferentes.

### **2.9.1. Textura.**

La textura es una propiedad física del pavimento. Se define como “la geometría más final del perfil longitudinal de una carretera”. La AIPCR (Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras), definió 3 bandas de textura de acuerdo a su amplitud y longitud de onda. **Microtextura, Macrotextura y Megatextura.**

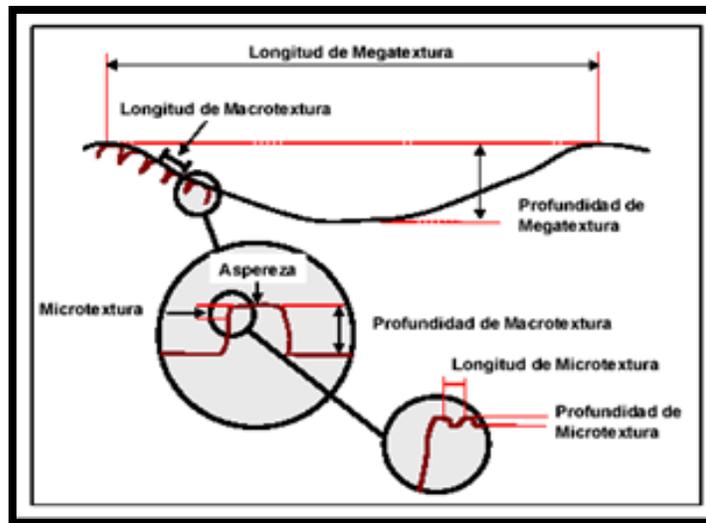
**TABLA 5. Clasificación de textura superficial según AIPCR**

Textura	Longitud de Onda
Mega Textura	50 - 500 mm
Macro Textura	0,5 - 50 mm
Micro Textura	0,0 - 0,5 mm

*Fuente: Tesis (Ingeniero Civil) -- UPC. Facultad de Ingeniería; info:eu-repo/semantics/bachelorThesis*

La longitud de onda de textura se define como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento.

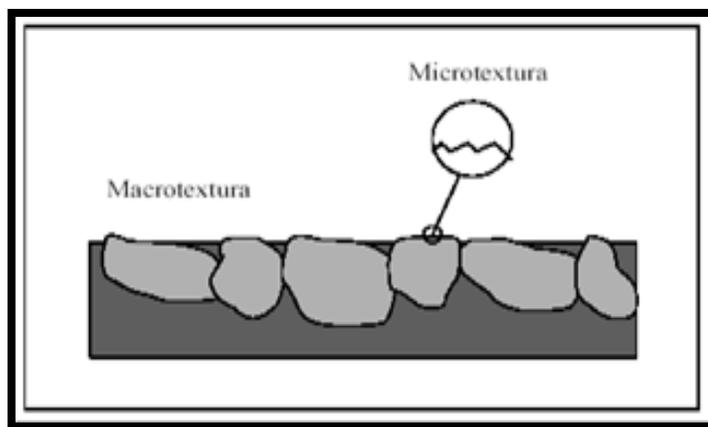
**Fig. 12. Tipos de Textura de un pavimento (AIPCR, 1995)**



*Fuente: Tesis (Ingeniero Civil) -- UPC. Facultad de Ingeniería; info:eu-repo/semantics/bachelorThesis*

A pesar de esta clasificación, diferentes estudios han llegado a la conclusión que los factores que dependen de un pavimento para lograr niveles de fricción adecuados en contacto con un neumático son únicamente la Macrotextura y la Microtextura.

**Fig. 13. Definición de Macrotextura y Microtextura.**



*Fuente: Tesis (Ingeniero Civil) -- UPC. Facultad de Ingeniería; info:eu-repo/semantics/bachelorThesis*

La microtextura influye en la fricción y la macrotextura en la capacidad de evacuar el agua, lo que a su vez ayuda a mejorar la fricción.

#### **2.9.1.1. Microtextura.**

La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0.5 mm. La amplitud entre picos suele variar entre 0.001 y 0.5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

#### **2.9.1.2. Macrotextura.**

La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendida entre 0.5 y 50 mm. La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0.01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de

onda del mismo orden que los elementos del neumático en la zona de contacto con el pavimento.

### **2.9.1.3. Megatextura.**

La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm. La amplitud entre picos suele variar entre 0.1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura mejor capacidad de evacuación de agua en la interfase neumático – pavimento, y las texturas elevadas suelen ser más ruidosas. Se trata de una disfunción entre una característica deseada (la elevada capacidad de drenaje) y una característica añadida (el mayor nivel de ruido) para conseguir aquélla. Este efecto contrario se está tratando de compensar con mezclas de granulometría discontinua, principalmente las mezclas porosas cuyo elevado contenido de huecos junto con su elevada macrotextura negativa, permite una rodadura sin formación de película de agua en la superficie y además muy silenciosa, porque el sonido puede “salir” hacia abajo. Por el contrario los inconvenientes están motivados por el costo, la duración y la dificultad de mantenimiento y de rehabilitación de este tipo de capas.

### **2.9.2 Funciones de la Textura.**

- Elevada para permitir la evacuación del agua en la interfaz neumático – pavimento.
- Debe ser pequeña para proporcionar un menor nivel de ruido.
- Debe ser homogénea para ofrecer en toda la superficie la misma capacidad de evacuación de agua.

El funcionamiento del pavimento está ligado en muchos aspectos a sus características de textura. La textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, ésta influye de manera directa en la capacidad del pavimento para evacuar agua de la interface neumático-pavimento. En el aspecto económico, la

textura influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

### 2.9.3 Resistencia al deslizamiento y fricción.

La resistencia al deslizamiento y la fricción se definen como la fuerza que se da en la superficie del pavimento cuando los neumáticos dejan de rotar. Sin embargo, la diferencia entre ellas es que la resistencia al deslizamiento no considera la demanda de fricción producto de las aceleraciones a las que se ve sometido el automóvil.

#### ❖ Resistencia al Deslizamiento

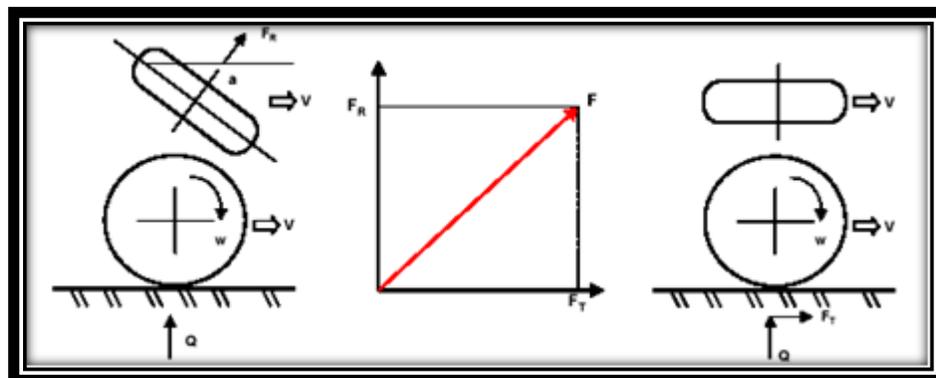
La resistencia al deslizamiento involucra dos cuerpos dentro de un medio. Pero para que los dos cuerpos interactúen entre sí es necesario considerar a la velocidad de circulación, la cual determinará los siguientes casos:

- Los neumáticos del automóvil rotan y se trasladan.
- Los neumáticos del automóvil rotan.
- Los neumáticos del automóvil se trasladan (deslizan).

#### ❖ Fricción.

En realidad la fricción es una “extensión” de la resistencia al deslizamiento, ya que, como se dijo anteriormente considera también el efecto de las aceleraciones tangenciales y longitudinales. La fricción se evalúa mediante los siguientes:

**Fig. 14. Diagrama vectorial de fuerza de fricción**



*Fuente: (Adpt. OCDE, 1984)*

- Coeficiente de fricción longitudinal (CFL): Ocurre ante una frenada de emergencia.
- Coeficiente de fricción transversal (CFT): Ocurre en la salida de un vehículo desde el camino en una curva.

#### **2.9.4 Fricción en pavimento flexibles.**

La fricción o resistencia al deslizamiento del pavimento es un valor crítico en la seguridad cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental sobre todo en carreteras de elevada intensidad de tráfico. La fricción se determina de forma indirecta midiendo el coeficiente de fricción entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma especial.

La fricción se toma como un parámetro del pavimento muy importante que desafortunadamente es muy difícil de medir. Los equipos que miden fricción no son muy complicados pero las fuerzas de fricción que intentan medir son muy sensibles a muchos parámetros. En la medición de fricción existen usualmente tres factores involucrados, la llanta de medición, la superficie del pavimento y algún tipo de agente que interactúa entre el neumático y la superficie, como por ejemplo el agua.

El coeficiente de 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 naturaleza (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. El coeficiente de fricción depende del número de puntos de contacto entre el neumático y los materiales pétreos del pavimento; debido a lo anterior la calidad del pétreo es muy importante ya que entre

más áspero y anguloso sea mayor fricción existirá. Por tanto se tiene que comprobar periódicamente la resistencia al deslizamiento mediante técnicas de auscultación con equipos de medida del coeficiente de fricción.

Como se mencionó anteriormente, la medida de fricción con agua es la más común debido a que la superficie seca no se considera un problema. Cuando el pavimento está mojado existe mayor riesgo de deslizamiento. Sin embargo, se ha observado que inversamente cuando la superficie está seca y la fricción es alta se corre el riesgo de estallamiento de los neumáticos.

### **2.10. Índice de Fricción Internacional.**

El IFI se puede describir como una escala de referencia, de aplicación internacional, de la fricción y de la textura de un pavimento.

La materialización de representar en un sólo índice las características relacionadas con la seguridad vial en condiciones de frenado se ha conseguido realizando un experimento internacional en este tema. Las conclusiones del experimento han probado la necesidad de representar ese índice, IFI, por dos números procedentes de dos medidas, una de fricción y otra de macrotextura.

El modelo PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), descrito 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 macrotextura.

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.

## 2.10.1 Cálculo de Índice de Fricción Internacional (IFI)

### 2.10.1.1. Determinación del Parámetro (Sp).

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), 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 Macrotextura (Tx).

Haciendo uso de la siguiente ecuación N° 3, podremos calcular el parámetro SP, 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 6.

#### ECUACIÓN 3. Parámetro (Sp)

$$Sp = a + b Tx$$

Se convierte el valor de la fricción FRS, a la medida a 60 km /h (FR60), de este modo:

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14.2	89.7
MTD por ASTM E 965	-11.6	113.6

**TABLA 6. Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad.**

Para nuestro caso aremos uso de las constantes a y b, normados por la norma ASTM E 965.

### 2.10.1.2. 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 7.

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

**TABLA 7. Ecuaciones para determinar (S) según el tipo de equipo.**

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 la ecuación N° .4, de donde despejando FR60 se obtiene:

**ECUACIÓN 4. Parámetro (FR60)**

$$FR60 = FRS * e^{\left(\frac{S-60}{Sp}\right)}$$

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

$$S = V * (\text{Porcentaje de bloqueo}).$$

Se obtiene el valor estimado (F60) del valor de referencia, como sigue:

**ECUACIÓN 5. Parámetro (F60)**

$$F60 = A + B * FR60$$

Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores se muestran en la Tabla 8.

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) <sup>E</sup>	B4E	52	-0.03	0.864	0
	OSCAR a 20% (N) <sup>F</sup>	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

Equipos con neumáticos gravados						
Rueda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	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
	Equipo de Fricción (PL)	C1	60	-0.025	0.807	0.068
Rueda parcialmente bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	12	0.141	0.323	0.074
	Skiddometer	B2	12	0.03	0.918	-0.014
	BV – 11 (S)	B3	12	0.04	0.856	-0.016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0.02	0.867	-0.006
Equipos con zapata						
Estáticos	DF Tester at 60 Km/h (J)	A13	60	-0.034	0.771	0
	DF Tester at 20 km/h (J)	A13	20	0.081	0.723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0.056	0.008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0.044	0.01	0

**TABLA 8. Lista de equipo que fueron calibrados para predecir el F60**

Basado en el modelo PIARC (Permanent International Association of Road Congresses) se propone el Índice de Fricción Internacional como se indica a continuación. El modelo sirve, para estimar la constante de referencia de velocidad ( $S_p$ ) y la de fricción a 60 km/h ( $F_{60}$ ). Los dos valores calculados se expresan en forma de índice de Fricción Internacional IFI ( $F_{60}, S_p$ ). Conocidos los valores del IFI se puede estimar el valor de referencia de la fricción,  $F(S)$  a cualquier otra velocidad, mediante la ecuación siguiente:

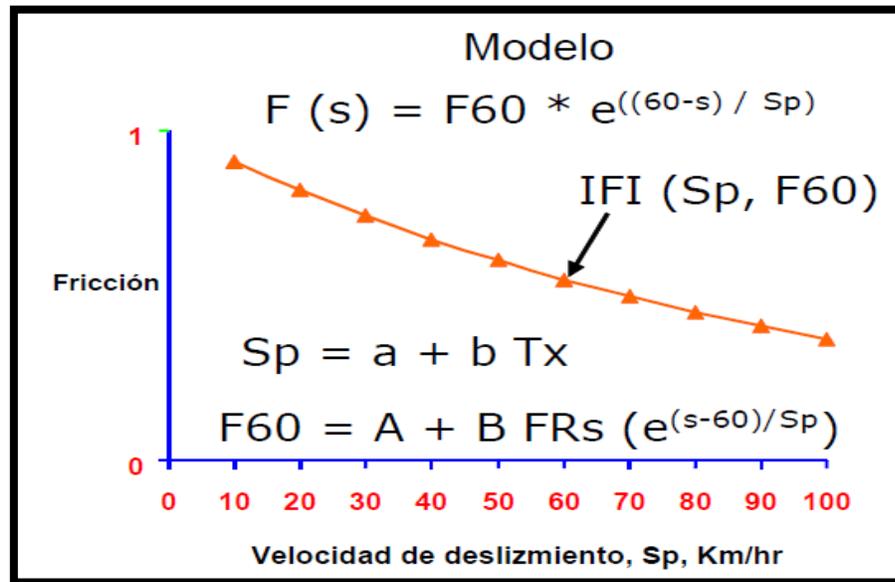
Determinados los parámetros mencionados anteriormente se dice entonces que el tramo de pavimento en estudio tiene un valor del Índice de Fricción Internacional que se expresa como IFI ( $F_{60}, S_p$ ). El conocimiento de esos parámetros permite además conocer la curva de referencia estimada de fricción en función de la velocidad de deslizamiento (fig. 15.) con una ecuación análoga a la 6. Que se expresa como:

**ECUACIÓN 6. Parámetro ( $F_s$ )**

$$F(S) = F_{60} * e^{\left(\frac{(60-S)}{S_p}\right)}$$

Siendo S cualquier velocidad de deslizamiento que interese.

