

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Unas de las ventajas de un pavimento flexible son de ofrecer las condiciones de comodidad y confort adecuadas para el usuario la misma que debe estar ligada a la seguridad, para lo cual. El analizar y evaluar la textura superficial del pavimento es de gran importancia sobre todo en condiciones húmedas de funcionalidad. Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar para ver si cumple con las características de una buena adherencia entre el neumático y el pavimento y tengamos conciencia de cómo debe ser la textura superficial en pavimentos flexibles terminados para ayudar con la seguridad de los usuarios de una carretera.

Una de las grandes preocupaciones de los administradores e ingenieros de infraestructura vial, es el mantenimiento de los pavimentos.

La preservación del valor del patrimonio de las áreas pavimentadas depende, fundamentalmente, del mantenimiento de rutina con el fin de brindar buenas condiciones de uso y de seguridad de los usuarios.

El contenido del trabajo es realizar un análisis de la falla funcional en la textura de la superficie de un pavimento flexible terminado. Realizando una evaluación de la microtextura, con el objeto de evaluar la fricción y textura del pavimento para la prevención de accidentes en condiciones húmedas, y ayudar con la seguridad de los usuarios de una carretera.

El aporte teórico está basado en la teoría de pavimentos flexibles, sumando el análisis y evaluación de la textura superficial del pavimento, la aplicación práctica, se refiere a la preocupación de problemas reales por lo que se quiere generar una conciencia en tener presente el control de este parámetro para reducir y evitar los accidentes de vehículos y

más aún en condiciones húmedas del pavimento, donde se aplicara las prácticas y estudios necesario. La relevancia social es muy importante, ya que, al tratarse de un problema real, la solución ayuda a la seguridad de los transeúntes y la prevención de mayores accidentes.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.2.1. Situación problemática.**

En el transcurso de la vida útil del pavimento se van presentando fallas. Estas fallas pueden ser estructurales y funcionales, estas últimas afectan a la textura de la superficie que es la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera e interviene en la adherencia entre el neumático y el pavimento y más aun con la presencia de agua.

Es importante considerar a la textura superficial de la vía, ya que es sabido que la adherencia va disminuyendo conforme pasa el tiempo y está directamente relacionada con la resistencia al deslizamiento y la fricción que se verán más afectados con la presencia de agua. Cuando el pavimento se encuentra seco, la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento es mucho mayor que cuando una superficie tiene presencia de agua. Estas consideraciones son importantes para brindar a los usuarios confort y seguridad.

Al no realizarse un análisis en la consideración del estado de la textura del pavimento que permita corregir fallas funcionales y de mantenimiento pueden ocasionar que en un futuro se dé un incremento del número de accidente vehiculares y más aún en tiempos de lluvia donde se encuentra el pavimento con presencia de agua y es donde más puede darse el llamado patinaje y el vuelco de los vehículos.

El análisis del control de la fricción y textura del pavimento son de gran importancia en la evaluación de la funcionalidad del mismo. 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. Estas consideraciones ayudan a hacer conciencia del estado actual del pavimento y la medida de mantenimiento y cuidado que se tenga que dar con el objeto de reducir accidentes y brindar seguridad a los usuarios.

### **1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿De qué manera el análisis del control de la fricción y textura de pavimentos propone una reducción de los accidentes viales?

### **1.3. DELIMITACIÓN TEMPORAL**

Tiempo presente

### **1.4. DELIMITACIÓN ESPACIAL**

- Área de trabajo; Pavimentos.
- Base de operaciones; calles del Barrio Guadalquivir.
- Aplicación; carreteras y calles pavimentadas.

### **1.5. OBJETIVOS.**

#### **1.5.1. Objetivo generales.**

Analizar la fricción y textura del pavimento en calles del barrio Guadalquivir para hacer un control de la superficie y de su uso en condiciones húmedas de funcionalidad para la reducción y prevención de accidentes.

#### **1.5.2. Objetivos específicos.**

- Identificar las condiciones de la superficie en calles del barrio Guadalquivir.
- Especificar métodos de estudio de la fricción y textura del pavimento.
- Determinar la macrotextura.
- Estudiar la microtextura en seco.
- Analizar la microtextura en húmedo.
- Realizar un muestreo de la microtextura de las calles del Barrio Guadalquivir.
- Analizar los parámetros que afectan a la textura superficial del pavimento.
- Estudiar las condiciones existentes en la superficie de contacto entre el neumático, la velocidad de circulación y el pavimento mojado.

### **1.6. ANÁLISIS Y POSICIÓN DEL INVESTIGADOR.**

El principal interés que motivó y orientó esta investigación es la importancia de que los ingenieros civiles tengamos una referencia y análisis del control de la fricción y textura superficial en pavimentos flexibles terminados para ayudar con la seguridad de los usuarios de una carretera considerando el uso de la misma en condiciones húmedas con el fin de evitar y reducir los accidentes automovilísticos. Para poder medir la resistencia

al deslizamiento se requiere evaluar la textura superficial del pavimento. La textura superficial se divide en dos componentes: La macrotextura y la microtextura. Es importante que se cree conciencia, ya que una de las mayores responsabilidades del ingeniero de caminos es proporcionar seguridad al usuario.

## **1.7. PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS Y SUS VARIABLES.**

### **1.7.1. Formulación de la Hipótesis.**

Las condiciones de saturación de la superficie reducen la microtextura.

### **1.7.2. Identificación y conceptualización de variables.**

- **Variables independientes:**

Niveles de saturación en la superficie.

- **Variables dependientes:**

Microtextura, Macrotextura

## **1.8. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.8.1. Identificación del alcance**

El alcance de la investigación es causal o explicativo, respondiendo a un diseño experimental debido a que la variable independiente será manipulada, orientada a las características de un cuasi experimento.

### **1.8.2. Unidad de estudio o muestreo**

Punto de medición

### **1.8.3. Población y muestra**

Infinito, todos los puntos de medición

### **1.8.4. Tamaño de la muestra**

- La población es finita  $N = 180$  ensayos y por la cantidad tiene un comportamiento de la distribución normal.
- Una investigación es exigente y por lo menos se tiene que establecer como nivel de confianza  $NC = 95\%$ , de acuerdo a ello la variable estandarizada es  $Z = 1,96$  (tabla 11.2)
- El margen de error es:  $e = 0,05 \%$ , deducido por el nivel de confianza que propone el investigador.

- Por el corto tiempo establecido para la tarea, se puede asumir una varianza de  $\sigma = 0.10$

$$ni = \frac{\sum Ni \cdot \sigma^2}{N * \left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{\sum Ni \cdot \sigma^2}{N}}$$

$$ni = \frac{18}{180 * \left(\frac{0.05}{1.96}\right)^2 + \frac{18}{180}}$$

$$ni = 82$$

### 1.8.5. Selección de las técnicas de muestreo

**Tabla1.1.** Selección de las técnicas de muestreo.

Fase de la investigación	Estado de humedad	Espacios	Puntos por espacio	Muestras
Pruebas de microtextura péndulo británico	nivel 1	5	9	45
	nivel 2	5	9	45
	nivel 3	5	9	45
	nivel 4	5	9	45
			Total Ensayos=	180

**Fuente.** Elaboración propia

Se sacara la media y se hará 30 valores en uno de los espacios seleccionados aleatoriamente y con estos resultados realizar un estadístico obteniendo la media para hacer la prueba de hipótesis.

## 1.9. MEDIOS

**Figura. 1.1.** Balanza.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.2.** Arena calibrada.



**Fuente:** Elaboración

**Figura. 1.3.** Flexometro.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura.1.4.** Embudo.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.5.** Tubo de ensayo.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.6.** Disco para esparcir



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.7.** Brocha.



**Fuente:** Elaboración

**Figura. 1.8.** Dispensador de Agua.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.9.** Termómetro.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.10.** Contenedor de agua.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.11.** Plastilina.



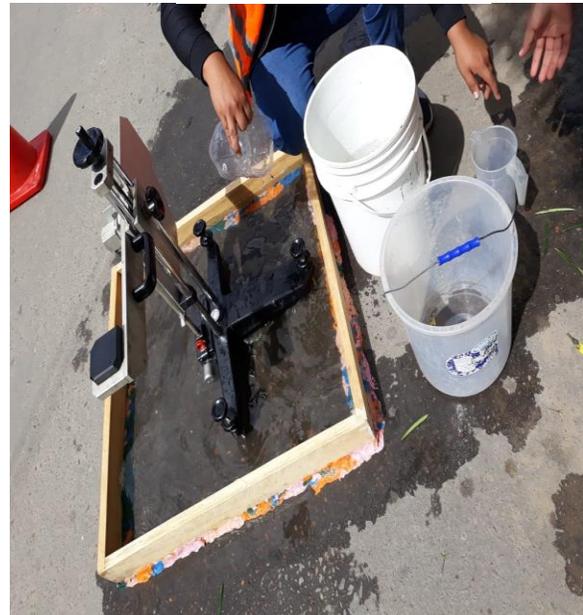
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.12.** Péndulo británico.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 1.13.** Agua.



**Fuente:** Elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **2.1. PAVIMENTOS.**

Se define al pavimento como la estructura formada por varias capas superpuestas, relativamente horizontales, de varios centímetros de espesor y distintos materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante o terreno natural, la cual ha de soportar las cargas ocasionadas por el tráfico. También se puede definir como un conjunto de materiales seleccionados que reciben en diferente grado la carga de los vehículos que transitan y las transmiten a las capas inferiores distribuyéndolas con uniformidad. Según AASHTO (1993) existen dos puntos de vista para definir un pavimento: el de la Ingeniería y el del Usuario. De acuerdo a la Ingeniería, el pavimento es un elemento estructural que se encuentra apoyado en toda su superficie sobre el terreno de fundación llamado subrasante. Esta capa debe estar preparada para soportar un sistema de capas de espesores diferentes, denominado paquete estructural, diseñado para soportar cargas externas durante un determinado periodo de tiempo. Desde el punto de vista del usuario, el pavimento es una superficie que debe brindar comodidad y seguridad cuando se transite sobre ella es decir debe proporcionar un servicio de calidad óptimo.

Los pavimentos están clasificados de acuerdo a las características de su capa superficial o capa de rodadura, teniéndose los siguientes:

- Pavimento flexible
- Pavimento rígido
- Pavimento mixto
- Pavimento articulado

##### **2.1.1. Características funcionales y estructurales.**

Los pavimentos deben poseer unas características funcionales que corresponden a las superficiales de la capa de rodadura y que afectan especialmente a los usuarios. Por otra parte, han de tener también unas características estructurales que interesan más específicamente a los técnicos encargados del proyecto, de la construcción y de la conservación de los pavimentos y de la exploración de las carreteras.