**Fig. 15. Modelo del Índice de Fricción Internacional,**



*Fuente: documento PIARC*

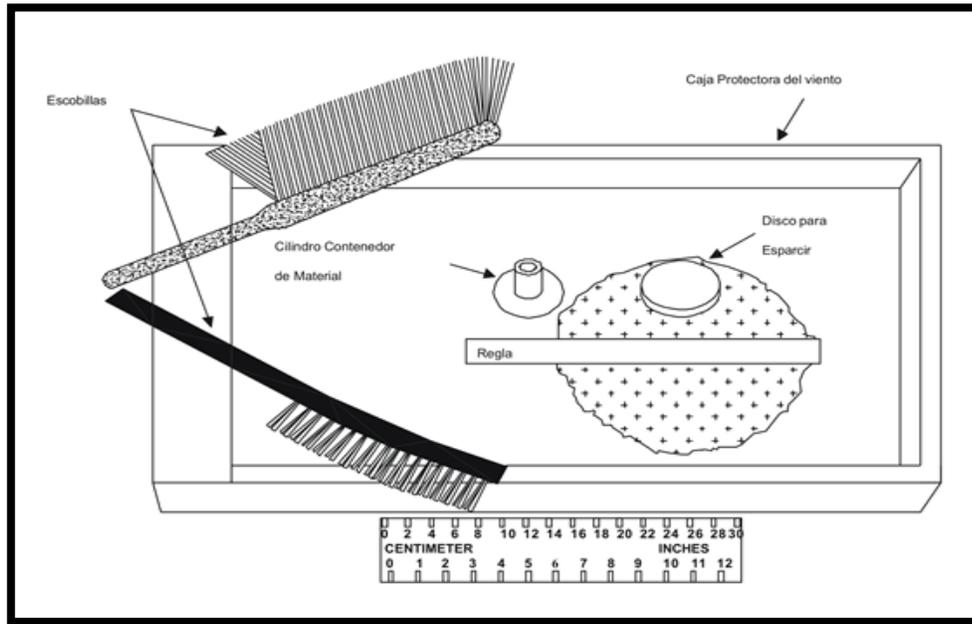
## 2.10.2. Medición de la Textura por Medio del Círculo de Arena.

### 2.10.2.1 Descripciones de la Prueba del Círculo de Arena.

Este método de prueba (fig. 16) es adecuado para pruebas de campo el cual determina el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura 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 macrotextura 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.

**Fig. 16. Círculo de arena**



*Fuente: (ASTM E 965)*

Las mediciones del espesor de la textura producida utilizando este método de prueba se ve influenciada por las características de la macrotextura 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 macrotextura superficial en el pavimento determinados 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.

#### **2.10.2.2 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 ensaye.

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 macrotextura.

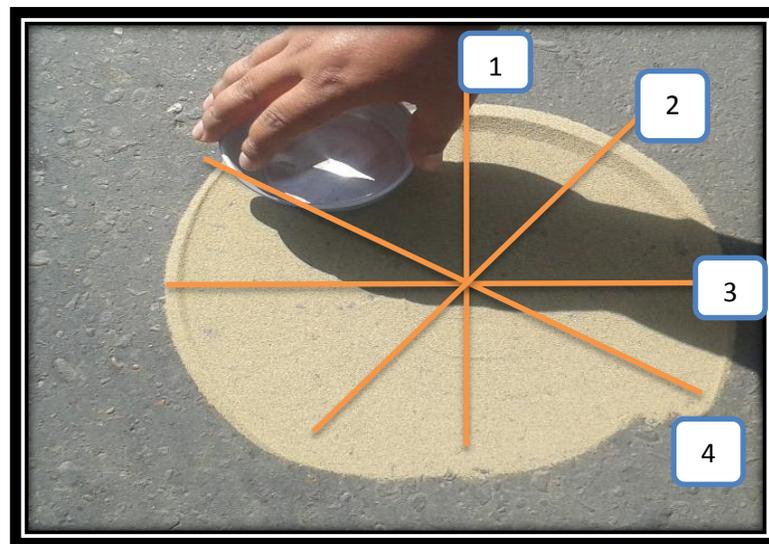
En la dispersión del material especificado en este método, la superficie de los vacíos está completamente llena hasta los picos de las partículas circundantes. Este método de prueba no se considera conveniente para utilizarse en superficies estriados o pavimentos con vacíos grandes ( $\geq 1.0$  plg (25mm)).

- a) **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.
- b) **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 en el cilindro y utilice esta misma masa de material de prueba en cada determinación.

- c) **Medición del ensaye.** – Vierta el volumen del material en la superficie limpia dentro del área protegida por la pantalla contra viento. Disperse cuidadosamente al 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.
- d) 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.
- e) **Número de mediciones de prueba.** – El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macrotextura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores de espesor de la macrotextura se deben considerar como el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento bajo estudio.

**Fig. 17. Esparcido del material en forma circular**



*Fuente: Elaboración Propia*

### 2.10.2.3 Equipo para la realización de ensayo del Círculo de Arena.

- f) 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.
- g) **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.
- h) **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.
- i) **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.
- j) **Pantalla contra viento.** Se utiliza para proteger al material del viento y la turbulencia creada por el tráfico.
- k) **Escala.** Se deberá utilizar una escala estándar (regla o cinta métrica) de 12 plg. (305 mm) o de longitud mayor que contenga divisiones de 0.1 plg. (2.5mm) o 1mm (0.04 plg.).

### 2.10.2.4. Cálculo del Espesor de la Macrotextura

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

**ECUACIÓN 7.** Volumen del Cilindro

$$V = \frac{\pi d^2 H}{4}$$

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

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

H = altura del cilindro, plg (mm)

Espesor promedio de la macrotextura del pavimento.

Calcule el promedio de la macrotextura de la superficie utilizando la siguiente ecuación:

**ECUACIÓN 8.** Altura de la Macrotextura

$$H = \frac{4V}{\pi d^2}$$

En donde:

H = promedio del espesor de la Macrotextura de la superficie, plg (mm),

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

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

**TABLA 9. Criterios para Calificar la Seguridad Vial.**

valores de PT		
CONDICIÓN	CALIFICACIÓN	RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO
< 0.2	Muy Fina	Requiere mantenimiento.
$0.2 \leq PT \leq 0.4$	Fina	Sólo para tramos donde raramente se superan los 80 Km/h (áreas urbanas).
$0.4 \leq PT \leq 0.8$	Media	Para tramos normales con velocidades moderadas de 80 a 120 Km/h.
$0.8 \leq PT \leq 1.2$	Gruesa	Para tramos normales con velocidades superiores a 120 Km/h.
> 1.2	Muy Gruesa	Para casos especiales con peligro de deslizamiento.

*Fuente: documento PIARC*

### 2.11. Equipos que miden el Coeficiente de Fricción Longitudinal

Los equipos deslizan una rueda sobre el pavimento longitudinalmente, a una velocidad de rotación menor que la de rodadura, generando así una fuerza de fricción.

Estos equipos se basan en el principio de bloque de rueda sin esviaje por lo que el valor obtenido corresponde a la fricción requerida para un bloque del 100% de la rueda en el instante que comienza el deslizamiento.

Los equipos más conocidos son el TRÁILER ASTM de Estados Unidos y el

#### 2.11.1. GRIPTESTER de Gran Bretaña.

##### **GRIPTESTER:**



**Fig. 18. Equipo GRIPTESTER**

Consiste en un tráiler liviano de tres ruedas, donde la rueda central es la medidora. Esta rueda medidora se desplaza en el sentido del tránsito con un grado de bloqueo del 14%.

#### 2.11.2. Equipos que miden el Coeficiente de Fricción Transversal

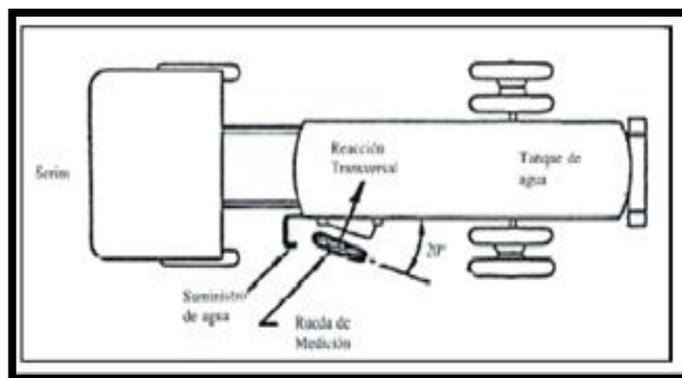
Los equipos representan la situación de derrape en zonas de curvas, en cada caso se desliza una rueda bloqueada entre 15 y 20 grados respecto a la dirección de circulación.

Los equipos más conocidos son el SCRIM y el Mu-Meter, ambos de Gran Bretaña.

**SCRIM:****Fig. 19. Equipo SCRIM**

Compuesto por un camión cisterna de 5000 litros de capacidad para regar agua en la calzada, proporcionando una lámina de 1 mm. De espesor a su paso.

Tiene una rueda de medición formando un ángulo de 20° con el vehículo.

**Fig. 20. Rueda Oblicua del equipo SCRIM**

*Fuente: tesis del Perú.*

La velocidad de operación de este equipo va desde los 20 Km/h hasta los 100 Km/h.

El SCRIM dispone de equipos especiales para el procesamiento de información.

**MU-METER:****Fig. 21. Equipo Mu-Meter**

Es un Tráiler liviano de tres ruedas, donde dos son las medidoras que se encuentran con un ángulo de divergencia entre ellas de  $15^{\circ}$ .33

La velocidad de operación normal del equipo es de 80Km/h pero puede llegar hasta 150Km/h.

El Mu-Meter fue concebido para evaluar pistas de aeropuertos, y no resulta adecuado para carreteras debido a que la separación de las ruedas es pequeña en comparación con los vehículos de carreteras.

**2.11.3. Equipos que miden ambos coeficientes de fricción (Microtextura)****Fig. 22. Equipo Péndulo de Fricción**

*Fuente: elaboración Propia*

El Péndulo de Fricción TRRL se utiliza para medidas puntuales, es decir, no mide de forma continua. Esto trae como consecuencia que se tenga que obstaculizar el tránsito para su medida.

Este equipo mide el coeficiente de fricción para velocidades menores a 50 km/h. Se usa tanto para medir el CFL como el CFT, dependiendo de la ubicación del equipo.

Se utiliza sobre una superficie húmeda, dejando desplazarse un péndulo, que tiene debajo una zapata.

Este recorre una distancia normalizada en la superficie a medir, hasta el reposo. Esta pérdida de energía por la fricción que tiene el pavimento se registra en una escala graduada que tiene incorporado.

**El coeficiente de fricción es calculado de la siguiente manera:**

**ECUACIÓN 9.** Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

$$CRD = \frac{\text{Lect. prom}}{100}$$

CRD = Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

#### **PÉNDULO DE FRICCIÓN DIVA.**

Este equipo, fabricado en Cuba, es similar al Péndulo Británico.

Es importante recalcar que para obtener una confianza en los resultados se requiere de la buena calibración del equipo antes de iniciar el trabajo.

En cada ensayo el CFD se evalúa de la siguiente forma:

**ECUACIÓN 10. Péndulo de Fricción Diva**

$$CFC = K \times T_{ME} \frac{\text{Lect. prom}}{100}$$

**K** = calibración del equipo de la serie cero (0.94 – 1.05)

**TMB**= Factor por corrección de temperatura.

superficie (°C)	T <sub>MB</sub>
20 – 37.5	0.98
37.6 – 52.5	1.00
52.6 – 62.5	1.02
62.6 – 70	1.04

**TABLA 10. Corrección por temperatura péndula de Diva.**

## **2.12. Medición del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento por medio del péndulo inglés**

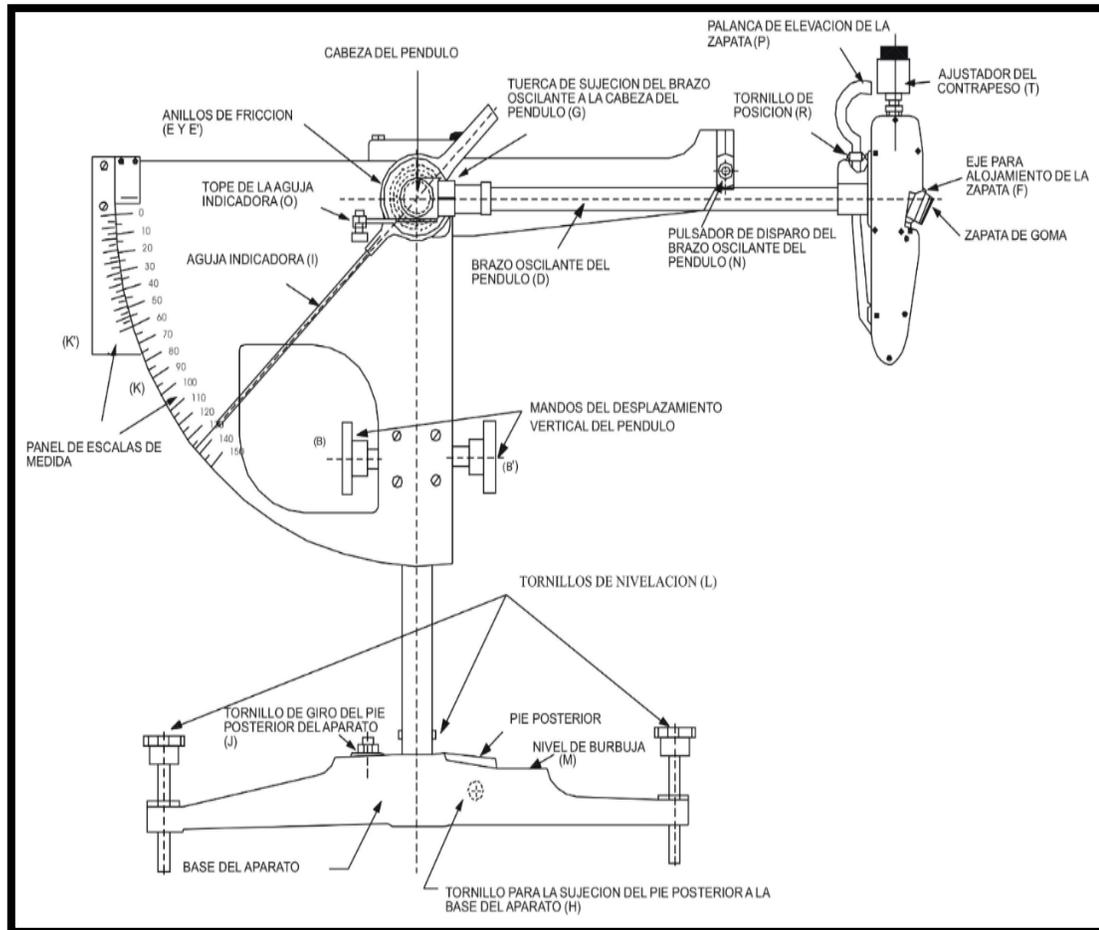
### **2.12.1. Descripción.**

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

El método de ensayo se puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas.

**Fig. 23. Detalle del Péndulo Británico**



*Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras.*

### 2.12.3 Descripción de los instrumentos de la práctica.

#### 2.12.3.1 PÉNDULO BRITÁNICO (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90)

Se emplea el aparato representado en la Figura N° 23, desarrollado y diseñado por el (Transport and Road Research Laboratory), cuyas características son:

El péndulo propiamente tal, con zapata y su placa soporte debe tener una masa de  $1500 \pm 30$  g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de  $411 \pm 4$  mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la

zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de  $24,52 \pm 0,98$  N sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m.

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, que comprende un casquillo 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 goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

#### **2.12.3.2. Características de la zapata de goma**

Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán, de 76,2 mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5 mm de espesor. La masa de conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de  $36 \pm 7$  g. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6,5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses.

#### **2.12.3.3. Dispositivo de nivelación**

El dispositivo de nivelación será del tipo tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical.

#### **2.12.3.4. Dispositivo de desplazamiento vertical**

Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B'),. La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

### 2.12.3.5 Dispositivo de disparo del brazo del péndulo

Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N), de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

### 2.12.3.6. Dispositivo de medida.

Un dispositivo consistente en una aguja, de masa 85 g y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un panel. Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E'), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación, punto cero de la escala de medida.

### 2.12.4. Procedimiento de Ensayo.

- a) **Nivelación.** Nivelar el instrumento exactamente (con precisión) girando los tornillos niveladores hasta que la burbuja este centrada en el ojo la burbuja niveladora.
- b) **Ajuste a ceros.** Se eleva la cabeza del aparato, de tal forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida. Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo. Después se desplaza la aguja indicadora hasta el tope situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante. Se denota la lectura señalada por la aguja de la escala del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo. La correlación de la lectura del cero se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción. Si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de

fricción. Si la aguja no alcanza el cero de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción.

c) Ajuste de la longitud de deslizamiento. Con el péndulo colgando libre colocar el espaciador abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto. Elevar el brazo del péndulo, entonces suavemente bajar hasta la superficie de deslizamiento otra vez se apoye o descansa en la superficie. Si la longitud de la trayectoria de contacto no está entre 124 y 127 mm (4 7/8 y 5.0 pulgadas) en superficies de prueba planos o entre 75 y 78 mm (2 15/16 y 3 1/16 de pulgada) en superficies curvas del ensaye medidos con la zapata de goma, se puede corregir ajustando la elevación del péndulo o bajar el instrumento con los tornillos niveladores frontales.

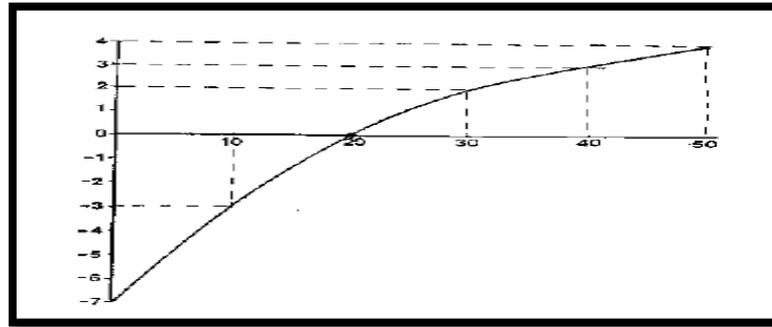
#### 2.12.5. Cálculo del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

El coeficiente de resistencia al deslizamiento es obtenido de la siguiente manera:

**ECUACIÓN 11.** Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

$$c.d.r = \frac{\text{Lectura Efectiva}}{100}$$

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. Por ejemplo, si obtenemos una lectura de promedio de 78 y tenemos una temperatura de 30°C, le adicionaremos a 78 el factor de 2 y tendremos 80.



**Fig. 24. Factor de corrección por temperatura.**

Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo de calzada serán expresados por, al menos, tres valores, correspondientes cada uno, a roderas y centro de la calzada. Cada uno de los tres valores o más valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.

En pavimentos distintos de calzadas, si no se hubiese hecho distribución de franjas, el resultado de las medidas efectuadas será el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada zona.

#### **2.12.6. Rangos del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento**

Después de diversas mediciones realizadas en distintos tipos de superficies, nace la siguiente sugerencia, la cual puede estar sujeta a cambios, según se incremente la experiencia. Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

**TABLA 11. Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento.**

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)

*Fuente: documento PIARC.*

## CAPÍTULO III

### APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE LA EVALUACIÓN DEL IFI EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE LA CIUDAD DE TARIJA.

#### 3.1. Identificación de las zonas de estudio.

Para la aplicación de la práctica se seleccionó 15 tramos según informe del Gobierno Municipal de la Ciudad de Tarija, entre ellos tenemos calles y avenidas ubicadas dentro del radio urbano de la ciudad de Tarija, los mismo fueron seleccionadas según el año que fueron ejecutados, en los que detallan el año exacto en el que el pavimento fue construido y puesto al servicio del usuario.

Para realizar las mediciones del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento y Circulo de Arena, se subdividió en partes iguales según la longitud del tramos separados por sus progresivas correspondientes, en el caso de las calles se prosiguió de la misma manera con la diferencia que las distancias entre intervalos será mucho menor que en el caso de las avenidas.

También hacer notar que se seleccionó 5 tramos construidos en el año 2016, los cuales también mediremos el IFI pero este dato lo utilizaremos como nuestro dato inicial para comparar con los tramos en estudio.

Realizamos esta acción debido a que no se cuenta con datos iniciales de IFI para nuestro análisis, consideramos que al tomar esta información estamos asumiendo que estos pavimento son nuevos y por ende tendrá las características superficiales de una pavimento nuevo, construido con la misma terminadora de pavimento y las mismas técnicas constructivas que tiene el Gobierno Autónomo Municipal de la Ciudad de Tarija.

Si nos otros pretenderíamos que tener información de entrada real de la superficie tendríamos que realizar mediciones cada año, lo cual esta asignatura solo contamos con un semestre para realizar nuestro trabajo de aplicación.

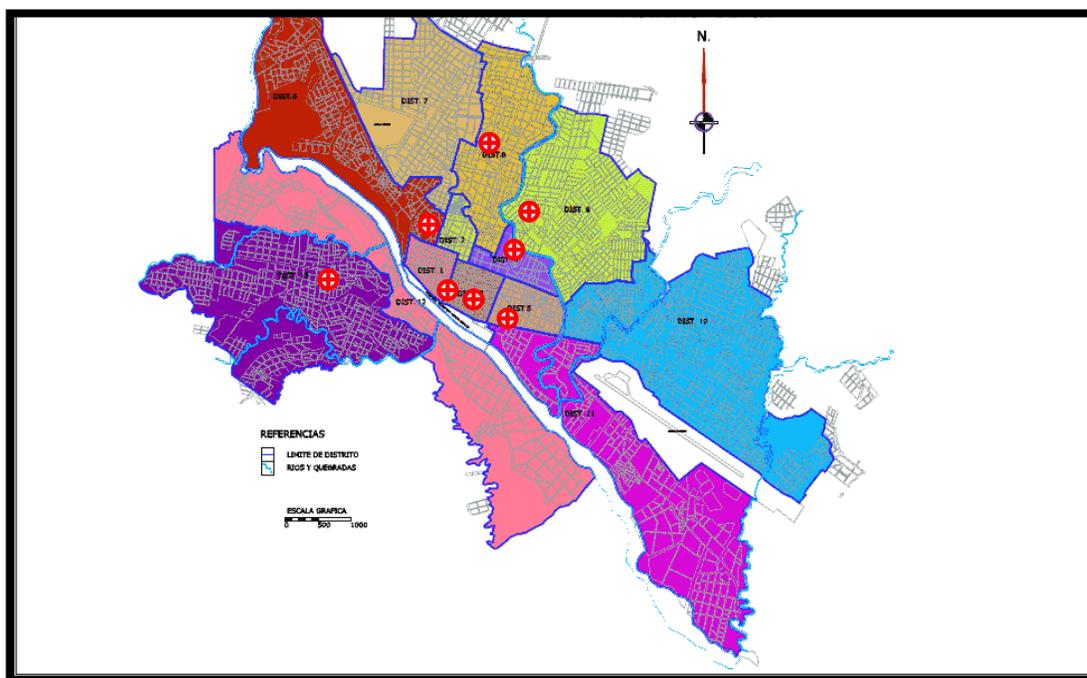
TABLA 12. Ubicación de las Zonas de Estudio

CALLE Y AVENIDAS EN ESTUDIO	AÑO DE PAVIMENTADO
<b>Av. Beni</b>	2005
<b>Av. Froilán Tejerina</b>	2008
<b>Calle Daniel Campos</b>	2009
<b>Calle Junín</b>	2009
<b>Calle Méndez</b>	2009
<b>Av. La Banda</b>	2012
<b>Av. Julio Delio Ichazu</b>	2013
<b>Calle Chorolque</b>	2013
<b>Av. Héroes de la Independencia.</b>	2014
<b>Calle detrás del SEDAG.</b>	2014
<b>Av. Potosí</b>	2014
<b>Calle Suipacha</b>	2014
<b>Av. La Costanera.</b>	2015
<b>Calle Ávila del Carpio.</b>	2015
<b>Calle Luis Campero.</b>	2015

<b>AV. La Paz</b>	2016
<b>Av. Gran Chaco</b>	2016
<b>Av. 6 de Agosto</b>	2016
<b>Av. Panamericana</b>	2016
<b>Calle Principal Barrio La Unión</b>	2016

*Fuente: elaboración Propia.*

**Fig. 25. Ubicación de las zonas de Estudio.**



*Fuente: Plano General de Tarija.*

### **3.2. Características de los tramos en estudio.**

Para realizar la medición de la Macrotextura y la Microtextura, solo se consideró en condiciones de tramos rectos y no así en curva ni en pendiente, porque el objetivo es de tener una muestra general de los pavimentos, para poder tener datos en las mismas

condiciones de fricción Longitudinal, para poder relacionar con el tiempo de servicio de cada uno de los tramos analizados en este estudio.

### **3.3. Descripción de la Zonas de Estudio.**

A continuación se describe los tramos que se consideró para el estudio, entre ellos no todos los tramos tienen la misma separación, se consideró la longitud necesaria para cada tramos.

Cabe resaltar que los tramos y los años de pavimentado fueron otorgados por el Municipio de la Ciudad de Tarija a través de su secretaria de Obras Públicas.

Para la toma de muestra se consideró la longitud del tramo total y así poder determinar el número de mediciones que podríamos realizar en cada sub tramo, en las avenidas se realizó la medición en ambos carriles de ida y de vuelta.

Para la ubicación de los puntos a medir se utilizó imágenes del Google Earth y el plano general de la Provincia Cercado para ubicar el primer punto y luego con la ayuda de una cinta métrica se dividió en segmento los tramos en estudio.

Para encontrar la longitud de la calle o avenida también se utilizó el plano general de la Ciudad de Tarija, con el cual se determinamos la longitud total de la calle o avenida para nuestro estudio

### 3.3.1. Av. Beni.

La avenida Beni es una avenida corta ubicada en el barrio el Carmen está constituida por dos carriles los cuales el de bajada comunica al centro de la ciudad y el de subida con el mercado Campesino, tiene su inicio en la avenida Panamericana y su finalización con la Av. Domingo Paz.

Tiene una longitud de 425 metros aproximadamente, de los cuales se tomaron 5 lecturas entre las progresivas (0+100\_0+180), teniendo una separación de 20 m por cada lectura realizada.

Esta avenida fue asfaltada en el 2005 y a la fecha muestra bastante deterioro superficial de la capa de rodadura, se puede apreciar a simple vista que existe material granular expuesto, con pérdida notoria de cemento asfáltico.