Entre las características superficiales o funcionales podemos citar:

La resistencia al deslizamiento obtenida a través de una adecuada textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación y cuya influencia en la seguridad de esta es decisiva.

La regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que afecta a la comodidad de los usuarios en mayor o menor medida según las longitudes de onda de las deformaciones y la velocidad de circulación.

El ruido de rodadura, tanto en el interior de los vehículos (usuarios) como en el exterior (entorno).

La reflexión luminosa, importante para la conducción nocturna y para el aprovechamiento de las instalaciones de iluminación.

El desagüe superficial rápido para limitar cuando llueve el espesor de la película de agua, disminuyendo así el riesgo de hidroplaneo y las proyecciones de agua a los vehículos que circulan detrás.

Por otra parte, las características estructurales están relacionadas con las de los materiales empleados en las capas del pavimento. Su diferente deformabilidad da lugar a discontinuidades en las tensiones o en las deformaciones en los planos de contacto; por ello, el proyecto de una capa ha de armonizarse con el de las restantes a fin de conseguir un buen comportamiento estructural conjunto.

Mediante el empleo de modelos de cálculo, se puede evaluar la respuesta de la estructura a las cargas del tráfico en términos de tensiones, deformaciones y desplazamiento.

### **2.1.2. Tipos de pavimento.**

Actualmente se cuenta con una gran variedad de pavimentos que, atendiendo los criterios tradicionales, básicamente pueden clasificarse en:

- Pavimento flexible.

- Pavimento rígido.

- Pavimento compuesto.

- Pavimento flexible con refuerzo de pavimento rígido.

- Pavimento rígido con refuerzo de pavimento flexible.

- Pavimento semirrígido.

- Adoquinados.

- Emboquillados.

## **2.2.PAVIMENTO FLEXIBLE.**

Se Denomina pavimento flexible al que está constituido por una carpeta o capa bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, habitualmente de materiales o suelos granulares, denominadas, base y subbase; la primera, situada sobre la segunda. Sin embargo, en función de las características particulares de cada caso, es posible prescindir de cualquiera de estas dos capas.

Se denomina **pavimentos** flexibles a aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings.

La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base.

La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

Las capas de un pavimento flexible suelen ser: capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base. En muchas ocasiones se prescinde de esa capa sub – base.

### **2.2.1. Capas del pavimento flexible.**

El pavimento flexible es una estructura que está conformada por las siguientes capas:

**Figura. 2.1.** Capas del pavimento flexible.



**Fuente:** Ortiz, Angie. Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible. 2017.

**Carpeta asfáltica.** Está compuesta por mezclas asfálticas y materiales pétreos.

**Base.** Es una capa granular ubicada bajo la carpeta asfáltica.

**Subbase.** Es una capa granular construida con materiales más económicos que los de las anteriores capas.

**Subrasante.** Es la superficie que soporta la estructura de pavimento, está compuesta por terreno natural, aunque en ocasiones es necesario mejorar las características del terreno para lo cual se requiere un proceso de mejoramiento.

### **Características de las diferentes capas de un pavimento flexible**

- **Terreno de fundación:**

De su capacidad de soporte depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Si el terreno de fundación es pésimo; por ejemplo, si el material que lo compone tiene un alto contenido de materia orgánica, debe desecharse éste material y sustituirse por otro de mejor calidad. Si el terreno de fundación es malo y se halla formado por un suelo fino, limoso o arcilloso, susceptible de saturación, habrá de colocarse una sub-base granular de material seleccionado antes de poner la base y capa de rodamiento.

Si el terreno de fundación es regular o bueno y está formado por un suelo bien graduado que no ofrece peligro de saturación, o por un material de granulometría gruesa, posiblemente no se requerirá la capa de sub-base. Finalmente, si el terreno de fundación

es excelente; es decir, que tiene un valor soporte, elevado y no existe, además, la posibilidad de que se sature de agua, bastaría colocar encima la capa de rodamiento.

- **Sub-base**

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante. Tiene por objeto:

Servir de capa de drenaje al pavimento. Controlar, o eliminar en lo posible, los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.

Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las napas freáticas cercanas, o de otras fuentes, protegiendo así el pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento

15 del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es grande.

El material de la sub-base debe ser seleccionado y tener mayor capacidad soporte que el terreno de fundación compactado. Este material puede ser: arena, grava gruesa, escoria de los altos hornos, o residuos del material de cantera. En algunos casos, es posible emplear para sub-base el material de la sub-rasante mezclado con arena gruesa, cemento, etc.

El material ha de tener las características de un suelo A1 o A2, aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior a 35% y su índice plástico no mayor de 6. El CBR, no podrá bajar de 15%.

Si la función principal de la sub-base es servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular, y la cantidad de material fino (limo y arcilla) que pase el tamiz número 200 ha de ser mayor del 8%

- **Base**

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la sub-base y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

El material pétreo que se emplee en la base, deberá llenar los siguientes requisitos: Ser resistente a los cambios de humedad y temperatura.

No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.

- **Capa de rodamiento**

Aquel sobre la cual se va desarrollar el rodamiento del vehículo sobre el pavimento. El éxito de la capa de rodamiento depende del grado con que se obtenga una mezcla con la óptima gradación de agregados y porcentaje de ligante bituminoso, para ser durable y para resistir la rotura y el desgaste superficial, sin volverse inestable bajo las cargas del tráfico y las condiciones climáticas esperadas. El uso de un procedimiento de diseño de laboratorio es esencial para asegurar que una mezcla sea satisfactoria. Cuando una capa de rodamiento, jornada por una mezcla de suelo y agregado, deba permanecer por varios años sin tratamiento superficial bituminoso, o in una capa superficial impermeable, deberá especificar un mínimo del 8% para el material que pase el tamiz N 200, un límite líquido de 35% y un índice plástico comprendido entre 4y 9.

Su función será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar posibles infiltraciones del agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Asimismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (mayor de 3”).

- **Carpeta de desgaste o sello**

Está formada por una aplicación bituminosa de asfalto y tiene por objeto sellar la superficie, impermeabilizar, a fin de evitar la infiltración de las aguas de lluvia. Además, protege la capa de rodamiento contra la acción abrasiva de ruedas de los vehículos. Los materiales bituminosos que se emplean pueden ser asfaltos líquidos, emulsionados, o de penetración, y alquitranes. Los tipos de asfaltos generalmente empleados son: RC-3, RC-4, RC-5; MC-4, MC-5; RS-1; penetración 85-100, 100-120 y los alquitranes RT-6, RT-7 y RT-8. Estos materiales son aplicados por medio de un distribuidor a presión, en cantidades que varían de 0,5 a 1,5 litros por metro cuadrado, según las características de la capa de sello. Estos últimos se emplea principalmente en la construcción de caminos de bajo costo, son excelentes materiales para imprimación. Se distinguen también por su capacidad de mezclar bien con agregados húmedos. Los sellos pueden o no llevar una

cubierta secante (blotter) de arena o agregado fino. En caso de colocarse una cubierta de material pétreo, a cantidad a emplearse varía, generalmente, entre 5 y 10 kg por m<sup>2</sup>.

### **2.2.2. Funciones de las capas de un pavimento flexible.**

#### **Subbase granular**

**Función económica.** Una de las principales funciones de esta capa es netamente esfuerzo en la subrasante sea igual o menor que su propia resistencia, puede ser construido con material de alta económica; en efecto el espesor total que se requiere para que el nivel de calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y, no obstante, resultar más económica.

**Capa de transición.** La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menos cavando su calidad.

**Disminución de las deformaciones.** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperaturas (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

**Resistencia.** La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado a la subrasante.

**Drenaje.** En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

#### **Base granular**

**Resistencia.** La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en la intensidad apropiada.

**Función económica.** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase respecto a la base.

### **Carpeta**

**Superficie de rodamiento.** La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

**Impermeabilidad.** Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

**Resistencia.** Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

### **2.2.3. El uso de pavimentos flexibles**

El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como pueden ser vías, aceras o estacionamientos. La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es poder soportar la carga total en el conjunto de capas.

Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base.

El objetivo del diseño del pavimento es producir una estructura que distribuya las cargas del tráfico de manera eficiente y minimice el costo de vida útil del pavimento. El término “vida útil” refiere a duración estimada que una estructura puede tener, cumpliendo con la función para la cual ha sido creada. Los costos incurridos en este período incluyen: costos de las obras (construcción, mantenimiento y valor residual) y los costos del usuario (retrasos en el tráfico, accidentes, consumo de combustible, desgaste de los neumáticos, etc.). El diseño del pavimento es esencialmente un proceso de evaluación estructural, necesaria para garantizar que las cargas del tránsito se distribuyan de manera tal que las tensiones desarrolladas en cada capa estén dentro de las admisibles de ese material. Implica además la selección de materiales para las

diferentes capas, el cálculo del espesor requerido y la determinación de su rigidez. En consecuencia, las propiedades mecánicas de los materiales que constituyen cada una de las capas en un pavimento son importantes para diseñar la estructura

Un pavimento es entonces una compleja estructura que debe cumplir varias funciones diferentes entre sí. En general, la estructura flexible del pavimento consta de dos conjuntos característicos de capas con diferentes propiedades mecánicas: las capas de agregados “suelos” asentados en la subrasante y las capas “ligadas” por asfalto, asentadas sobre las primeras. Esta separación de la estructura se basa en los diferentes comportamientos mecánicos de cada capa y constituye la base para el desarrollo de cualquier metodología de diseño de pavimentos flexibles.

#### **2.2.4. Ventajas del pavimento flexible**

- **Regularidad.**- Con los nuevos equipos de transporte y tendido es posible lograr acabados muy tersos, mediante tiros continuos sin juntas de construcción más que al inicio y fin de cada jornada.

Sin embargo, en la práctica todavía se aplica tecnología antigua, en la selección de materiales, en el diseño de las mezclas asfálticas como en los procesos constructivos lo que dificulta lograr buenos acabados, además estas mismas condiciones aunadas a deficiencias en el proyecto generan que algunos pavimentos flexibles presenten deformaciones plásticas prematuramente, afectando así las condiciones de durabilidad.

- **Resistencia al derrapamiento y Drenaje superficial.**- La resistencia al derrapamiento se da primordialmente por la textura de la capa de rodadura que permite proporcionar un buen coeficiente de fricción neumático pavimento y por un buen drenaje superficial que impida la formación de una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento, evitando así el acuaplaneo. La textura a su vez tiene como componentes en lo que se refiere a la fricción a

La macrotextura, que se define como la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm, está regida principalmente por la granulometría de la capa de rodamiento.

o La microtextura, que se define como la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm, y es una característica intrínseca del agregado, es propiamente la textura superficial de las partículas de agregado y tiende a reducirse con el tiempo por la acción abrasiva del tránsito vehicular y el clima, a esta disminución se le conoce como pulimento, y depende de la composición mineralógica de los agregados, por ejemplo, los agregados calcáreos son muy susceptibles a pulirse

Con una buena selección de materiales y la tecnología actual de diseño y construcción de pavimentos asfálticos se tienen ahora una gama de opciones que permiten obtener superficies de rodamiento con excelentes características de resistencia al derrapamiento, atendiendo tanto a la textura como al drenaje superficial. Las carpetas drenantes, las mezclas de granulometría discontinua, sistemas como SMA, CASAA, entre otros, y aún las mezclas densas han sido empleadas a nivel mundial con muy buenos resultados. También se tienen muy buenas opciones para los problemas de superficies deslizantes con base a tratamientos superficiales. Sin embargo en la práctica nacional persiste la costumbre de emplear agregados locales por razones de costo inicial, aunque no tengan características adecuadas, además que las nuevas tecnologías de diseño y construcción de mezclas aún no están lo suficientemente extendidas. Por ello es frecuente encontrar superficies con problemas de derrapamiento de origen, que se van agravando con el tiempo al aparecer el fenómeno de pulimento y/o roderas que impiden un drenaje adecuado incrementando así el riesgo de acuaplaneo.

- **Capacidad estructural.-**

Tradicionalmente los pavimentos flexibles se han concebido para vidas de proyecto estimadas entre 10 y 15 años, sin embargo, errores en los proyectos, el empleo de materiales con calidad insuficiente, procesos de construcción obsoletos, control de calidad insuficiente, falta de control en los pesos vehiculares, entre otros factores han provocado que sea frecuente que los pavimentos no lleguen a la vida útil esperada. En otros lugares del mundo es común encontrar que los pavimentos flexibles se proyecten para durar entre 20 y

30 años, siendo común que se logre cumplir con estas expectativas. Los avances en la tecnología de modificación de ligantes asfálticos, en la de diseño de mezclas y el uso de materiales pétreos de mejor calidad ha permitido que en la actualidad se logren mezclas asfálticas con resistencias muy superiores a las convencionales, con la tecnología actual es posible lograr mezclas con módulos dinámicos superiores a los 10,000MPa (más del triple de las que se obtienen con una convencional). Asimismo estos avances tecnológicos han permitido, con diseños diferentes a los de las mezclas de alto módulo, incrementar la resistencia al agrietamiento por fatiga.

La combinación de estos elementos ha permitido un enfoque más racional en el diseño de pavimentos flexibles, diseñando el pavimento con diversos tipos de mezclas asfálticas, cada una de ellas diseñada para resistir los esfuerzos más importantes a que se verá sometido conforme a la posición que ocupen en la estructura del pavimento. Como se mencionó anteriormente a esta metodología se le conoce como pavimentos de larga duración que en varios países se están implementando exitosamente, con vidas esperadas de 50 años, similares a las de los pavimentos rígidos

**Reciclable.-** La reutilización de mezclas asfálticas que han cumplido con su vida útil ha sido de uso común por un largo tiempo, los avances tecnológicos han permitido una amplia gama de opciones para el utilización de los materiales recuperados de los trabajos de rehabilitación de pavimentos flexibles, estos materiales pueden ser empleados, tanto en capas estructurales como en superficies de rodamiento, formando parte de mezclas en caliente, mezclas tibias, mezclas en frío, en capas de base estabilizada o como parte de una base granular.

- **Mantenimiento.-** Como cualquier obra de ingeniería civil los pavimentos flexibles requieren que las acciones de mantenimiento sean adecuadas y oportunas para que brinden un buen servicio durante la vida útil proyectada. Los equipos modernos de auscultación pueden proporcionar información abundante y precisa para observar las condiciones en que se encuentran, tanto en lo estructural como en lo funcional, así como la evolución de estas características. Los avances en la tecnología brindan una gama muy amplia de alternativas de

mantenimiento, tanto con materiales de mejor calidad como en procedimientos más eficientes, adicionalmente los sistemas de gestión, alimentados con información adecuada pueden ser una herramienta muy valiosa para optimizar la aplicación de los recursos disponibles.

#### **2.2.5. Duración de un Pavimento flexible**

Para pavimentos flexibles, la estrategia de diseño seleccionado deberá presentar un mínimo inicial de duración de ocho años antes de que sea obligatoria la superposición. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 a 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil o de servicio.

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

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.

#### **2.2.6. Tipos de fallas en pavimentos flexibles.**

Las fallas son las condiciones que se presentan en un pavimento cuando este pierde las características de servicio para las que fue diseñado

**Falla estructural:** es una diferencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de este. En su etapa más avanzada la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento a la que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas de proyecto. Son las que originan un deterioro en el paquete estructural del pavimento, disminuyendo la cohesión de las capas y afectando su comportamiento frente a cargas externas. Comprende los defectos de la superficie de rodamiento, cuyo origen

es una falla en la estructura del pavimento, es decir, de una o más capas constitutivas que deben resistir el complejo juego de solicitudes que imponen el tránsito y el conjunto de factores climáticos. Para corregir este tipo de fallas es necesario un refuerzo sobre el pavimento existente para que el paquete estructural responda a las exigencias del tránsito presente y futuro estimado.

**Falla funcional:** los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor de índice de servicio son:

- Las ondulaciones longitudinales
- Las deformaciones transversales
- La textura de la superficie
- El porcentaje de baches y áreas reparadas

La falla funcional en sí, consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro. Los dos tipos de fallas no están necesariamente relacionados, pero pueden establecerse que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá en un plazo más o menos corto la falla funcional. En ocasiones una falla funcional que no se atiende a su debido tiempo, puede también conducir a una falla estructural.

Las fallas funcionales, en cambio, afectan la transitabilidad, es decir, la calidad aceptable de la superficie de rodadura, la estética de la pista y la seguridad que brinda al usuario. Las fallas de superficie se pueden jerarquizar de acuerdo con la prioridad de la reparación y con su efecto sobre la comodidad y seguridad para el usuario y sobre el estado del pavimento, lo cual permite planificar los recursos y las soluciones

### **2.2.7. Textura superficial del pavimento**

La textura superficial es la característica geométrica de la superficie de rodado formada por áridos y asfalto en unión. Se define como “la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera” (Archútegi et al, 1996).

Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar. Según la AIPCR (1995) la textura superficial se clasifica en Megatextura, Macrotextura y Microtextura, que dependen de la longitud de onda. 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. La textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras. La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interface neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

Al evaluar la textura superficial hay que saber diferenciar entre la “microtextura”, la “macrotextura”, la “megatextura” y la regularidad superficial.

Las características de resistencia al deslizamiento de un pavimento, se pueden definir considerando que la textura superficial está determinada por dos tipos de condiciones: microtextura y macrotextura. La microtextura corresponde a la textura superficial propia de los agregados pétreos. Esta textura es la fundamental para la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades. Se pueden distinguir dos niveles de microtextura: áspera y pulida. En el caso de los agregados pétreos de arenas y granitos con alto contenido de sílice, se tiene una elevada resistencia al pulimiento y, por lo tanto, se conservará una microtextura áspera. En cambio, si se trata de agregados con alto contenido de piedra caliza, se tendrá en éstos un pulimiento muy rápido bajo la acción del tráfico vehicular, por lo que en corto tiempo se tendrá una microtextura pulida.

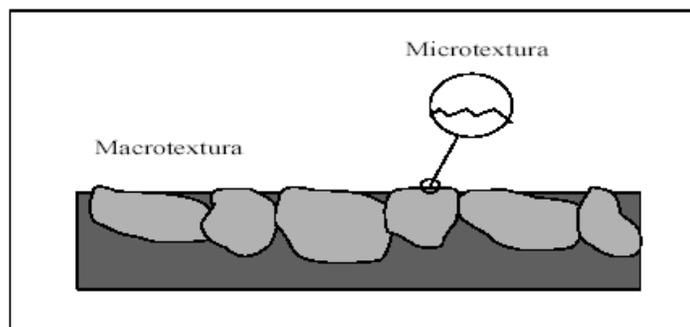
La macrotextura se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos debido a su distribución (separación

entre partículas) y a la mayor o menor elevación de las partículas por sobre el plano base de la superficie del pavimento. Se pueden definir tres niveles de macrotextura: profunda, media y lisa. Las superficies con macrotextura profunda son aquellas en que la irregularidad proveniente de la elevación de las partículas sobre el plano base, es grande. Este tipo de textura es característica de pavimentos con agregados compuestos por gravas de tamaño apreciable, en la superficie de rodadura. Las superficies con macrotextura profunda presentan una buena resistencia al deslizamiento, aun a altas velocidades. La macrotextura lisa corresponde a superficie uniformes, en las cuales la irregularidad debida a la altura de las partículas no es apreciable a simple vista. En este tipo de superficies se produce una fuerte caída del roce a medida que aumenta la velocidad de los vehículos, haciendo mayor la incidencia del estado de los neumáticos en la resistencia al deslizamiento.

#### 2.2.8. Macrotextura y microtextura del pavimento.

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. 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.

**Figura. 2.2.** Definición de Macrotextura y microtextura.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

- **Macrotextura**

La macrotextura es la textura superficial del propio pavimento. Son el conjunto de partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. Esta es importante ya que permite evacuar el agua de la superficie, de tal manera que ésta se pueda quedar en

las depresiones. Es así como existirá mayor contacto entre el neumático y el pavimento. Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una macrotextura gruesa.

**Importancia de la macrotextura** En general, en pavimentos de hormigón en estado seco, existe una adecuada fricción superficial. Sin embargo, una delgada película de agua sobre el mismo, reducirá el contacto directo con el neumático, y generará una reducción de la fricción en la calzada. Cuando el neumático encuentra una delgada película de agua, sobre la calzada, ésta es canalizada a través del dibujo del neumático y de la textura superficial del pavimento. Sin embargo, si la capa de agua superficial es significativa y la velocidad del vehículo suficientemente elevada, la capacidad de drenaje superficial provista por el neumático y la textura del pavimento puede llegar a ser insuficiente. En estas condiciones, el agua se acumulará en la parte frontal de la rueda, pudiendo provocar que los neumáticos pierdan contacto con el pavimento, situación que se conoce como hidropneumático, pudiendo generar pérdida de tracción y que el usuario pierda el control sobre el vehículo.