**Fig. 26. Detalle la Av. Beni.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.3.2. Avenida Froilán Tejerina.

La avenida Froilán Tejerina es una vía que está constituida por dos carriles uno de subida y otro de bajada, esta vía comunica desde la zona Campesino con las zonas de los barrios 3 de mayo, Los Chapacos, Las Pascuas, Fray Quebracho, entre otros nuevos barrios en crecimiento, tiene su nacimiento en la avenida Panamericana con una progresiva 0+000 y finaliza en los Barrio aledaños con una progresiva de 2+500.

Tiene su ubicación en la zona nor-este de la ciudad de Tarija, con una longitud pavimentada de 2.5 km de forma lineal, esta avenida aún tiene una proyección de crecer aún más.

Para nuestra toma de muestras se eligió una longitud de la vía descrito anteriormente entre las progresivas 1+000 hasta 1+550, separados en sub tramos de 50 metros, donde se realizó 12 puntos medidos descritos en la planilla de cálculos.

**Fig. 27. Detalles de la Avenida Froilán Tejerina.**



*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.3. Calle Daniel Campos.

La calle Daniel Campos es una vía que separa la ciudad en dos partes, debido a su gran longitud, tiene su inicio en el Barrio de la Villa Abaroa con una progresiva de 0+000 y finaliza en la Avenida Las América con una progresiva 1+990, solo cuenta con un sentido de bajada cruzando todo el centro de la ciudad.

Tiene una longitud de 1,99 km, de los cuales se seleccionó una longitud ubicado en las progresivas 1+730 hasta la progresiva 1+810 haciendo un total de 5 puntos medidos los cuales esta separados entre sí por una distancia de 20 metros.

Esta calle fue pavimentada el año 2009 por el Gobierno Municipal de Tarija, con un espesor de pavimento de 4 a 5 cm.

**Fig. 28. Detalle de la Calle Daniel Campos.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.3.4. Calle Junín.

La calle Junín es una vía que está ubicada por la zona las panosas de la ciudad de Tarija, tiene su nacimiento en la avenida las Américas con una progresiva 0+000 y su final en la calle Santa Cruz con una progresiva 1+464.

La calle Junín tiene su sentido de oeste a este, comunicando a la zona central con el Hospital General San Juan de Dios de la Ciudad de Tarija, el barrio 6 de Junio, Barrio San José y otros tiene una longitud de 1.464 Km de los cuales se seleccionó una longitud que se encuentran entre las progresivas (0+190) hasta la progresiva (0+270), donde se realizó 5 lecturas separados entre sí por una distancia de 20 metros entre sí.

Esta calle fue puesta al servicio del usuario en el año 2009 teniendo una antigüedad de 7 años, cuenta con un espesor de pavimento de 4 a 5 cm aproximadamente.

**Fig. 29. Detalle de la Calle Junín.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.3.5. Calle Méndez.

La calle Méndez es una vía que también se encuentra en el centro de la ciudad de Tarija, está ubicada en las zonas las panosas de la ciudad de Tarija, tiene su nacimiento en la avenida las Américas y su final con la quebrada el Monte.

Esta calle comunica a la zona central con el barrio San José y demás barrios cerca de la zona Avaroa de la ciudad de Tarija.

Su carpeta de rodadura fue puesta al servicio del usuario el año 2009 teniendo como tiempo de servicio de 7 años.

Al momento de la medición se pudo visualizar que su carpeta se encuentra con un grado alto de pulimiento del pavimento en la zona que se encuentran en contacto los neumáticos de los vehículos.

Para la toma de datos se consideró una longitud que se encuentra entre las progresivas (0+160) y (0+240), teniendo una separación de punto a punto de 20 metros de forma lineal.

**Fig. 30. Detalle de la Calle Méndez.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.3.6. Avenida la Banda.

La avenida la Banda es una vía que se encuentra al Oeste de la ciudad de Tarija, es una avenida que bordea el río Guadalquivir paralelo a la avenida las Américas, tiene su inicio con una progresiva 0+000 en el puente peregrino y finaliza en el puente San Martín con una progresiva de 1+400.

Esta avenida cuenta con dos carriles uno de subida y otro de bajada, fue construida el año 2012, tiene una longitud de 1,4 km.

Para aplicar la mediciones de la práctica se lo dividió en intervalos de 100 metros, separados por las progresivas, (0+000 a 1+100) haciendo un total de 1,10 kilómetros analizados partiendo desde la progresiva 0+000.

Se puede observar que tiene un tráfico moderado de circulación y también que la carpeta de rodadura se encuentre en buenas condiciones al momento de hacer la evaluación del tramo.

**Fig. 31. Detalle del Tramo Av. La Banda.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.3.7. Avenida Julio Delio Ichazú.

La avenida Julio Delio Ichazú está ubicada en la parte sur este de la ciudad de Tarija, separa a las zonas de villa Fátima con el barrio Juan XXIII, se encuentra bordeando la quebrada del Monte, tiene su inicio en la avenida Las Américas con una progresiva 0+000 y su final en la avenida Circunvalación con una progresiva 1+200, es una avenida que fue construida hace tiempo atrás pero la parte que analizaremos es un sub tramo que fue construido actualmente en el año 2012 como ampliación de esta avenida, tiene su flujo en ambas direcciones con dos carriles uno de subida y otro de bajada.

Dicha avenida tiene una longitud total de 1.205 km, de los cuales se consideró desde las progresivas 0+800 hasta la 1+200, separados igualmente por tres sub tramos diferentes, para la toma de datos se consideró una distancia de 30 metros como se aprecia en la siguiente gráfica.

**Fig. 32. Detalle del Tramo de la Avenida Julio Delio Ichazu.**



*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.8. Calle Chorolque.

La calle Chorolque se encuentra ubicada al este de la ciudad de Tarija, más propiamente en el barrio San José y Avaroa, tiene su trayectoria desde el coliseo San José hasta la calle General Trigo cubriendo una longitud de 439 metros.

Tiene una longitud de 439 metros aproximadamente, de los cuales se tomaron 5 lecturas entre las progresivas (0+300\_0+380), teniendo una separación de 20 m por cada lectura realizada.

En esta calle se realizaron las mediciones de (C.R.D) en 5 sub tramos que se encuentran en las progresivas siguientes, entre las calles Daniel Campos y Gral. Trigo, siendo este sub tramo refaccionado por la Alcaldía Municipal.

Esta calle fue asfaltada el año 2013, el sub tramo que se analizó muestra un pavimento prácticamente nuevo, con una textura aparentemente cerrada.

**Fig. 33. Detalle la calle Chorolque.**



*Fuente: Elaboración Propia.*



### 3.3.10. Calle detrás del SEDAG.

Esta calle está ubicada exactamente detrás de la Institución SEDAG (Servicio Departamental Agropecuario), en el mercado campesino.

Esta calle comunica a la calles Enrique Pantoja con la calle Comercio, siendo así una alternativa de descongestionamiento de la calle comercio.

Tiene su nacimiento en la calle Enrique Pantoja con una progresiva. 0+000 y su finalización en la calle Comercio con una progresiva 0+257, de las cuales se tomó una longitud ubicado entre las progresivas 0+100 hasta la progresiva 0+180, haciendo así un total de 5 puntos medidos con una separación de 20 metros entre sí.

Esta calle fue puesta al servicio del usuario el año 2015, con un espesor de capa de 6 a 7 cm de pavimento construida por el Gobierno Autónomo Municipal de la ciudad de Tarija.

**Fig. 35. Detalle de la Calle detrás del SEDAG.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.3.11. Av. Potosí.

La avenida se encuentra ubicada al sur-este de la ciudad de Tarija, más propiamente en el barrio la Pampa, tiene su trayectoria desde la calle Méndez hasta el puente que se encuentra al lado del Hospital Obrero.

Tiene una longitud de 1.131 metros aproximadamente, de los cuales se tomaron 5 lecturas entre las progresivas (0+600\_0+680), teniendo una separación de 20 m por cada lectura realizada.

En esta avenida se realizaron las mediciones de (C.R.D) en 5 sub tramos que se encuentran en las progresivas siguientes, entre las calles Ejercito y Avenida la Paz.

Esta calle fue asfaltada en el año 2014, el sub tramo que se analizó muestra un pavimento prácticamente nuevo, con una textura aparentemente cerrada.

**Fig. 36. Detalle la Av. Potosí.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.3.12. Calle Suipacha.

La calle Suipacha se encuentra ubicada en dirección este-oeste de la ciudad de Tarija, mas propiamente atravesando el centro de la ciudad, entre los barrio San José, San Marcos y Barrio San Roque.

Tiene una longitud de 3.442 Km aproximadamente, de los cuales se tomaron 5 lectura entre las progresivas (1+560\_1+640), teniendo una separación de 20 metros por cada lectura realizada.

En esta calle se realizaron las mediciones de (C.R.D) en 5 sub tramos que se encuentran en las progresivas ya mencionadas, entre las calles Pando y Florida, siendo este sub tramo refaccionado por la Alcaldía Municipal.

Esta calle fue asfaltada en el años 2014, el sub tramo que se analizó muestra un pavimento prácticamente nuevo, con una textura aparentemente cerrada.

**Fig. 37. Detalle la calle Suipacha.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.3.13. Avenida la Costanera.

Esta avenida es prácticamente nueva, tiene su ubicación en la zona el tejear, bordeando el río Guadalquivir de la ciudad de Tarija, tiene su nacimiento en el puente nuevo de Barrio San Gerónimo con una progresiva 0+000 y finaliza en el parque temático con una progresiva de 1+400.

Esta avenida tiene la característica que su geometría es parcialmente lineal en toda su trayectoria, tiene una longitud de 1,47 km donde solo se midió una longitud de 550 metros los cuales están ubicadas entre las progresivas 1+000 hasta la progresiva 1+550 separados entre sí por una distancia de 50 metros entre cada punto medido, haciendo un total de 12 medidas para este tramo.

Para este tramo se realizó las toma de mediadas en ambos carriles el de subida y de bajada, separados entre punto con una distancia de 50 metros lineales.

**Fig. 38. Detalle de la Avenida La Costanera.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.3.14. Calle Ávila del Carpio.

La calle Ávila del Carpio es una calle corta que tiene su ubicación entre las zonas de la Loma y el Mercado Campesino, paralela a la avenida Luis Campero.

Tiene una longitud de 259 metros, de los cuales se midió 5 puntos que se encuentran entre las progresivas 0+020 y 0+100 respectivamente con una separación de 20 metros entre sí, la misma cuenta con una sola dirección de tránsito.

Tiene su inicio en la Avenida Zamora y su final en la calle Cochabamba, esta calle cuenta con un asfaltado casi nuevo que se realizó entre el año 2015 por el Gobierno Autónomo Municipal de Tarija.

Esta calle tiene la característica que no tiene mucho tránsito vehicular, ya que es una alternativa del tránsito que transita por la avenida Luis campero.

**Fig. 39. Detalle de la calle Ávila del Carpio.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.3.15. Calle Luis Campero.

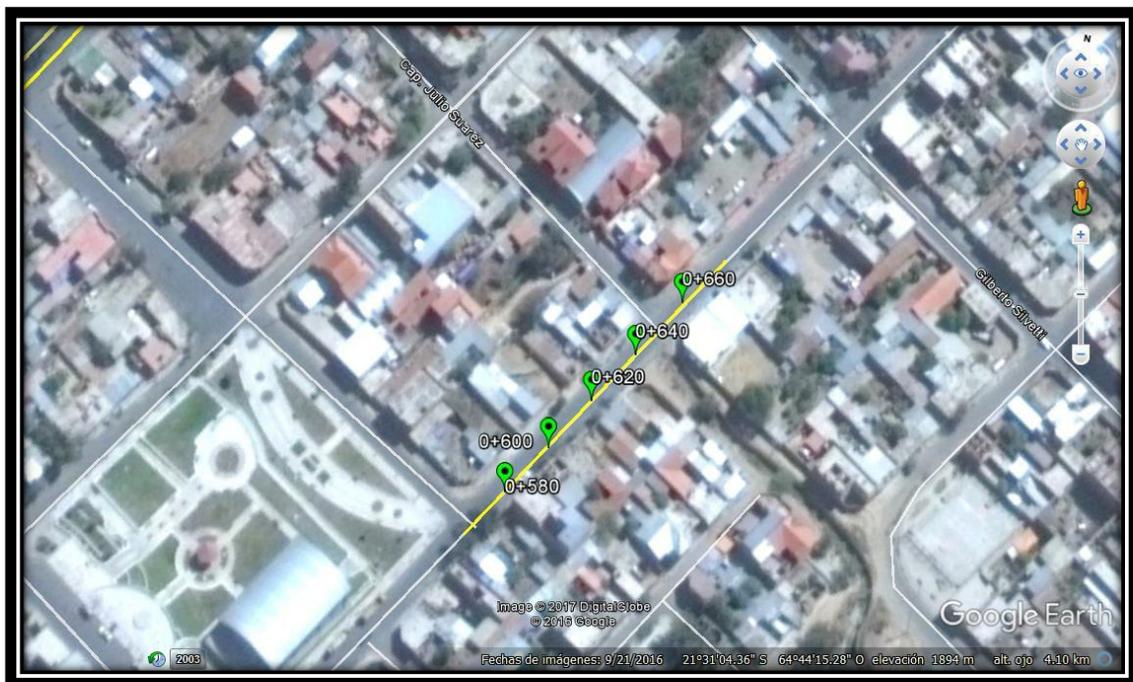
La calle Luis Campero se encuentra ubicada en dirección este-oeste de la ciudad de Tarija, más propiamente en la zona del Campesino de la ciudad, entre los barrios Defensores del Chaco y 7 de Octubre.

Tiene una longitud de 1.103 Km aproximadamente, de los cuales se tomaron 5 lecturas entre las progresivas (0+580\_0+660), teniendo una separación de 20 metros por cada lectura realizada.

En esta calle se realizaron las mediciones de (C.R.D) en 5 sub tramos que se encuentran en las progresivas ya mencionadas, entre las calles Cap. Julio Suarez y calle Ernesto Trigo, siendo este sub tramo refaccionado por la Alcaldía Municipal.

Esta calle fue asfaltada en el años 2015, el sub tramo que se analizó muestra un pavimento prácticamente nuevo, con una textura aparentemente cerrada.

**Fig. 40. Detalle la calle Luis Campero.**



***Fuente: Elaboración Propia.***

### 3.4. Para Comprender Mejor la Modalidad del cálculo del IFI Desarrollaremos un Ejemplo.

El tramo a que daremos como ejemplo es el de la Avenida Costanera, donde calcularemos solo para la progresiva 1+000

#### 3.4.1.- Obtenemos los datos de campo a través del Péndulo Británico y el Círculo de Arena.

Progres.	Mancha de Arena D (cm)				Prom.	péndulo De Fricción				Prom.	T.(°C)	Lado
1+000	33,00	32,50	31,00	30,80	<b>31,83</b>	68,00	66,00	68,00	69,00	<b>67,75</b>	40,00	I

#### 3.4.2. Verificamos el ajuste estadístico mediante la teoría de errores, para ver si los datos se ajustan.

Progres.	CÍRCULO DE ARENA				DESVIACIÓN MEDIA Dm	ERROR PORCENTUAL	PÉNDULO BRITÁNICO				DESVIACIÓN MEDIA Dm	ERROR PORCENTUAL
	ERROR ABSOLUTO Ea						ERROR ABSOLUTO Ea					
	Ea1	Ea2	Ea3	Ea4			Ea1	Ea2	Ea3	Ea4		
1+000	1,18	0,68	0,82	1,03	0,93	2,91%	0,25	1,75	0,25	1,25	0,88	1,29%

valor máximo= 2,91%

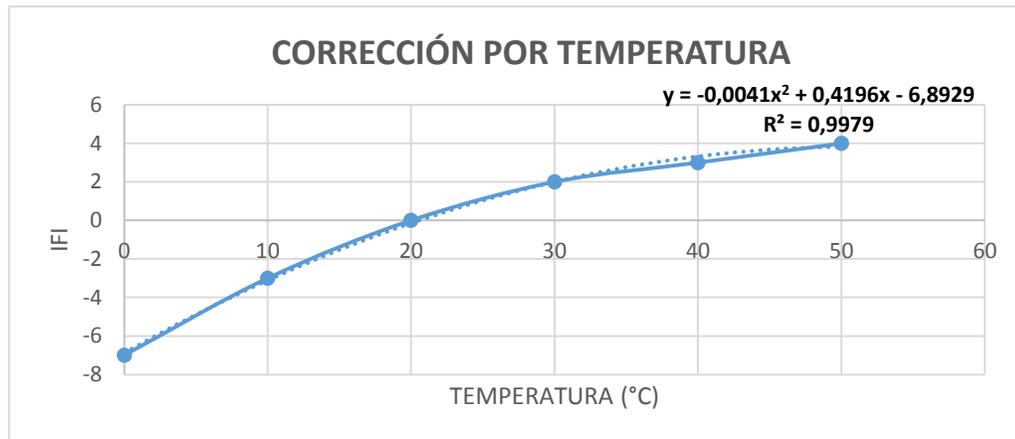
valor máximo= 1,29%

Error máximo según Norma AASHTO M-261-(96) Péndulo Británico 10%

Error máximo según Norma NLT 335/87 ensayo del círculo de arena 5%

Según los ensayos obtenidos en campo, todos los valores se ajustan a los valores máximos Establecidos según norma.

### 3.4.3. Hacemos la corrección por temperatura a través de la siguiente ecuación.



### 3.4.4. Datos ya corregidos por la ecuación de temperatura.

Progres.	T (C°)	Corr.	DATOS DEL PÉNDULO.				Prom.
			CORRE.				
1+000	40,00	3,33	71,33	69,33	71,33	72,33	<b>71,08</b>

Dp(cm)	V(ml)
<b>31,83</b>	50,00

Dp = Diámetro Promedio del Circulo de arena.

V (ml) = Volumen de arena utilizada para el ensayo =50 ml

### 3.4.5. Cálculo del IFI.

A continuación se describe un modelo de cálculo que se adoptó para el IFI (Índice de Fricción Internacional), por la PIARC (Permanent International Association of Road Congresses), a través de un experimento desarrollaron las constantes y los parámetros necesarios para el cálculo del IFI.

Para el cálculo neto es necesario contar con los datos de entrada los cuales medimos en cada tramo descrito anteriormente los cuales son los siguientes:

- 1.- BPN= Numero de Péndulo (proporcionado directamente por el péndulo británico)
- 2.- Dm= Diámetro medio del ensayo del Círculo de Arena

## EJEMPLO PARA EL CÁLCULO DEL IFI

### a.- Determinación de la Textura Media del Pavimento, mediante la siguiente ecuación.

$$H = \frac{4V}{\pi d^2}$$

Donde:

H: Es la Textura Media del Pavimento

V: Volumen de Arena utilizado.

d: Diámetro medio Del Circulo de Arena (cm)

V= 50,00 [cm <sup>3</sup> ]
d= 31,825 cm

Datos de entrada

Aplicando la fórmula tendremos que:

$$H = T_x = ((4*50) / (3,14159265*31,825^2))*10 = 0,629 \text{ mm}$$

### b.- Determinación Del Parámetro "Sp"

$$Sp = a + b T_x$$

Las Constantes "a" y "b" Según Norma ASTM E 965 son:

a	b
-11,60	113,60

Aplicando la fórmula tendremos que:

$$Sp = -11,60 + (113,60*0,629) = 59,804 \text{ Km/Hr.}$$

### c.- Determinación del Parámetro "FR60"

$$FR60 = FR_s * e^{\left(\frac{S-60}{Sp}\right)}$$

FRs: Valor de la Fricción obtenida en campo [C.R.D]

S: Porcentaje de Bloqueo= 10 [Km/Hr]

Sp: Constante de Velocidad [Km/Hr]

FRs= 71,081

$$FR60 = 71,081 * \text{EXP}((10-60)/59,804) = 30,807.$$

$$F60 = A + B * FR60$$

Las Constantes "A" y "B" Según Norma ASTM E 274 son:

A	B
0,078	0,0107

$$F60 = 0,078 + (0,0107*30,807) = 0,408$$

d.- Finalmente podemos calcular la Fricción para cualquier Velocidad con el modelo.

$$F(S) = F60 * e^{\left(\frac{(60-S)}{Sp}\right)}$$

### **3.5. Fricción a Través del Tiempo, Resultados de IFI para cada tramo en estudio.**

Luego de obtener los datos tanto de la textura del pavimento como el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento C.R.D, se procede a realizar los cálculo del Índice de Fricción Internacional IFI, calculando en tablas previamente diseñadas en EXCEL para este análisis, debido a la amplia cantidad de datos para obtener resultados, el cálculo del IFI será anexado por lo que ahora presentaremos los resultados del Índice de Fricción Internacional de cada tramo en estudio.

- ❖ La parte de arriba de las tablas de resultados nos muestra los resultados calculados del IFI, como así también la condición actual del pavimento.
- ❖ Para poder llegar a un análisis más coherente se hizo la siguiente hipótesis de análisis:  
“Pavimento que fueron terminado en el año 2016 serán los pavimentos nuevos que representarán al resto de los pavimentos, partiendo de la idea que fueron construidos por la misma institución, con las mismas técnicas, las misma máquina terminadora de pavimentado, por lo tanto asumimos que estos pavimentos serán los que nos proporcionarán los datos de entrada para la comparación en el análisis de resultados”.
- ❖ Por tanto procedimos a calcular el IFI para pavimento nuevos (2016) en 5 tramos diferentes, promediando los valores tenemos un dato de entrada de “IFI= (0.624, 59.384)”, los cuales lo usaremos para hacer las siguientes comparaciones con el resto de los tramos en estudio.
- ❖ En primera instancia se presentaran los 5 tramos de pavimentos nuevos donde se calculó y promedio el IFI, luego procederemos a comparar con el resto de los resultados obtenidos en cada tramo en estudio, teniendo estos valores de entrada podremos determinar el pulimiento o desgaste de la superficies de rodado para cada tramo en estudio, tomando como variable de análisis la edad de los pavimentos.

### 3.5.1. Resultados del IFI y Textura para todos los tramos en estudio.

Según cálculos anexados todos basados en el modelo del experimento realizado por PIARC se presenta los resultados para cada tramo, como así también su respectiva calificación del estado actual de cada superficie de rodado para cada tramo en estudio.

- ❖ Para realizar este análisis se determinó anteriormente el valor de IFI= 0.624 para pavimentos nuevos del 2016 en varios tramos distintos, este valor medio servirá como parámetro de entrada para hacer la comparación con el resto de los valores de los tramos en estudio.
- ❖ Para la calificación del pavimento nuevo y los de estudio se lo realizó según la siguiente tabla presentada por el experimento “PIARC”, donde nos muestran los rangos de IFI y su respectiva calificación de estado.

**TABLA 13. Calificación del Índice de Fricción Internacional**

Índice de Fricción Internacional [Adimensional]	Calificación
<0,5	Malo (deslizamiento del vehículo)
0,51 - 0,60	De regular a Bueno
0,61 - 0,80	Bueno
0,81 - 0,90	De Bueno a Regular
0,91>	Malo (Desgaste de neumáticos)

*Fuente: Documento PIARC.*

- ❖ De la misma manera que el IFI se presenta una tabla donde se puede calificar el valor de la textura de la superficie de rodado, tabla presentada a continuación.

**TABLA 14. Calificación de la Textura del Pavimento.**

SP (Parámetro de Velocidad)	Calificación
100>SP	Textura Abierta
SP<100	Textura Cerrada

*Fuente: Fuente: Documento PIARC*

### 3.5.2. Resumen de Cálculos del IFI en Pavimentos Nuevos (2016)

TRAMO MEDIDO	PROG.	IFI	Estado del Pavimento	SP	Textura
AV: 6 DE AGOSTO.	0+300	0,6078	Bueno	56,658	Textura cerrada
	0+320	0,6193	Bueno	57,398	Textura cerrada
	0+340	0,6078	Bueno	53,521	Textura cerrada
	0+360	0,6077	Bueno	55,316	Textura cerrada
	0+380	0,6160	Bueno	55,520	Textura cerrada
AV: GRAN CHACO.	0+200	0,6327	Bueno	59,804	Textura cerrada
	0+220	0,6110	Bueno	59,804	Textura cerrada
	0+240	0,6119	Bueno	58,042	Textura cerrada
	0+260	0,6188	Bueno	59,025	Textura cerrada
	0+280	0,6364	Bueno	60,368	Textura cerrada
AV. LA PAZ.	1+920	0,6345	Bueno	60,710	Textura cerrada
	1+940	0,6453	Bueno	60,710	Textura cerrada
	1+960	0,6078	Bueno	60,710	Textura cerrada
	1+980	0,6213	Bueno	59,357	Textura cerrada
	2+000	0,6538	Bueno	65,258	Textura cerrada
CALLE: S/N BARRIO UNIÓN.	1+920	0,6215	Bueno	58,476	Textura cerrada
	1+940	0,6055	Bueno	58,476	Textura cerrada
	1+960	0,6162	Bueno	57,186	Textura cerrada
	0+640	0,6446	Bueno	63,534	Textura cerrada
	0+660	0,6568	Bueno	65,133	Textura cerrada
AV. PANAMERICANA.	1+340	0,6196	Bueno	60,029	Textura cerrada
	1+360	0,6114	Bueno	55,827	Textura cerrada
	1+380	0,6138	Bueno	57,934	Textura cerrada
	1+400	0,6336	Bueno	61,169	Textura cerrada
	1+420	0,6474	Bueno	64,635	Textura cerrada
IFI PROMEDIO.		<b>0,6241</b>	<b>Bueno</b>	<b>59,384</b>	

- SP: Parámetro de velocidad con el cual también se puede evaluar la textura del pavimento [Km/Hr].
- IFI: Índice de Fricción Internacional [Adimensional].