Si bien existen distintas alternativas para reducir el potencial de hidropneumático, un incremento de la profundidad de la textura superficial incrementará la capacidad de drenaje por canalización en la interface con el neumático. A su vez, el agua en el pavimento también contribuye a la generación de salpicaduras y spray cuando los vehículos circulan sobre la calzada, reduciendo la visibilidad de los otros conductores, por lo que un incremento de la macrotextura generalmente reduce ambos fenómenos.

La macrotextura también tiene una notable incidencia sobre el ruido neumático – pavimento, propiedad que en los últimos años ha comenzado a tenerse en consideración, al momento de definir la textura más adecuada.

- **Microtextura**

Es la textura superficial de los agregados pétreos. Una forma indirecta de medir la microtextura es mediante el coeficiente de fricción. La microtextura siempre es necesaria, hasta en una carretera seca. Es por este motivo que está directamente asociada con la resistencia al deslizamiento. Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una microtextura áspera. Es importante considerar a la textura superficial al término de la construcción de la vía, ya que es

sabido que la adherencia va disminuyendo conforme pasa el tiempo debido a que ocurre un pulimento de los agregados causado por el paso del tránsito.

- **Limitantes en la macrotextura y la microtextura**

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura, mejor será la capacidad de evacuación de agua en la interface neumático pavimento, sin embargo, esta elevada capacidad de drenaje hace que exista un mayor nivel de ruido. También, cuanto mayor sea el valor de la microtextura habrá mejor adherencia entre el neumático y el pavimento; sin embargo, esto produce un mayor desgaste de los neumáticos. Es importante entonces, encontrar un punto en que ambas se compensen. Por otro lado, como se ha podido apreciar, la textura superficial de un pavimento está directamente relacionada con la resistencia al deslizamiento y la fricción

### **2.2.9. Ensayos para evaluar la macrotextura y microtextura de un pavimento**

Existe una gran variedad de ensayos que pueden ser utilizados para evaluar la adherencia entre el neumático y el pavimento. El inconveniente que tienen estos ensayos es que cada uno de ellos tiene un resultado independientemente del otro. En este sentido, la AIPCR publicó el Experimento Internacional de Comparación y Armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento. Este estudio consiste en obtener un indicador internacional llamado Índice de Fricción Internacional (IFI), de tal manera que las mediciones se puedan realizar con cualquiera de los equipos que se utilizan en todo el mundo y puedan compararse sus características con cualquier pavimento de cualquier lugar del mundo.

- **Ensayos para evaluar la Macrotextura del pavimento.**

Hoy en día existen diferentes tipos de ensayos para evaluar la macrotextura de un pavimento. Estos ensayos varían mucho, tanto en la rapidez del trabajo, tipo de medida y costo del equipo. Estos ensayos se dividen en tres tipos de medida:

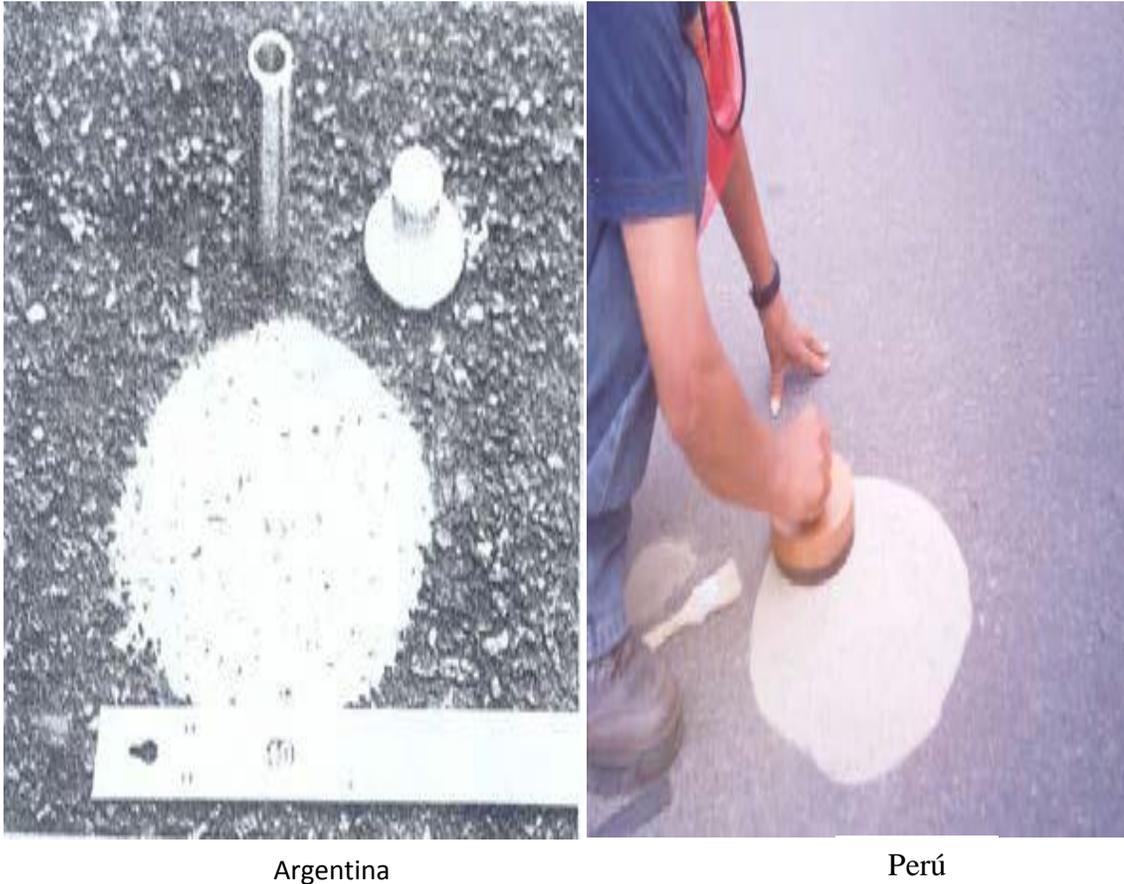
#### **Método volumétrico**

Este método mide la profundidad media de textura (MTD) y se mide con el método del

#### **Círculo de la arena:**

Este ensayo es la manera más antigua que se tiene de evaluar el pavimento.

**Figura. 2.3.** Diferencia de textura en pavimento de Argentina y de Perú.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

Consiste en extender sobre la superficie del pavimento un volumen conocido de arena fina (que pase la malla 50 y la retenga la 100). Luego se extiende la arena formando un círculo. La medida de su diámetro permite determinar el área del círculo y al dividirlo entre el volumen se obtiene la profundidad promedio de las depresiones.

Actualmente también se está realizando este ensayo con esferas de vidrio, como se muestra en la figura, de tal manera que la homogeneidad del material sea más confiable.

**Figura.2.4.** Círculo de arena. Equipo Participante A8  
Experimento Internacional AIPCR (1995)



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

Este ensayo es útil para valores de textura superiores a los 0,25mm y se debe hacer en un pavimento seco, limpio y sin viento. Se debe también indicar la escala de textura de la superficie ensayada.

A pesar que este ensayo es el más utilizado presenta una serie de inconvenientes:

- a) Funciona en tramos específicos, y no a nivel de red.
- b) Se debe cortar el tránsito en una carretera abierta.
- c) Es difícil garantizar la homogeneidad de la arena o de las esferas de vidrio por lo que se puede producir errores. Por otro lado, en Cuba se ha elaborado un método similar al círculo de arena, cuyo procedimiento es el siguiente.

#### **El Marco portátil de textura**

Este ensayo consiste en:

- Un marco de madera de 70 x 20 x 1 cm. sin fondo ni tapa
- A todo lo largo, por ambos bordes longitudinales hay una escala graduada en centímetros.
- Una banda metálica de 200 x 50 x 1cm. favorece en los primeros 5 cm. el inicio del ensayo coincidiendo con el cifrado de cero.
- 25cm<sup>3</sup> de arena granulada que pasa por el tamiz 50 y retiene el tamiz 100.

- Paleta de madera fina de 3mm de espesor y 19mm de ancho para extender y enrasar la arena.
- La altura de la macrotextura (HAMm.) se determina de la siguiente forma:

$$HA(mm) = \frac{12,5}{La(cm)}$$

La(cm) = longitud de la mancha de arena. Como se puede observar, este ensayo está basado en el círculo de la arena teniendo la ventaja que es aún más económico.

### **Perfilómetros:**

Obtienen un perfil digital de la macrotextura. Existen tres tipos en general: láser, fotoseccionamiento y aguja de contacto. El más común es el del tipo láser. Estos equipos miden la altura de un punto sobre el pavimento. Normalmente van instalados en otros equipos pudiendo ser desplazados para su medida hasta una velocidad de 72Km/h. Uno de los Perfilómetros más usados es el siguiente:

#### **Perfilómetro Video Láser RST 24**

La evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de intensidad de muestreo ha originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura. Con este equipo se determina un valor de la Media Cuadrática de Textura (RMS) de las amplitudes del perfil filtrado de determinadas bandas de longitud de onda. Se obtienen valores medios cada 20m y para cada uno de los tres rangos de medidas, es decir, evalúa la megatextura, la macrotextura gruesa y la macrotextura fina. La textura se mide usando cámaras láser de 32 kHz. Para cada rodada, pudiéndose configurar para cada usuario.

### **Drenómetros**

Miden el tiempo de drenaje. Se utiliza un cilindro transparente con un volumen. Este cilindro tiene un obturador de caucho entre el cilindro y el pavimento. El cilindro es llenado de agua y se mide, con un cronómetro, el tiempo que tarda en evacuar el agua. El inverso del tiempo representa la medida de textura, que es la que determina el flujo de agua. El tiempo en una superficie perfectamente lisa sería infinito.

- **Equipos para evaluar el Coeficiente de fricción (Microtextura)**

Existen diferentes tipos de ensayo que evalúan la resistencia al deslizamiento. Entre estos están: SCRIM, Mu Meter, Griptester y el Péndulo TRRL. Debido a la importante

influencia del agua en esta propiedad es que estos métodos han optado por normalizar los ensayos en condiciones de pavimento mojado. Sin embargo no existen a nivel internacional desarrollos homogéneos en la evaluación del coeficiente de fricción, siendo éstas diferencias las siguientes:

a) Tipo de Medida (Rueda)

- Rueda Oblicua

En estos equipos la rueda se mantiene formando un ángulo con respecto al sentido del movimiento sin aplicársele ninguna otra condición al frenado. Con estos equipos se mide el esfuerzo lateral, perpendicular al plano de rotación. La velocidad relativa entre el neumático y el pavimento de estos equipos es equivalente a la velocidad del vehículo (V) por el seno del ángulo de deriva ( $\alpha$ ). Esto quiere decir que es un equipo que mide a velocidades bajas, a pesar que la velocidad del vehículo sea alta. Los equipos más usados con rueda oblicua son el SCRIM y el Mu-Meter.