### 3.5.3. Avenida Beni.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
AVENIDA: BENI						
TRAMO:	<b>(0+100_0+180)</b>					
AÑO DE PAVIMENTADO:	<b>2005</b>					
PROGRES.	<b>LADO</b>	<b>IFI</b>	<b>TEXTURA Sp</b>	<b>Condición del Pavimento</b>		
<b>0+100</b>	lzq.	0,441	91,969	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+120</b>	lzq.	0,462	103,651	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+140</b>	lzq.	0,442	101,161	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+160</b>	lzq.	0,446	103,421	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+180</b>	lzq.	0,477	103,192	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,454</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	<b>IFI (prom.)</b>	<b>Sp (prom.)</b>		<b>Desgaste en</b>	<b>11</b>	<b>años</b>
2005	<b>0,624</b>	<b>59,384</b>		<b>IFI</b>	<b>0,170</b>	
2016	<b>0,454</b>	<b>102,856</b>				

### 3.5.4. Avenida Froilán Tejerina.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
AVENIDA: FROILÁN TEJERINA						
TRAMO:	<b>( 1+000 a 1+550)</b>					
PROGRES.	<b>LADO</b>	<b>IFI</b>	<b>TEXTURA Sp</b>	<b>Condición del Pavimento</b>		
<b>1+000</b>	lzq.	0,483	103,651	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+050</b>	lzq.	0,485	103,192	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+100</b>	lzq.	0,498	104,112	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+150</b>	lzq.	0,495	108,149	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+200</b>	lzq.	0,481	112,144	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+250</b>	lzq.	0,492	108,393	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+300</b>	lzq.	0,531	117,154	De regular a Bueno		
<b>1+350</b>	lzq.	0,489	102,057	malo deslizamiento del vehículo		

<b>1+400</b>	lzq.	0,450	92,956	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+450</b>	lzq.	0,476	103,421	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+500</b>	lzq.	0,497	113,434	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+550</b>	lzq.	0,457	96,210	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,486</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA AVENIDA.						
AÑO	IFI (prom.)	Sp (prom.)		Desgaste en	8	años
2008	<b>0,624</b>	<b>59,384</b>		IFI	<b>0,138</b>	
2016	<b>0,486</b>	<b>104,355</b>				

### 3.5.5. Calle Daniel Campos

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: DANIEL CAMPOS						
TRAMO:	<b>(1+730_1+810)</b>					
AÑO DE PAVIMENTADO:	<b>2009</b>					
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Condición del Pavimento		
<b>1+730</b>	lzq.	0,476	46,029	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+750</b>	lzq.	0,491	43,817	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+770</b>	lzq.	0,480	42,021	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+790</b>	lzq.	0,481	47,352	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+810</b>	lzq.	0,490	46,934	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,484</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA AVENIDA.						
AÑO	IFI (prom.)	Sp (prom.)		Desgaste en	7	años
2009	<b>0,624</b>	<b>45,231</b>		IFI	<b>0,140</b>	
2016	<b>0,484</b>	<b>59,384</b>				

### 3.5.6. Calle Junín.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: JUNÍN						
TRAMO:	<b>(0+190_0+270)</b>					
AÑO	<b>2009</b>					
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Estado del Pavimento		
<b>0+190</b>	lzq.	0,468	45,544	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+210</b>	lzq.	0,454	42,759	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+230</b>	lzq.	0,448	42,684	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+250</b>	lzq.	0,433	41,730	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+270</b>	lzq.	0,482	43,208	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,457</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	IFI (prom.)	Sp (prom.)		Desgaste en	<b>7</b>	años
2009	<b>0,624</b>	<b>43,185</b>		IFI	<b>0,167</b>	
2016	<b>0,457</b>	<b>59,384</b>				

### 3.5.7. Calle Méndez.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: MÉNDEZ						
TRAMO:	<b>(0+160_0+240)</b>					
AÑO	<b>2009</b>					
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Estado del Pavimento		
<b>0+160</b>	lzq.	0,472	55,827	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+180</b>	lzq.	0,456	45,304	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+200</b>	lzq.	0,443	45,464	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+220</b>	lzq.	0,452	47,606	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+240</b>	lzq.	0,463	43,208	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,457</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	IFI (Prom.)	Sp (Prom.)		Desgaste en	<b>7</b>	años
2009	<b>0,624</b>	<b>47,482</b>		IFI	<b>0,167</b>	
2016	<b>0,457</b>	<b>59,384</b>				

### 3.5.8. Avenida la Banda

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
AVENIDA: LA BANDA						
AÑO: 2012						
TRAMO:	<b>(0+000_1+100);</b>					
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Condición del Pavimento		
<b>0+000</b>	lzq.	0,467	44,514	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+100</b>	lzq.	0,472	46,520	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+200</b>	lzq.	0,471	50,961	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+300</b>	lzq.	0,468	47,017	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+400</b>	lzq.	0,455	52,842	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+500</b>	lzq.	0,494	54,309	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+600</b>	lzq.	0,438	40,660	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+700</b>	lzq.	0,478	48,032	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+800</b>	lzq.	0,432	43,894	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+900</b>	lzq.	0,470	52,842	malo deslizamiento del vehículo		
<b>1+000</b>	lzq.	0,501	54,709	De regular a Bueno		
<b>1+100</b>	lzq.	0,485	52,459	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.		<b>0,469</b>				
AÑO	IFI (Prom.)	Sp (Prom.)		Desgaste en	4	años
2012	<b>0,624</b>	<b>59,384</b>		IFI	<b>0,155</b>	
2016	<b>0,469</b>	<b>50,976</b>				

### 3.5.9. Avenida Julio Delio Ichazu.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
AVENIDA: JULIO DELIO ICHAZU						
AÑO DE PAVIMENTADO: 2013						
TRAMO:	<b>(0+800_1+130);</b>					
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Estado del Pavimento		
<b>0+800</b>	lzq.	0,548	55,011	De regular a Bueno		
<b>0+830</b>	lzq.	0,516	53,716	De regular a Bueno		
<b>0+860</b>	lzq.	0,507	50,869	De regular a Bueno		
<b>0+890</b>	lzq.	0,525	61,285	De regular a Bueno		
<b>0+920</b>	lzq.	0,553	64,884	De regular a Bueno		
<b>0+950</b>	lzq.	0,513	60,596	De regular a Bueno		
<b>0+980</b>	lzq.	0,518	57,080	De regular a Bueno		
<b>1+010</b>	lzq.	0,511	50,231	De regular a Bueno		
<b>1+040</b>	lzq.	0,551	62,219	De regular a Bueno		
<b>1+070</b>	lzq.	0,503	47,946	De regular a Bueno		
<b>1+100</b>	lzq.	0,529	52,364	De regular a Bueno		
<b>1+130</b>	lzq.	0,540	52,459	De regular a Bueno		
IFI PROM.	<b>0,526</b>					
AÑO	IFI (Prom.)	Sp (Prom.)		Desgaste en	3	años
2013	<b>0,624</b>	<b>59,384</b>		<b>IFI</b>	<b>0,0978</b>	
2016	<b>0,526</b>	<b>53,747</b>				

### 3.5.10. Calle Chorolque.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: CHOROLQUE.						
TRAMO:	<b>(0+300_0+380)</b>					
AÑO:	<b>2013</b>					
PROGRES.	<b>LADO</b>	<b>IFI</b>	<b>TEXTURA Sp</b>	<b>Condición del Pavimento</b>		
<b>0+300</b>	lzq.	0,445	36,009	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+320</b>	lzq.	0,455	38,286	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+340</b>	lzq.	0,462	39,965	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+360</b>	lzq.	0,456	39,419	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+380</b>	lzq.	0,450	41,084	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,454</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	<b>IFI (Prom.)</b>	<b>Sp (Prom.)</b>		<b>Desgaste en</b>	<b>3</b>	<b>años</b>
2013	<b>0,624</b>	<b>38,953</b>		<b>IFI</b>	<b>0,170</b>	
2016	<b>0,454</b>	<b>59,384</b>				

### 3.5.11. Calle detrás del Sedag.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: DETRÁS DEL SEDAG.						
AÑO	<b>2014</b>					
PROGRES.	<b>LADO</b>	<b>IFI</b>	<b>TEXTURA Sp</b>	<b>Condición del Pavimento</b>		
<b>0+100</b>	lzq.	0,479	45,624	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+120</b>	lzq.	0,489	47,101	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+140</b>	lzq.	0,500	46,602	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+160</b>	lzq.	0,484	43,894	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+180</b>	lzq.	0,497	45,464	malo deslizamiento del vehículo		
IFI PROM.	<b>0,490</b>					
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	<b>IFI (Prom.)</b>	<b>Sp (Prom.)</b>		<b>Desgaste en</b>	<b>2</b>	<b>años</b>
2014	<b>0,624</b>	<b>45,737</b>		<b>IFI</b>	<b>0,134</b>	
2016	<b>0,490</b>	<b>59,384</b>				

### 3.5.12. Avenida Héroes de la Independencia

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
AVENIDA: HÉROES DE LA INDEPENDENCIA.						
AÑO DE PAVIMENTADO: 2014						
TRAMO: <b>(0+670_1+110);</b>						
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Estado del Pavimento		
<b>0+670</b>	Der.	0,491	49,871	malo deslizamiento del vehículo		
<b>0+710</b>	Der.	0,511	50,777	De regular a Bueno		
<b>0+750</b>	Der.	0,522	55,011	De regular a Bueno		
<b>0+790</b>	Der.	0,505	51,891	De regular a Bueno		
<b>0+830</b>	Der.	0,526	58,915	De regular a Bueno		
<b>0+870</b>	Der.	0,533	57,505	De regular a Bueno		
<b>0+910</b>	Der.	0,514	54,609	De regular a Bueno		
<b>0+950</b>	Der.	0,528	56,869	De regular a Bueno		
<b>0+990</b>	Der.	0,500	48,117	De regular a Bueno		
<b>1+030</b>	Der.	0,516	56,449	De regular a Bueno		
<b>1+070</b>	Der.	0,512	53,228	De regular a Bueno		
<b>1+110</b>	Der.	0,514	54,409	De regular a Bueno		
IFI PROM.	<b>0,514</b>					
AÑO	IFI (Prom.)	Sp (Prom.)		Desgaste en	2	años
2014	<b>0,624</b>	<b>59,384</b>		IFI	<b>0,110</b>	
2016	<b>0,514</b>	<b>53,051</b>				

### 3.5.13. Calle Potosí.

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: POTOSÍ.						
TRAMO:	(0+600_0+680)					
AÑO		2014				
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Condición del Pavimento		
0+600	lzq.	0,494	44,514	malo deslizamiento del vehículo		
0+620	lzq.	0,495	45,705	malo deslizamiento del vehículo		
0+640	lzq.	0,517	44,986	De regular a Bueno		
0+660	lzq.	0,491	44,280	malo deslizamiento del vehículo		
0+680	lzq.	0,500	43,058	De regular a Bueno		
IFI PROM.		0,500				
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	IFI (Prom.)	Sp (Prom.)		Desgaste en	2	años
2014	0,624	59,384		IFI	0,124	
2016	0,500	44,507				

### 3.5.14. Calle Suipacha

RESUMEN DE CÁLCULOS.						
CALLE: SUIPACHA.						
TRAMO:	(1+560_1+640)					
AÑO		2014				
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Condición del Pavimento		
1+560	lzq.	0,497	47,185	malo deslizamiento del vehículo		
1+580	lzq.	0,521	54,509	De regular a Bueno		
1+600	lzq.	0,484	48,722	malo deslizamiento del vehículo		
1+620	lzq.	0,526	51,985	De regular a Bueno		
1+640	lzq.	0,521	50,685	De regular a Bueno		
IFI PROM.		0,510				
RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.						
AÑO	IFI (Prom.)	Sp (Prom.)		Desgaste en	2	años
2014	0,624	59,382		IFI	0,114	
2016	0,510	51,475				

## 3.5.15. Avenida Costanera.

<b>RESUMEN DE CÁLCULOS.</b>						
<b>AVENIDA: LA COSTANERA.</b>						
TRAMO:	<b>(1+000_1+550);</b>					
PROGRES.	LADO	IFI	TEXTURA Sp	Estado del Pavimento		
<b>1+000</b>	lzq.	0,594	66,655	De regular a Bueno		
<b>1+050</b>	lzq.	0,570	56,345	De regular a Bueno		
<b>1+100</b>	lzq.	0,587	61,285	De regular a Bueno		
<b>1+150</b>	lzq.	0,586	61,867	De regular a Bueno		
<b>1+200</b>	lzq.	0,566	63,898	De regular a Bueno		
<b>1+250</b>	lzq.	0,573	70,664	De regular a Bueno		
<b>1+300</b>	lzq.	0,591	66,398	De regular a Bueno		
<b>1+350</b>	lzq.	0,567	57,612	De regular a Bueno		
<b>1+400</b>	lzq.	0,515	49,603	De regular a Bueno		
<b>1+450</b>	lzq.	0,516	50,321	De regular a Bueno		
<b>1+500</b>	lzq.	0,526	53,131	De regular a Bueno		
<b>1+550</b>	lzq.	0,540	53,131	De regular a Bueno		
IFI PROM.	<b>0,561</b>					
AÑO	IFI (prom.)	Sp (prom.)		Desgaste en	1	año
2015	<b>0,624</b>	<b>59,384</b>		<b>IFI</b>	<b>0,063</b>	
2016	<b>0,561</b>	<b>51,547</b>				

### 3.5.16. Calle Ávila del Carpio.

<b>RESUMEN DE CÁLCULOS.</b>						
<b>CALLE: ÁVILA DEL CARPIO.</b>						
<b>TRAMO:</b>	<b>(0+020_0+100)</b>					
<b>AÑO</b>		<b>2015</b>				
<b>PROGRES.</b>	<b>LADO</b>	<b>IFI</b>	<b>TEXTURA Sp</b>	<b>Estado del Pavimento</b>		
0+020	lzq.	0,559	56,137	De regular a Bueno		
0+040	lzq.	0,567	54,111	De regular a Bueno		
0+060	lzq.	0,551	48,897	De regular a Bueno		
0+080	lzq.	0,567	55,011	De regular a Bueno		
0+100	lzq.	0,548	55,827	De regular a Bueno		
<b>IFI PROM.</b>		<b>0,558</b>				
<b>RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.</b>						
<b>AÑO</b>	<b>IFI (prom.)</b>	<b>Sp (prom.)</b>		<b>Desgaste en</b>	<b>1</b>	<b>años</b>
2015	0,624	59,384		<b>IFI</b>	<b>0,066</b>	
2016	0,558	53,997				

### 3.5.17. Calle Luis Campero

<b>RESUMEN DE CÁLCULOS.</b>						
<b>CALLE: LUIS CAMPERO.</b>						
<b>TRAMO:</b>	<b>(0+580_0+660)</b>					
<b>AÑO</b>		<b>2015</b>				
<b>PROGRES.</b>	<b>LADO</b>	<b>IFI</b>	<b>TEXTURA Sp</b>	<b>Estado del Pavimento</b>		
0+580	lzq.	0,552	47,017	De regular a Bueno		
0+600	lzq.	0,575	51,423	De regular a Bueno		
0+620	lzq.	0,561	50,051	De regular a Bueno		
0+640	lzq.	0,575	50,685	De regular a Bueno		
0+660	lzq.	0,563	48,635	De regular a Bueno		
<b>IFI PROM.</b>		<b>0,565</b>				
<b>RESULTADOS FINAL DE LA CALLE.</b>						
<b>AÑO</b>	<b>IFI (prom.)</b>	<b>Sp (prom.)</b>		<b>Desgaste en</b>	<b>1</b>	<b>año</b>
2015	0,624	59,384		<b>IFI</b>	<b>0,059</b>	
2016	0,565	49,562				

### 3.6. Volumen Horario de Vehículos en las Principales Avenidas.

Para nuestro trabajo de aplicación consideramos que el tráfico vehicular es el responsable que se ocasiona el desgaste o pulimiento, por tanto procedemos a considerarlo como una variable que tiene su participación en nuestro trabajo de estudio y análisis.

Por contar con un determinado tiempo para la realización del trabajo de aplicación solo se consideró las avenidas principales de nuestro estudio para el aforo de vehículos.

El aforo de los vehículos se lo realizó considerando que las horas pico es 12:00 a 13:00, por lo cual obtendremos el volumen de vehículos que pasan en una hora por la vía en estudio.

Se clasificó tres tipos de vehículos:

- Vehículos Pesados.
- Vehículos Livianos.
- Motocicletas.

A continuación se presenta la tabla del aforo de los vehículos, los cuales circulan en ambas direcciones de la vía, tanto de subida como de bajada.

AÑO	AVENIDA	Vehículo Pesado	Vehículo Liviano	Motocicletas	Total ven/hr
2015	Costanera	5,000	341,000	12,000	358,000
2014	Héroes de la Independencia	8,000	403,000	24,000	435,000
2013	Julio D. Ichazu	10,000	297,000	21,000	328,000
2012	La Banda	7,000	488,000	36,000	531,000
2008	Froilán Tejerina	13,000	571,000	53,000	637,000

### 3.7. Calculo del Desgaste o Pulimiento del Pavimento por Tramos.

Una vez concluido los cálculos de todos los tramos elegidos para el estudio, procedemos a hacer una interpretación de resultados de cada calle y avenida donde se determinó el IFI, como también el cálculo del desgaste o pulimiento en porcentaje que sufrió en el transcurso del tiempo en servicio al usuario.

- ❖ Para obtener el pulimiento en porcentaje se procedió de la siguiente manera, se asume el valor de IFI= 0.624 como el 100% del total existente de IFI, la resta del valor inicial IFI (0.624) con el valor de IFI (Tramo), será la pérdida de Fricción para cada tramo en estudio.
- ❖ Aplicando regla de tres simple obtenemos el IFI (%), para cada tramo, que en nuestro estudio será el desgaste o pulimiento que sufrió la carpeta de rodadura durante el tiempo de uso.

0,624=)	100%
0,063=)	X %

$$\frac{100\% * 0,063}{0,624} = 10.059\%$$

Dónde: 0,063 es la resta del IFI (Nuevo) con el IFI (Tramo)

- ❖ Para nuestro caso de estudio se procedió asumiendo el valor IFI de entrada a aquellos pavimentos que fueron asfaltados en el momento de la toma de datos de los demás tramos, o sea a aquellos pavimento que no tuvieron utilización por el tránsito vehicular.
- ❖ Se procedió de esta manera ya que nuestro tiempo para realizar el trabajo de aplicación es de un semestre, lo cual no nos permite hacer una evaluación cada año.

### 3.7.1. Avenida Beni

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Condición del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
0+100_0+180	0,454	malo deslizamiento del vehículo	11	0,170	27,300%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un IFI de 0,454 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra en un estado liso con una mala adherencia neumático-pavimento, como también 0.170 del IFI perdido, el mismo que representa el desgaste o pulimiento en porcentaje de 27,300 % en 11 años de servicio al usuario.
- ❖ Para nuestro estudio este tramo es el que tiene más edad, el pulimiento de la superficie de este tramo nos indica que en 11 años el pavimento puede desgastarse en un 27 % en condiciones del mismo tráfico vehicular.

### 3.7.2. Avenida Froilán Tejerina

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Condición del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
1+000_1+550	0,486	malo deslizamiento del vehículo	8	0,138	22,092%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un IFI de 0,486 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado liso con una mala adherencia entre el neumático y el pavimento y el mismo tiene un desgaste o pulimiento de 22,047 % en 8 años de servicio al usuario.
- ❖ En comparación con el anterior tramo vemos claramente que es menor con un 5%, como también es menor con tres años, lo que nos hace pensar que mientras más viejo es el pavimento mayor porcentaje de pulimiento tendrá el pavimento.

### 3.7.3. Calle Daniel Campos

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Condición del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
1+730_1+810	0,484	malo deslizamiento del vehículo	7	0,140	22,48%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un IFI de 0,484 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado liso con una mala adherencia entre el neumático y el pavimento y el mismo tiene un desgaste o pulimiento considerable de 22,48 % en 7 años de servicio al usuario.
- ❖ El valor bajo de este tramo puede deberse al elevado transito que circula por esta calle, haciendo que este pavimento joven tenga un pulimiento elevado.

### 3.7.4. Calle Junín

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Estado del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
0+190_0+270	0,457	malo deslizamiento del vehículo	7	0,167	26,80%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un IFI de 0,457 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado liso con una mala adherencia entre el neumático y el pavimento y el mismo tiene un desgaste o pulimiento considerable de 26,80 % en 7 años de servicio al usuario, en comparación con el otro tramo de la misma edad este tiene un porcentaje mayor, esto puede deberse a que el tráfico, ya que esta calle se encuentra en pleno centro de la Ciudad de Tarija.

### 3.7.5. Calle Méndez

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Estado del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
0+160_0+240	0,457	malo deslizamiento del vehículo	7	0,167	26,74%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un IFI de 0,457 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado liso con una mala adherencia para el neumático y el mismo tiene un desgaste o pulimiento considerable de 26,74 % en 7 años de servicio al usuario.

### 3.7.6. Avenida la Banda

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Condición del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
0+000_1+100	0,469	malo deslizamiento del vehículo	4	0,155	24,79%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un IFI de 0,469 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado liso con una mala adherencia para el neumático y el mismo tiene un desgaste o pulimiento considerable de 24,79 % en 4 años de servicio al usuario.

### 3.7.7. Avenida Julio Delio Ichazu

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Estado del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
0+800_1+130	0,526	De regular a Bueno	3	0,0978	15,68%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,526 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado bueno a regular de adherencia para el neumático y tuvo un desgaste o pulimiento de 15.68 % en 3 años de servicio al usuario

### 3.7.8. Calle Chorolque

<i>TRAMO</i>	<i>IFI (TRAMO)</i>	<i>Estado del Pavimento</i>	<i>EDAD DEL PAV.(años)</i>	<i>(IFI) Perdido</i>	<i>Pulimiento %</i>
0+160_0+240	0,454	malo deslizamiento del vehículo	3	0,170	27,32%

Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,454 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado liso con una mala adherencia

para el neumático y el mismo tiene un desgaste o pulimiento de 27,32 % en 3 años de servicio al usuario.

### 3.7.9. Avenida Héroes de la Independencia

<b>TRAMO</b>	<b>IFI (TRAMO)</b>	<b>Estado del Pavimento</b>	<b>EDAD DEL PAV.(años)</b>	<b>(IFI) Perdido</b>	<b>Pulimiento %</b>
0+670_1+110	0,514	De regular a Bueno	2	0,110	17,57%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,514 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra en buenas condiciones superficialmente y sólo tuvo un desgaste o pulimiento del 17,57 % en 2 años de servicio al usuario.

### 3.7.10. Calle Detrás del Sedag

<b>TRAMO</b>	<b>IFI (TRAMO)</b>	<b>Estado del Pavimento</b>	<b>EDAD DEL PAV.(años)</b>	<b>(IFI) Perdido</b>	<b>Pulimiento %</b>
0+100_0+180	0,490	malo deslizamiento del vehículo	2	0,134	21,55%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,490 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra liso sin una buena adherencia para el neumático y tuvo un desgaste o pulimiento considerable de 21,55 % en 2 años de servicio al usuario.

### 3.7.11. Av. Potosí

<b>TRAMO</b>	<b>IFI (TRAMO)</b>	<b>Estado del Pavimento</b>	<b>EDAD DEL PAV.(años)</b>	<b>(IFI) Perdido</b>	<b>Pulimiento %</b>
0+600_0+680	0,500	malo deslizamiento del vehículo	2	0,124	19,91%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,500 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra liso sin una buena adherencia para el neumático y tuvo un desgaste o pulimiento considerable de 19,91 % en 2 años de servicio al usuario.

### 3.7.12. Calle Suipacha

<b>TRAMO</b>	<b>IFI (TRAMO)</b>	<b>CALLE: SUIPACHA.</b>	<b>EDAD DEL PAV.(años)</b>	<b>(IFI) Perdido</b>	<b>Pulimiento %</b>
1+560_1+640	0,510	De regular a Bueno	2	0,114	18,32%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,510 lo cual nos indica que el pavimento encuentra en un estado bueno de adherencia para el neumático y tuvo un desgaste o pulimiento considerable de 18,32 % en 2 años de servicio al usuario.

### 3.7.13. Avenida: La Costanera.

<b>TRAMO</b>	<b>IFI (TRAMO)</b>	<b>Estado del Pavimento</b>	<b>EDAD DEL PAV.(años)</b>	<b>(IFI) Perdido</b>	<b>Pulimiento %</b>
1+000_1+550	0,561	De regular a Bueno	1	0,063	10,108%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,561 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra en buenas condiciones superficialmente y solo tuvo un desgaste o pulimiento del 10,108 % en 1 año de servicio al usuario.

### 3.7.14. Calle Ávila del Carpio

<b>TRAMO</b>	<b>IFI (TRAMO)</b>	<b>Estado del Pavimento</b>	<b>EDAD DEL PAV.(años)</b>	<b>(IFI) Perdido</b>	<b>Pulimiento %</b>
0+020_0+100	0,558	De regular a Bueno	1	0,066	10,501%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,558 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra en buenas condiciones superficialmente y solo tuvo un desgaste o pulimiento del 10,501 % en 1 año de servicio al usuario.

### 3.7.15. Calle Luis Campero

TRAMO	IFI (TRAMO)	Estado del Pavimento	EDAD DEL PAV.(años)	(IFI) Perdido	Pulimiento %
0+580_0+660	0,565	De regular a Bueno	1	0,059	9,411%

- ❖ Promediando el índice de Fricción Internacional para todo el tramo nos da un 0,565 lo cual nos indica que el pavimento se encuentra en buenas condiciones superficialmente y solo tuvo un desgaste o pulimiento del 9,411 % en 1 año de servicio al usuario.

### 3.8. Análisis Final del Estudio.

Para esta finalidad se promedió los valores del Índice de Fricción Internacional y se lo separo por años para así llegar a construir una gráfica que relacione la Fricción con el Tiempo.

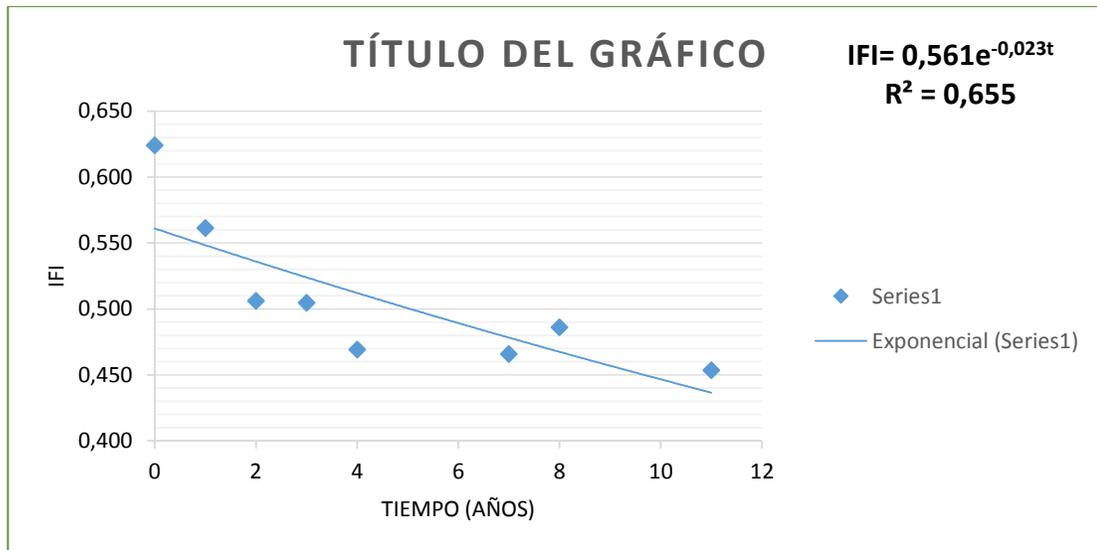
**TABLA 15. Valore promedios de IFI y Tiempo en años.**

IFI (PROM)	Tiempo en (Años)
0,624	0
0,561	1
0,506	2
0,505	3
0,469	4
0,466	7
0,486	8
0,454	11

*Fuente: elaboración propia.*

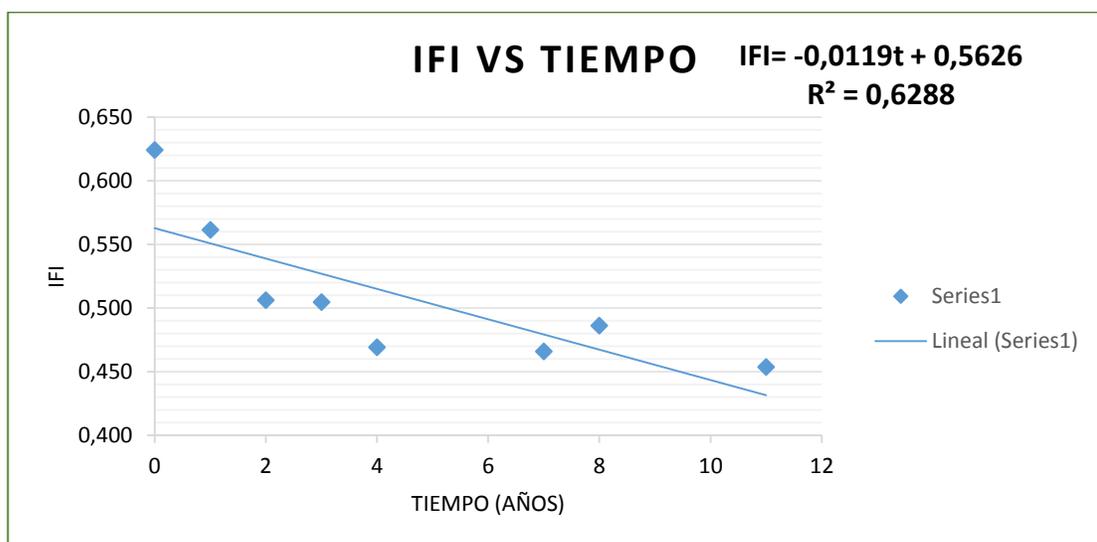
❖ A continuación se presenta las gráficas con diferentes ajustes.