- Rueda bloqueada

Estos equipos producen un bloqueo del 100%, por lo que la velocidad relativa entre el neumático y el pavimento es igual a la del vehículo. La fuerza se mide durante un segundo al aplicar el freno con la rueda completamente inmovilizada, por lo que detectan la fricción máxima. El equipo más usado es el Trailer ASTM y el GRIPTESTER. Rueda parcialmente bloqueada (con grado de deslizamiento fijo) Normalmente operan con un grado de deslizamiento del 10 al 20%. Tienen la ventaja de medir en forma continua, a diferencia de los equipos con rueda bloqueada. La velocidad relativa entre el neumático y el pavimento de estos equipos es la velocidad de deslizamiento propio del equipo multiplicada por el tanto por uno de grado de deslizamiento.

Los equipos más comunes son el Saab y el Runway Friction Tester.

- Rueda parcialmente bloqueada (con grado de deslizamiento variable).

Estos equipos permiten hacer un barrido dentro de una escala de valores, como también pueden encontrar la fricción máxima. Por lo que con estos equipos se obtiene la mayor información sobre las características de fricción. Uno de los pocos equipos diseñados de esta manera es el Norsemeter.

- Zapata

Se les conoce también como patín de goma. Son zapatas de caucho usadas en equipos que generalmente se miden con velocidades muy bajas, como 10 Km/h.

Los equipos que usan zapatas más usados, son: ROSAN (USA), DF Tester, Péndulo Británico.

b) La velocidad de medida. Los equipos han sido diseñados para medir con velocidades distintas unos de otros. Por ejemplo, el SCRIM mide velocidades de hasta 90Km/h, el Mu-Meter a 80Km/h, mientras que el Péndulo Británico lo hace a 10Km/h.

c) El espesor de la película de agua. La mayoría de estos equipos al avanzar van dejando una película de agua. El espesor de ésta película será diferente de acuerdo a cada equipo, por ejemplo, 0.5mm o 1mm de espesor. En el caso de otros equipos es necesario rociar agua antes de evaluar el pavimento, como es el caso del Péndulo Británico.

### **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 esvíaje 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 TRAILER ASTM de Estados Unidos y el GRIPTESTER de Gran Bretaña.

**Figura. 2.5** Equipo GRIPTESTER



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

Consiste en un trailer 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%.

### **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:**

**Figura.2.6.** Equipo SCRIM.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

Compuesto por un camión cisterna de 5000 litros de capacidad para regar agua en la calzada, proporcionando una lámina de 1mm. De espesor a su paso. Tiene una rueda de medición formando un ángulo de 20° con el vehículo. 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:**

**Figura.2.7.** Equipo MU-METER.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

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

**Equipos que miden ambos coeficientes de fricción (microtextura)**

### **PÉNDULO DE FRICCIÓN TRRL**

**Figura.2.8.** Péndulo de fricción TRRL.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

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.

### **2.2.10. Factores más importantes que afectan la adherencia entre el neumático y el Pavimento.**

Cuando uno se pregunta cuáles deben ser las propiedades principales para que un pavimento sea considerado seguro, una de las primeras ideas es que posea una buena adherencia con los neumáticos. Esto es importante a lo largo de toda la superficie del pavimento, sobre todo en zonas de frenado, curvas o donde exista presencia de agua. Sin embargo esta adherencia no depende únicamente del pavimento, sino también de las características del tránsito y del clima. Los factores más importantes que afectan la adherencia entre el neumático y el pavimento son los siguientes:

- En la superficie del pavimento, como la condición geométrica, la naturaleza del árido, la cantidad de asfalto, la textura superficial, la presencia de agua en el pavimento, la presencia de contaminantes (polvo, caucho), entre otros.
- En el tránsito, como la velocidad del vehículo, la clasificación de la vía y del peso de los vehículos y los neumáticos.
- En el clima, como la variación de la temperatura.

#### **Superficie del pavimento.**

- **Condición geométrica.**

La fricción de un pavimento está distribuida en sentido longitudinal y transversal. Por tal motivo se debe tener cuidado con la adherencia en muchos puntos de la superficie del pavimento. Al momento del diseño geométrico de la vía se toma en cuenta este problema, asumiendo un factor de fricción admisible que representa a la fuerza de fricción con respecto a la velocidad.

- **Naturaleza del árido.**

El desgaste y el pulimento que afectan directamente a la adherencia entre el neumático y el pavimento se deben a la naturaleza y forma del árido. Los agregados que tienen superficies lisas pueden ser recubiertos con una película de asfalto, pero la película se adherirá de modo más efectivo a superficies rugosas. Las gravas naturales, tales como las de río, generalmente tienen una textura superficial lisa, partículas redondeadas y generalmente tienen baja resistencia al pulido.

Las gravas trituradas producen frecuentemente una textura superficial rugosa al cambiar la forma de las partículas. La resistencia al desgaste de un agregado depende de la rigidez, debiendo estar constituida por minerales de cierta dureza. Una mezcla de componentes duros con suaves es lo más adecuado.

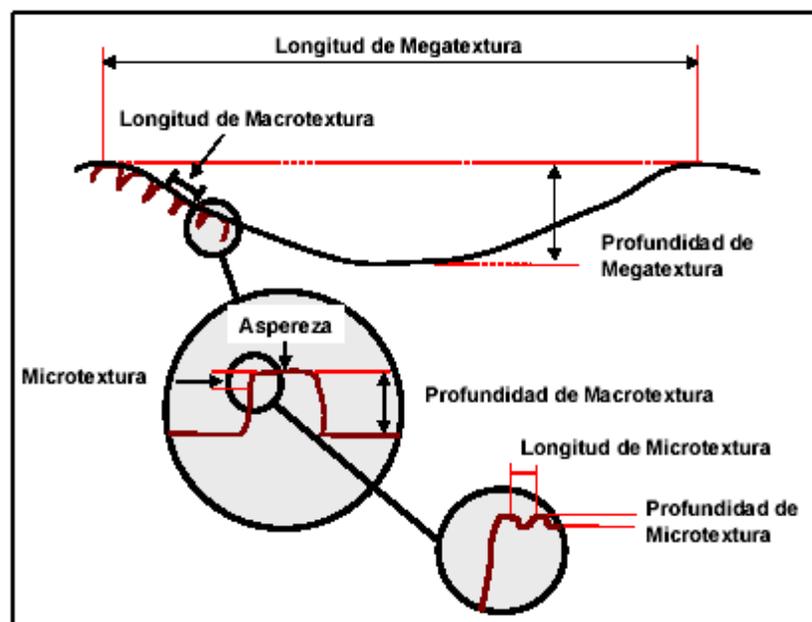
- **Cantidad de asfalto**

El exceso de asfalto disminuirá el roce entre el neumático y el pavimento al ocasionar exudación del mismo.

- **Textura superficial**

La textura superficial es la característica geométrica de la superficie de rodado formada por áridos y asfalto en unión. Se define como “la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera” (Archútegi et al, 1996). Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar. 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.

**Figura.2.9.**Tipos de textura de un pavimento (AIPCR, 1995).



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

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. 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.

- **Presencia de agua en el pavimento**

Cuando el pavimento se encuentra seco, la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento es mucho mayor que cuando una superficie tiene presencia de agua. Las condiciones existentes en la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento mojado es la siguiente.

- **Presencia de contaminantes**

La presencia de mucho polvo o tierra hará que la porosidad que presenta el pavimento se termine, por lo que la adherencia entre el neumático y el pavimento se verá disminuida. Por otro lado, si hubiera presencia de caucho sobre el pavimento hará que se pierda adherencia también.

## **Tránsito**

- **Velocidad del vehículo**

A medida que la velocidad aumenta existe la tendencia a una disminución del rozamiento debido a que disminuye el área de contacto entre el neumático y el pavimento. Se observa que al aumentar la velocidad, se reducirá la adherencia.

Esto está relacionado con la categoría de la vía. El tipo y volumen de tráfico que circule por la vía influirá en el desgaste del pavimento. Mientras mayor sea la carga, mayor será el desgaste del pavimento y por ende, las características adecuadas para una textura superficial correcta, disminuirán.

- **Neumáticos**

Los neumáticos de un automóvil, y el aire que los llena constituyen el único contacto con el pavimento. Dado que el tipo de neumático es un aspecto asociado a la tecnología del automóvil, en el presente trabajo sólo se mencionarán sus características principales y algunos tipos de neumáticos especialmente diseñados para evacuar el agua y resistir el deslizamiento.

- **Presión de inflado:**

La presión de inflado de los neumáticos depende de las especificaciones dadas en cada automóvil. En el Perú son muy pocos los usuarios que utilizan correctamente la presión de inflado y siempre tienden a inflar más la llanta de lo especificado. Este es un problema muy grave ya que la fricción entre la superficie del neumático y la superficie del pavimento disminuirá si el neumático posee una gran presión de inflado debido a que habrá menor área de contacto.

Por este motivo, para que haya una adecuada adherencia neumático – pavimento, es de vital importancia que las autoridades creen conciencia de ello y regulen el tema.

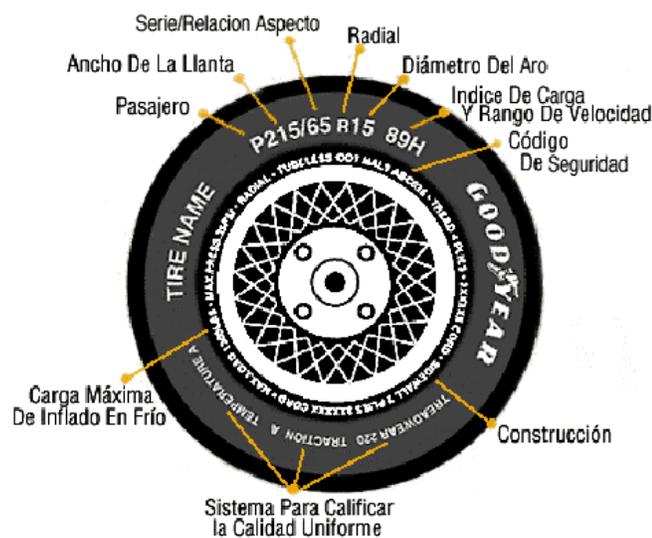
- **Tipo de neumático:**

Los neumáticos lisos tendrán menor adherencia con el pavimento que los neumáticos con dibujos ya que los neumáticos con dibujos hacen que el agua evacue más rápido sobre la superficie de contacto.

El tipo de neumático es importante ya que son los encargados de asegurar la adherencia y la amortización de las imperfecciones del pavimento, siendo fundamentales para la seguridad.

Todos los neumáticos vienen con unas inscripciones grabadas. Estas definen gran parte de sus características, las cuales generalmente son:

**Figura.2.10.** Inscripciones y características de los tipos de neumáticos.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

- **Estado del neumático:**

A medida que el neumático se va gastando los dibujos también por lo que la adherencia neumático – pavimento irán disminuyendo.

**Clima:**

- **Variación de la temperatura.**

Con respecto a los neumáticos, como el caucho es un material visco – elástico, esta elasticidad es fuertemente afectada por la temperatura, por lo que la fricción entre los neumáticos y el pavimento estará influenciada por ella. Por otro lado, estudios realizados han determinado que existe muy poca influencia de la temperatura y la fricción del propio pavimento. No obstante, los equipos que miden este parámetro cuentan con un factor de corrección por temperatura, para lo cual es aconsejable usar siempre un factor de 1.

### **2.3. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS**

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.

#### **2.3.1. Métodos de medición de la resistencia al deslizamiento.**

Ensayos de medida continua: se realizan con equipos en movimiento y tienen la ventaja de que las medidas efectuadas representan mejor lo que ocurre con los vehículos circulando. Dentro de este grupo, uno de los más conocidos es el denominado SCRIM (Sideway Coefficient Routine Investigation Machine). Este equipo diseñado en Inglaterra, consta en esencia de un neumático con banda de caucho que puede inclinarse de 0° a 20° respecto al eje longitudinal de la carretera y realiza una medida cada 10 a 20 m. El SCRIM permite la medida de un coeficiente de rozamiento transversal al ser arrastrada la rueda libre de rotación en una dirección que forma un cierto ángulo con su plano de giro. El Coeficiente de Rozamiento Transversal (CRT) se determina por la relación entre la fuerza tangencial medida y la reacción normal al pavimento que aplica la rueda. Además, con el objeto de mantener el pavimento mojado, todo el sistema va

incorporado a un camión convencional que dispone de una cisterna de agua de 2500 litros, lo que se provee el caudal necesario para mantener una película uniforme de agua. Otro equipo de gran difusión es el Mu Meter, el cual mide directamente la resistencia al deslizamiento desviando sus neumáticos de modo que formen un ángulo preestablecido con el eje del movimiento. Este equipo está siendo utilizado por el Laboratorio Nacional de Vialidad en los caminos del país. Otros equipos de medición continua son el estradígrafo CEBTP (Centre Experimental de Recherches et d'Etudes du Batiment et de Travaux Publics) en Francia, el remolque Stuttgart en Alemania y varios deslizógrafos diseñados en los Estados Unidos.

Ensayos puntuales: son los que se pueden realizar en un determinado punto de la carretera y no requieren de vehículos para su implementación. El más conocido es el ensayo con péndulo portátil (British Pendulum Tester TRRL). Este método, desarrollado por el Transport and Road Research Laboratory, presenta ventajas por su simplicidad, bajo costo y facilidad de transporte. Otro ensayo puntual es el llamado "mancha de arena", que mide la profundidad media de las pequeñas depresiones superficiales del pavimento. Este ensayo se ha considerado como más representativo de la resistencia al deslizamiento a altas velocidades, debido a que en estas condiciones las fuerzas de roce pasan a depender fundamentalmente de la macrotextura del pavimento. La investigación que está desarrollando el Departamento de Ingeniería de Construcción de la Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile para el Ministerio de Obras Públicas, utiliza el péndulo portátil y el ensayo de la mancha de arena. A futuro se complementará con los resultados que obtenga la Dirección de Vialidad mediante el uso del Mu Meter.

### **2.3.2. Coeficiente de fricción**

El movimiento del vehículo es posible mientras las fuerzas resistentes sean iguales o superiores a las fuerzas de arrastre. La Resistencia al Deslizamiento que presenta una superficie de pavimento está determinada por el valor efectivo del roce expresado mediante el coeficiente  $m$ . El vehículo se considera como un cuerpo rígido y se asume que las fuerzas resultantes actúan en el centro de gravedad.

Las fuerzas de fricción dependen del coeficiente de fricción y de la carga normal sobre la trayectoria de contacto entre neumático y superficie. Para la distribución de fuerzas en

la conducción dinámica relativa para el vehículo como masa puntual. El coeficiente de fricción varía por la influencia de elementos físicos como: presión de aire de los neumáticos, composición de los neumáticos, tipo y condiciones de la superficie del pavimento, presencia o ausencia de humedad, fango, nieve o hielo. Durante el movimiento del vehículo, diferentes fuerzas son transmitidas entre los neumáticos y el pavimento, las cuales actúan normal a la superficie (fuerza vertical) como también paralelas a ella (fuerza horizontal). Las fuerzas horizontales pueden ser proyectadas en la dirección tangencial, que es paralela a la trayectoria del vehículo, y en la dirección radial, que es normal a la trayectoria del vehículo. Esto se puede apreciar de mejor manera en curvas, ya que la fuerza de rozamiento compensa el efecto que genera la fuerza centrífuga, lo que impide que el móvil pierda el control y salga expulsado en forma tangencial al radio de la curva, por lo que la fuerza de roce se desarrolla en una dirección longitudinal y en otra transversal al sentido de desplazamiento. En una curva el coeficiente de roce principal corresponde al roce transversal.

### **2.3.3. Componentes de la fricción.**

#### **Adhesión.**

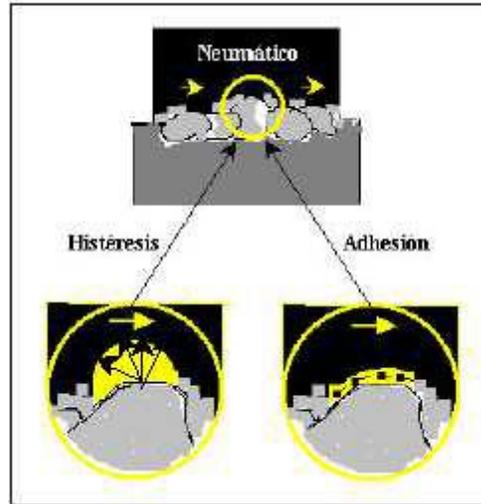
La adhesión es el resultado de la resistencia al corte provisto por la interacción molecular de la goma del neumático y de los áridos. Su magnitud es determinada por la naturaleza de los dos materiales en contacto.

#### **Deformación o histéresis.**

La deformación o histéresis de origen viscoelástico es causada por pérdida de amortiguamiento en la goma, cuando ésta es desgastada sobre y alrededor de las partículas minerales.

En los pavimentos mojados, la película de agua que se interpone entre las dos superficies de contacto impide el contacto molecular, anulándose la componente de adherencia si la película de agua no es evacuada con rapidez. Esta pérdida de roce por adherencia en pavimentos mojados se traduce en un incremento del porcentaje de accidentes por deslizamiento. Sobre superficies secas, el roce del neumático/superficie producido por adherencia predomina sobre el roce producido por deformación, siendo proporcional al área de contacto neumático/pavimento, disminuyendo al aumentar la temperatura y variando con la velocidad.

**Figura. 2.11.** Fricción de la goma del neumático (adhesión e histéresis).



**Fuente:** reporte de investigación Im-pi-pv-in-27b-05 normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

#### **2.3.4. Factores que afectan el valor del coeficiente de fricción.**

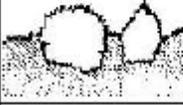
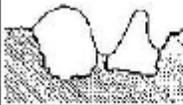
El coeficiente de fricción entre una carpeta de rodado y el neumático del vehículo está condicionado por: las características del pavimento (tipo, composición y adherencia), la densidad del tránsito, condiciones del lugar, contaminación en la superficie (aceite, polvo, goma, etc.), grado de humedad en la superficie y temperatura.

##### **Adherencia.**

Se relaciona con la estructura geométrica de la superficie de rodado formada por el agregado y ligante. Las propiedades de la mezcla dependen de la naturaleza y granulometría de los agregados, del ligante utilizado y de su composición. La adherencia que presenta un pavimento (micro y macrotextura) expresa la buena o mala fricción y el grado de drenaje que posee.

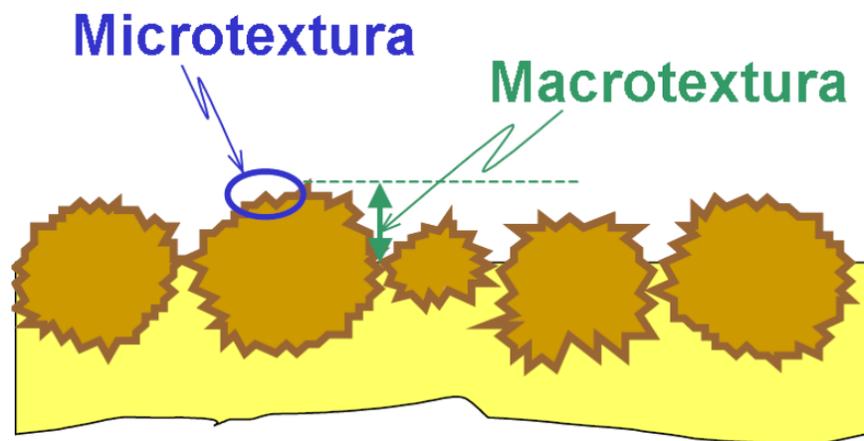
- **Macrotextura:** Corresponde a los intersticios generados debido a la distribución de agregado en la superficie. Afecta la capacidad de drenaje que tiene la superficie del pavimento para despejar el agua de la superficie, lo cual permite un mejor contacto entre el neumático y la superficie de rodado.
- **Microtextura:** Influye en la fricción entre el neumático y la superficie de rodado. Es la característica propia del agregado expuesto.