**GRÁFICA 1. Variación del IFI a través del tiempo de Servicio (exponencial)**

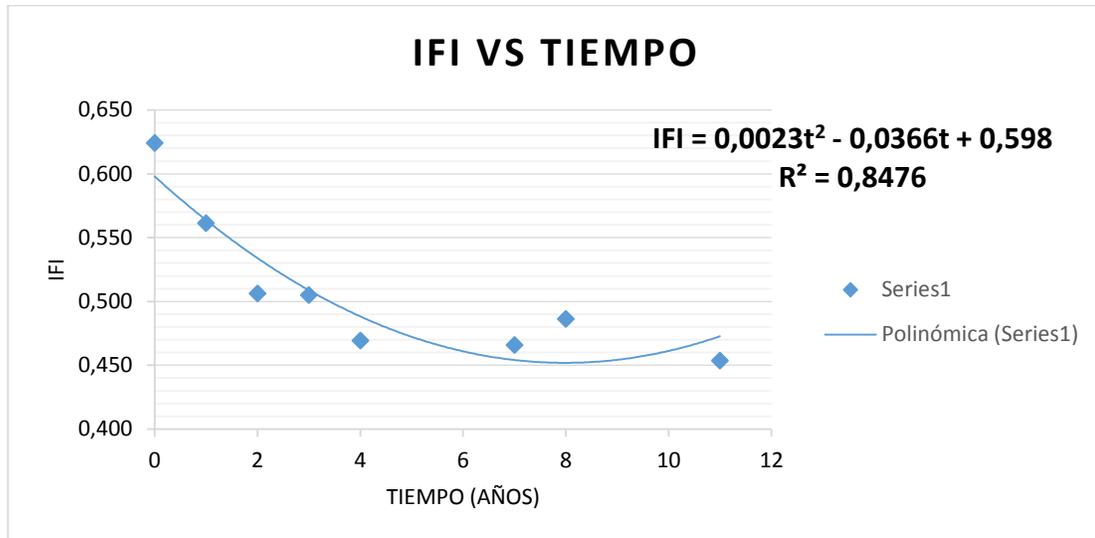


*Fuente: elaboración propia*

**GRAFICA 2. Variación del IFI a través del tiempo de Servicio (lineal)**



*Fuente: elaboración propia*

**GRAFICA 3. Variación del IFI a través del tiempo de Servicio (Polinómica)**

*Fuente: elaboración propia*

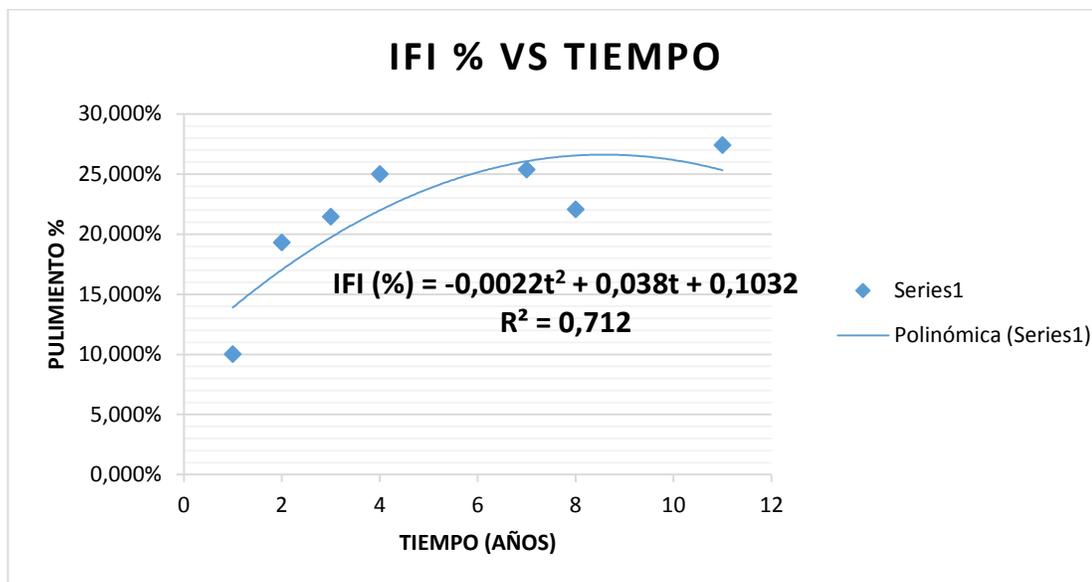
- ❖ También se presenta los datos Promediados de los Porcentajes de pulimiento y su respectiva Grafica, que reprenda el desgaste o pulimiento a través del tiempo de uso del pavimento.

**TABLA 16. Valores de IFI en porcentaje y Tiempo en años.**

AÑOS	IFI %
11	27,413%
8	22,047%
7	25,381%
4	24,988%
3	21,441%
2	19,310%
1	10,003%

*Fuente: elaboración propia*

**GRAFICA 4. Representa el desgaste en (%) vs Tiempo (Años).**



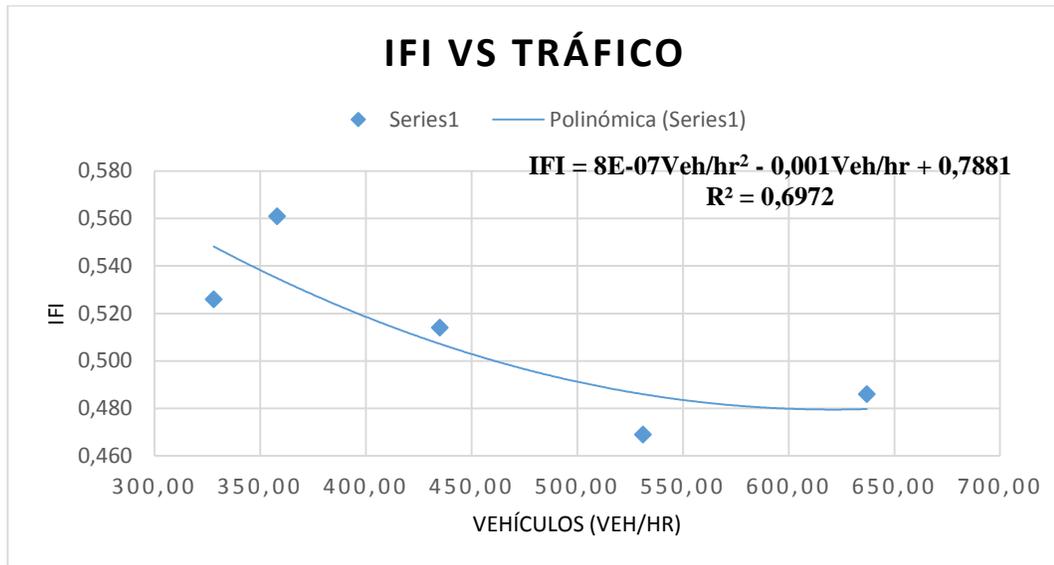
*Fuente: Elaboración Propia.*

- ❖ También se presenta la gráfica de tráfico vs IFI para poder evaluar como es el comportamiento de esta variable.

**TABLA 17. Valores de IFI en porcentaje y Tráfico (Veh/hr).**

AÑO	AVENIDA	IFI	TRAFICO (Veh/Hr)
2015	Costanera	0,561	358,00
2014	Héroes de la Independencia	0,514	435,00
2013	Julio D. Ichazu	0,526	328,00
2012	La Banda	0,469	531,00
2008	Froilán Tejerina	0,486	637,00

*Fuente: Elaboración Propia.*

**GRAFICA 5. Representación del IFI vs Tráfico (Veh/hr).**

*Fuente: Elaboración Propia.*

- ❖ Para la interpretación de los resultados de las diferentes graficas haremos uso de la tabla de la correlación de Pearson.
- ❖ La cual nos da una significancia según el valor de correlación de ajuste de cada ecuación, nos muestra el grado de relación que existe entre las dos variables analizadas para cada gráfica.

**TABLA 18. Rangos de Correlación.**

+0,96	+1	PERFECTA
+0,85	+0,95	FUERTE
+0,70	+0,84	SIGNIFICATIVA
+0,50	+0,69	MODERADA
+0,10	+0,19	MUY DÉBIL
0	0	NULA
-0,10	-0,19	MUY DÉBIL
-0,50	-0,69	MODERADA
-0,70	-0,84	SIGNIFICATIVA
-0,85	-0,95	FUERTE
-0,96	-1	PERFECTA

*Fuente: ARNOL, Introducción a la Estadística*

## CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones.

Después de haber estudiado, realizado la práctica del coeficiente de resistencia al deslizamiento y calculado el índice de fricción internacional, podemos hacer las siguientes conclusiones del estudio.

- ❖ Se realizó la medición del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento CRD, en los tramos descritos anteriormente, la práctica se la realizo en la huella longitudinal de la calle o avenida, como así también el ensayo del Círculo de arena.
- ❖ Los cálculos presentados en el capítulo III fueron basados en el método y modelo AIPCR. (Experimento Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento. Publicación AIPCR-01 -04.T-1995. Madrid.), los cuales se muestran en anexos, detalle de fórmulas y constantes utilizadas en el cálculo.
- ❖ Para el IFI de entrada se asumió la siguiente hipótesis:  
Se calculó el IFI en pavimentos 2016 (nuevos), asumimos que estos pavimentos nuevos tendrán un IFI (nuevo) que representara a los demás cuando estos fueron puestos al servicio del usuario, planteado las mismas técnicas constructivas que utilizo el Gobierno Autónomo Municipal de Tarija.
- ❖ Este trabajo de aplicación se propuso como objetivo principal la verificación del efecto de fricción ocasiona por el vehículo que afecta la superficie del pavimento debido a la interacción de los neumáticos con los vehículos, a través del tiempo en el que estaba al servicio del usuario.
- ❖ Pues bien después de obtener nuestros resultados finales se puede ver claramente que este efecto si afecta la condición inicial del pavimento, pues en el análisis de 11 años se tiene que este indicador de estado disminuye en un

27,243 %, valor mayor (0.624), valor menor (0.454) esto nos hace pensar que este porcentaje va aumentar con el paso de los años.

- ❖ En la siguiente grafica se puede apreciar con este parámetro de estado va variando con el paso de los años al servicio, donde se tiene los valores de IFI= (0.624,59.384) y para pavimento con una vida de servicio de 11 años un IFI= (0.454,102.005).

**GRAFICA 6. Variación del IFI según la edad del Pavimento.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

- ❖ También podemos concluir que los valores del IFI no siguen un comportamiento lineal, esto puede deberse a que los tramos que se analizó no tienen el mismo tránsito de vehículos, por lo cual no varían de forma equivalente.
- ❖ Por otro lado construimos las gráficas que relacionan el IFI con el Tiempo y se pudo encontrar la siguiente ecuación.

$$\text{IFI} = 0,0023t^2 - 0,0366t + 0,598$$

$$R^2 = 0,8476$$

Esta ecuación Polinómica fue la que mejor se ajustó a nuestro datos con un grado de relación de 0.920 que según la correlación de Pearson es Significativa, la misma que puede utilizarse en la evaluación de la superficie del pavimento flexibles por las autoridades encargadas.

Donde:

t= es el tiempo en años.

$$\text{IFI (\%)} = -0,0022t^2 + 0,038t + 0,1032$$

$$R^2 = 0,712$$

- ❖ También construimos la ecuación que relaciona el pulimiento en porcentaje con el tiempo de servicio en años.
- ❖ Finalmente podemos concluir que se pudo verificar que sí existe variación de la Fricción con el paso de los años en pavimentos flexibles de la Ciudad de Tarija y que esa variación es directamente proporcional al paso de los años o sea que con el paso de los años el pavimento flexible va perdiendo agarre con el neumático de los vehículos.
- ❖ Finalmente concluimos que se debe hacer un mantenimiento de aquellas vías donde los valores de IFI sean menor a 0.45, esto ayudará a conservar y armonizar las vías urbanas de la provincia Cercado Tarija.

#### 4.2. RECOMENDACIONES.

- ❖ Operar correctamente el péndulo británico, el armado y la práctica dependerán de la buena operación que se haga al instrumento de medición.
- ❖ Evitar hacer la práctica en días que se encuentren con mucho viento, esto puede alterar los resultados del círculo de arena.
- ❖ Usar un buen equipo de señalización vial para evitar percances con los conductores de los vehículos.
- ❖ Se recomienda a las autoridades encargadas de realizar el pavimentado de las vías en la ciudad de Tarija, en el momento de pavimentar no hacer el esparcido de material fino sobre la carpeta de rodado esto hace que un pavimento nuevo no tenga la adherencia necesaria, como también se restringe la circulación del agua en temporadas de lluvia, ocasionado que se produzca fallas por falta de evacuación del agua del pavimento flexible.
- ❖ Gobierno Municipal realice ensayos con el péndulo y la mancha de arena en cada obra terminada de pavimentado, para contar con información de entrada y así tener datos más precisos de la superficie de rodado.