**Figura. 2.12.** Escala de textura.

	Superficie	Clases de Textura	
		Macro	Micro
A		Gruesa	Áspera
B		Gruesa	Pulida
C		Fina	Áspera
D		Fina	Pulida

**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

**Figura 2.13.** Esquema de Macrotextura y Microtextura.



**Fuente:** Programa de infraestructura del transporte. Índice de Fricción Internacional (IFI): Implementación y medición en carreteras de Costa Rica.

**Presencia de agua en la superficie.**

El espesor de la película de agua sobre la calzada en ocasiones produce pérdida de control, lo cual es conocido como hidropilano.

El hidropilano (aquaplaning).

Se produce cuando el espesor de la película es apreciable y el vehículo viaja a alta velocidad y en texturas muy finas que no dan tiempo de evacuar el agua entre el neumático y el pavimento. Los neumáticos pierden contacto con la superficie del pavimento. Se puede evitar a través de una macrotextura adecuada de la carpeta de rodado, de tal forma que se produzca un contacto directo entre neumático y pavimento. las condiciones de contacto existentes entre el neumático y el pavimento mojado. La interacción entre ambos puede dividirse en tres zonas. En la primera, existe una película de agua continua que impide el contacto. En la segunda zona, se ha logrado evacuar la mayor parte del agua, quedando una película discontinua en algunas asperezas del pavimento. En la tercera zona, se ha desplazado la película de agua y existe un contacto prácticamente en seco. Una macrotextura gruesa ayuda a una mayor capacidad de evacuación del agua. Al aumentar la velocidad del vehículo o espesor de la película de agua, se reduce la zona 3, aumenta la zona 1 y se disminuye la adherencia.

c) Naturaleza del agregado que constituye la naturaleza de la calzada.

Las características de la textura superficial de una carpeta de rodado se van modificando a medida que se produce el paso vehicular, generando desgaste y pulimento, lo que afecta directamente a la adherencia entre neumático y superficie de rodado. Esto depende de la naturaleza y forma del árido, influyendo en su vida útil y en la seguridad de la conducción.

**Naturaleza del ligante utilizado.** (cemento, asfalto)

El exceso del ligante es nocivo y disminuye el roce porque produce macrotexturas finas y aparecen capas muy resbaladizas y peligrosas en presencia de líquido.

**Estacionalidad.**

El coeficiente de fricción para una misma vía cambia dependiendo del período en que se realice la medición, el coeficiente de rozamiento medido en verano es inferior al registrado en invierno, ya que el pavimento es lavado con las precipitaciones.

**Presión de inflado del neumático.**

Mientras mayor sea la presión de inflado del neumático, menor será el área de contacto neumático-pavimento, por lo tanto, la fricción entre ambas superficies disminuye. (Se puede demostrar experimentalmente que este efecto es de segundo orden).

### **Velocidad del vehículo.**

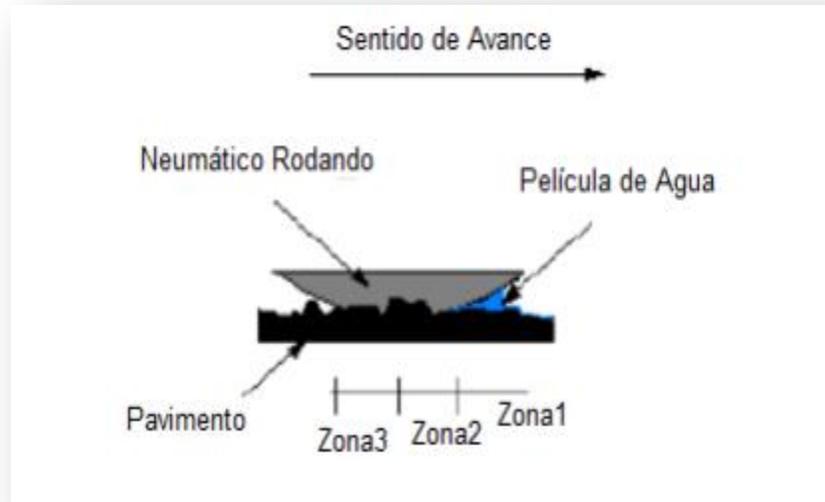
Actúa de dos formas que se superponen:

- En presencia de agua: A medida que la velocidad aumenta existe la tendencia a la disminución del rozamiento, esta disminución es tanto menor cuanto mayor es la evacuación del agua que proporciona la macrotextura.
- Por efecto dinámico vertical: La fuerza de contacto neumático-pavimento aumenta y disminuye con respecto al valor estático al disminuir o aumentar la velocidad, variando la adherencia, por tanto es función de la rugosidad
- Importancia del tráfico.

Esto va unido con la categoría de la vía. El volumen y tipo de tráfico que circule influirá en el desgaste del pavimento. Los excesos de carga o presiones de inflado, causan esfuerzos que exceden la resistencia al corte de los materiales, causando una deformación permanente e irrecuperable de las capas del pavimento, la cual se manifiesta en la superficie como un canal longitudinal bajo la huella descrita por las ruedas del vehículo, fenómeno conocido como ahuellamiento. El impacto e importancia que tiene el ahuellamiento está determinado fundamentalmente por la influencia que tiene en aspectos tales como las fuerzas dinámicas en un vehículo durante su recorrido y la seguridad (específicamente en lo relacionado al riesgo que genera el fenómeno de hidroplaneo). Otros aspectos que contribuyen al ahuellamiento son: el exceso de contenido de cemento asfáltico, el exceso de agregados finos, los altos porcentajes de arena natural, el exceso de contenido de humedad en la mezcla de material granular y suelo.

Cuando el pavimento se encuentra seco, la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento es mucho mayor que cuando una superficie tiene presencia de agua. Las condiciones existentes en la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento mojado es la siguiente

**Figura. 2.14.** Contacto entre el neumático y el pavimento mojado.



**Fuente:** Adherencia en pavimentos flexibles, Ibagué 2011, Esteban Trujillo.

Como se aprecia en la figura la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento se divide en tres zonas:

Zona 1: El agua es evacuada progresivamente por los dibujos de la goma y por la macrotextura del pavimento, la fricción es prácticamente nula.

Zona 2: En esta parte queda una cantidad de agua a evacuar y el neumático empieza a tener contacto con las irregularidades del pavimento.

Zona 3: El neumático está en contacto seco, la adherencia está desarrollada en esta verdadera zona de contacto. Al aumentar el espesor de la película de agua, la zona 3 se vería disminuida, aumenta la zona 1 y por tanto se reduce la adherencia. Para que el agua se pueda eliminar con una mayor rapidez que la que podría evacuar el dibujo del neumático se requiere de una macrotextura gruesa. En la zona 3 y parte de la zona 2 se requiere de una microtextura áspera de tal manera que logre atravesar la película delgada de agua y produzca puntos secos de contacto. El hidroplaneo es conocido como la pérdida de control de un conductor debido al espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada debido a que los neumáticos pierden contacto con la

superficie del pavimento. Esto se debe principalmente a la presencia de texturas muy finas que no dan tiempo de evacuar el pavimento. El hidro planeo es una de las características que más pueden afectar a los usuarios, ésta depende principalmente de:

- La velocidad y el peso del vehículo,
- Las características y estado de los neumáticos,
- La macrotextura del pavimento y de espesor del agua sobre el pavimento.

Importancia del coeficiente de rozamiento transversal de la superficie de rodadura de las carreteras en la Seguridad Vial. Tenemos claro que la acción o, por el contrario, la inacción entre los tres agentes fundamentales que confluyen en la Seguridad Vial (el factor humano, el vehículo y la carretera) son determinantes a la hora de mejorar los índices de accidentalidad y tratar de llegar al objetivo que todos buscamos: cero víctimas por accidente de tránsito. Para llegar a este objetivo, es fundamental acometer acciones de mejora que integren a los tres agentes y contemplar, no solo las medidas paliativas para reducción de las consecuencias de los accidentes, sino eminentemente las medidas preventivas, donde encontramos los mayores índices de mejora en valor humano y económico. Es notorio que ningún accidente de tránsito es achacable a una sola razón. Éste es consecuencia de una acumulación de probabilidades que superan la línea roja a partir de la que produce el accidente y, es por ello, que para poder reducir el Índice de Siniestralidad, debemos trabajar sobre todos los campos posibles. Especialmente, en aquellos donde se reduzca significativamente la probabilidad del accidente: el estado superficial del pavimento o textura es una de las razones más influyentes en lo que se refiere a la Seguridad Vial en la infraestructura.

¿Por qué es tan influyente la textura superficial del firme? Porque casi todos los accidentes de tránsito están vinculados, en mayor o menor medida, con el rozamiento entre la rueda y el pavimento. Pero no solo esto, sino que el mayor número de accidentes y el mayor número de víctimas producidas por éstos los encontramos en los casos donde la influencia del rozamiento entre neumático y firme es mayor.

## 2.4. LA LLUVIA Y LA ADHERENCIA DE LOS NEUMÁTICOS

**Figura. 2.15.** Lluvia y circulación de vehículos.



**Fuente:** diarioenimagen.com

En previsión de lluvia, es importante revisar la presión y la profundidad del dibujo de los neumáticos así como el estado de las escobillas y los difusores de aire del parabrisas.

Prestaremos especial atención durante las primeras gotas de lluvia caídas. La acumulación de polvo y grasa de los vehículos en la calzada hace que con las primeras gotas se forme una capa de suciedad muy deslizante.

Con la calzada mojada los neumáticos pierden adherencia aumentando la distancia necesaria para frenar, por lo que reduciremos la velocidad y aumentaremos la distancia de seguridad. Frenaremos siempre con suavidad para evitar un posible bloqueo de las ruedas.

Los frenos mojados también pueden perder eficacia, sobre todo al pasar por zonas con acumulaciones importantes de agua. Para favorecer el secado del sistema de freno realizaremos unas pulsaciones cortas y repetidas al pedal.

Realizaremos una correcta ventilación del habitáculo y utilizaremos la luneta térmica para evitar que se empañen los cristales.

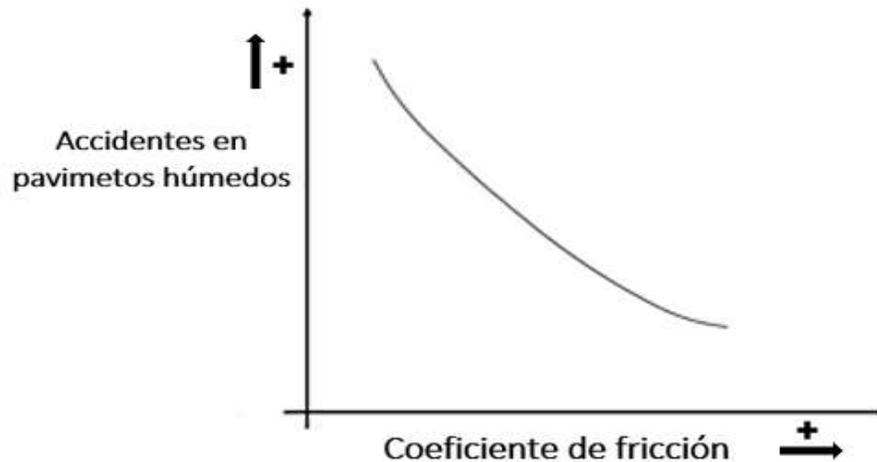
Ante la disminución de la visibilidad producida por la lluvia utilizaremos las luces de cruce y en su caso las antiniebla.

La conducción con lluvia es más exigente y fatigosa para el conductor, por lo que realizaremos paradas de descanso con mayor frecuencia.

## **2.5. CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Son importantes en el desempeño de los pavimentos flexibles por su compleja interacción con los materiales de la superficie y las cargas de tránsito, concretamente la precipitación donde la microtextura puede disminuir o perderse debido al agua superficial en periodos de fuertes lluvias; la temperatura, el factor ambiental más importante para las carreteras con clima cálido; los ciclos hielo-deshielo donde los coeficientes de fricción disminuyen con el aumento de la rugosidad de la superficie del hielo; tormentas de polvo, entre otros, que afectan su resistencia al deslizamiento interfiriendo con la fricción de los neumáticos reduciendo su valor en un 75% en comparación con las carreteras secas y con una superficie limpia. La resistencia al deslizamiento varía según las condiciones ambientales, siendo normalmente más baja al final del verano y más alta durante el invierno debido a que las temperaturas reducen la rigidez tanto del asfalto como del caucho y la viscosidad del agua; asimismo, varios estudios afirman que la resistencia al deslizamiento de las pistas disminuye considerablemente en condiciones de clima húmedo de manera que los análisis de colisiones viales han demostrado que la tasa de accidentes en pavimentos mojados aumenta cuando los valores de fricción son bajos, por consiguiente existe una gran influencia en la ocurrencia de accidentes referidos al deslizamiento en climas húmedos. De manera que los pavimentos generalmente están diseñados y construidos para proporcionar la textura suficiente para permitir una fricción adecuada cuando la superficie está húmeda y monitorean regularmente su condición activándose medidas preventivas o correctivas cuando es necesario para mantenerlos seguros en la conducción de diversas condiciones climáticas, de modo que los ingenieros puedan abordar los problemas de seguridad vial de forma más efectiva.

**Figura. 2.16.** Relación entre la tasa de accidentes con condiciones De clima húmedo y fricción superficial del pavimento.



**Fuente:** Suhaimi & Baharuddin, 2019.

## **2.6. MÉTODO PARA DETERMINAR LA MACROTEXTURA DEL PAVIMENTO MEDIANTE ENSAYO DEL CÍRCULO DE ARENA**

### **Alcance**

Este método, llamado ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la Macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por este. El método está solo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en términos de área de contacto) entre neumático y pavimento.

La macrotextura ofrece una adecuada resistencia a altas velocidades sobre pavimentos mojados, permitiendo desplazar el agua de tal manera que el neumático esté en contacto directo con el pavimento. Depende del tamaño máximo de los agregados y de la composición de la mezcla.

### **Referencias**

ASTM E965-96, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique.

NLT-335/87 Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena.

### **Seguridad**

En la descripción de este método de ensayo no se abarcan todos los temas relacionados con seguridad, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las medidas de seguridad y control de tránsito apropiado de acuerdo con la normativa vigente, antes de la puesta en práctica del ensayo.

El personal que realiza el ensayo, como todos los equipos a su cargo, deben cumplir con las leyes vigentes. No obstante, lo anterior, se recomienda tomar precauciones adicionales a las impuestas por la ley, para asegurar en todo momento una máxima seguridad del personal a cargo de las mediciones y de los vehículos que transitan por la vía donde se realizaran los ensayos.

### **Terminología**

**Macrotextura del pavimento.** Textura correspondiente a longitud de onda  $\lambda$  entre 0.5 mm y 50 mm, y amplitud A, entre 0.1 mm y 20 mm. Es función de las características del pavimento asfáltico (forma, tamaño y graduación del agregado) o del método de acabado del pavimento de hormigón.

### **Resumen del método de ensayo**

Los materiales estándares y los aparatos de muestreo consisten en: un material uniforme, un recipiente de volumen conocido, caja protectora de viento, escobillas para limpiar la superficie, un disco plano para esparcir el material en la superficie y una regla u otro dispositivo de medición que permita determinar el área cubierta por el material. Una balanza de laboratorio también es recomendable para asegurar cantidades consistente de material para cada muestra de medición.

El procedimiento de ensayo involucra esparcir un volumen de material conocido sobre una superficie de pavimento limpia y seca, midiendo el área cubierta, y posteriormente, calcular el promedio de profundidad entre la parte inferior de los huecos en la superficie y las partes más altas de los áridos de superficie del pavimento. Esta medición de la profundidad de textura refleja las características de macrotextura del pavimento.

Al esparcir el material especificado en este método de ensayo, los huecos de superficie son rellenados completamente. Este método de ensayo no es considerado adecuado para ser usado en superficies de pavimentos que presenten huecos de superficie superiores a 25 mm de profundidad.

### **Significado y uso**

Este método es adecuado en ensayos en sitio para determinar el promedio de profundidad de macrotextura de una superficie de pavimento. El conocimiento de la profundidad de macrotextura del pavimento sirve como herramienta para caracterizar la textura de la superficie. Cuando este utilizado en conjunto con otros ensayos, los valores de profundidad de macrotextura derivados de este método pueden ser utilizados para determinar las capacidades de resistencia al deslizamiento del pavimento y lo adecuado de los materiales o técnicas de acabado utilizado. Cuando es utilizado con otros ensayos, se debe tener cuidado que todos los ensayos sean aplicados en el mismo lugar. Producto del uso de la información obtenida mediante este método, pueden resultar mejoramiento a las prácticas de acabado y programas de conservación.

Las mediciones de profundidad de textura obtenidas utilizando este método están influenciadas por las características de macrotextura del pavimento y no significativamente afectadas por la microtextura. La forma, tamaño y distribución de los áridos de la capa de rodadura son cualidades no abordadas por este método.

La superficie de pavimento a medir mediante este método debe estar seca y libre de suciedad o material suelto que, bajo tránsito normal, será removido.

**Material y aparato.** Los elementos esenciales para la realización del ensayo, que se muestran en la figura 2.4, consisten en los siguientes materiales y equipos:

Arenas normalizadas, obtenidas mediante la preparación de estas en laboratorio, debido a que deben ser lavadas, limpiadas, secadas y tamizadas, obteniéndose principalmente dos tipos de arenas. Por un lado, se obtiene la arena tipo 80/100, que significa que pasa por el tamiz 80 y es retenida por el tamiz 100 y por otro, la arena tipo 100/200, que pasa por el tamiz 100 y es retenida por el tamiz 200. Como se menciona anteriormente, esta arena debe estar libre de impurezas y debe encontrarse seca al momento de desarrollar el ensayo.

Cilindro contenedor de material, con un volumen interno predeterminado de al menos 25000 mm<sup>3</sup>, para ser utilizado para determinar el volumen de material esparcido.

Disco para esparcir, plano y rígido, de 25mm de espesor y 60 a 75mm de diámetro, utilizado para esparcir el material. La parte inferior del disco debe estar cubierta por goma lisa y su parte superior debe contar con una manilla que facilite su agarre.

Escobillas: una de cerdas dura y otra, de cerdas blandas, que serán utilizadas para limpiar la superficie de ensayo.

Caja protectora de viento: pantalla adecuada que evite las turbulencias de viento ocasionadas por el tránsito durante el ensayo.

Regla, de al menos 300 mm de longitud, con subdivisiones al milímetro.

Balanza: se recomienda con sensibilidad a 0,1 g, para asegurarse que el material utilizado en el ensayo sea igual en masa y volumen.

**Calibración.** En este equipo se requiere principal cuidado con la limpieza de la arena y con los elementos graduados antes descritos, a fin de no alterar las mediciones obtenida. Por lo tanto, la calibración en este caso está referida al cumplimiento estricto de las graduaciones, tanto de arena y de recipientes, como de elementos de medición que intervienen en el desarrollo del ensayo.

### **Procedimiento**

**Área de muestra.** Inspeccione la superficie del pavimento a ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea, que no tenga singularidades tales como grietas o juntas. Limpie completamente la superficie, utilizando las escobillas para remover todos los residuos o material suelto en la superficie. Coloque la caja protectora para viento alrededor del área a ensayar.

**Material de muestra.** Llene el cilindro de volumen conocido con material seco y golpee suavemente la base de este mientras lo llena. Agregue más material hasta llenar el cilindro hasta el tope, y posteriormente, enráselo con una regla. Si dispone de una balanza de laboratorio, determine la masa de material dentro del cilindro y procure utilizar esta cantidad en cada uno de los ensayos.

**Medida del ensayo.** Vacíe el volumen o masa de material sobre la superficie limpia dentro del área protegida al viento. Cuidadosamente esparza el material en forma circular con el disco plano, utilizando su lado de goma para estos efectos, llenando las

cavidades de la superficie a ras con las crestas de los áridos de la capa de rodadura. Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material, tomando cinco medidas igualmente esparcidas sobre el círculo. Calcule y registre el 9.4. promedio de las cinco medidas.

Para superficies muy lisas, donde el diámetro del parche de material esparcido sea mayor que 305 mm, es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

### **Cálculos.**

Volumen del cilindro, calcule el volumen interno del cilindro como:

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

### **Donde:**

V = Volumen interno del cilindro, mm<sup>3</sup>.

d = Diámetro interno del cilindro, mm<sup>3</sup>.

h = Altura del cilindro, mm.

Promedio de profundidad de Macrotextura del pavimento: calcule el promedio de profundidad de Macrotextura, usando la siguiente ecuación.

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

### **Donde:**

MTD = Profundidad media de Macrotextura, mm.

V = Volumen de arena utilizada, mm<sup>3</sup>.

D = Diámetro promedio del área cubierta por la arena, mm.

**Informe.** El informe de cada superficie de pavimento evaluada debe contener la siguiente información:

Ubicación e identificación de la superficie evaluada y los puntos ensayados.

Fecha.

Volumen de material utilizado en cada ensayo realizado, mm<sup>3</sup>.

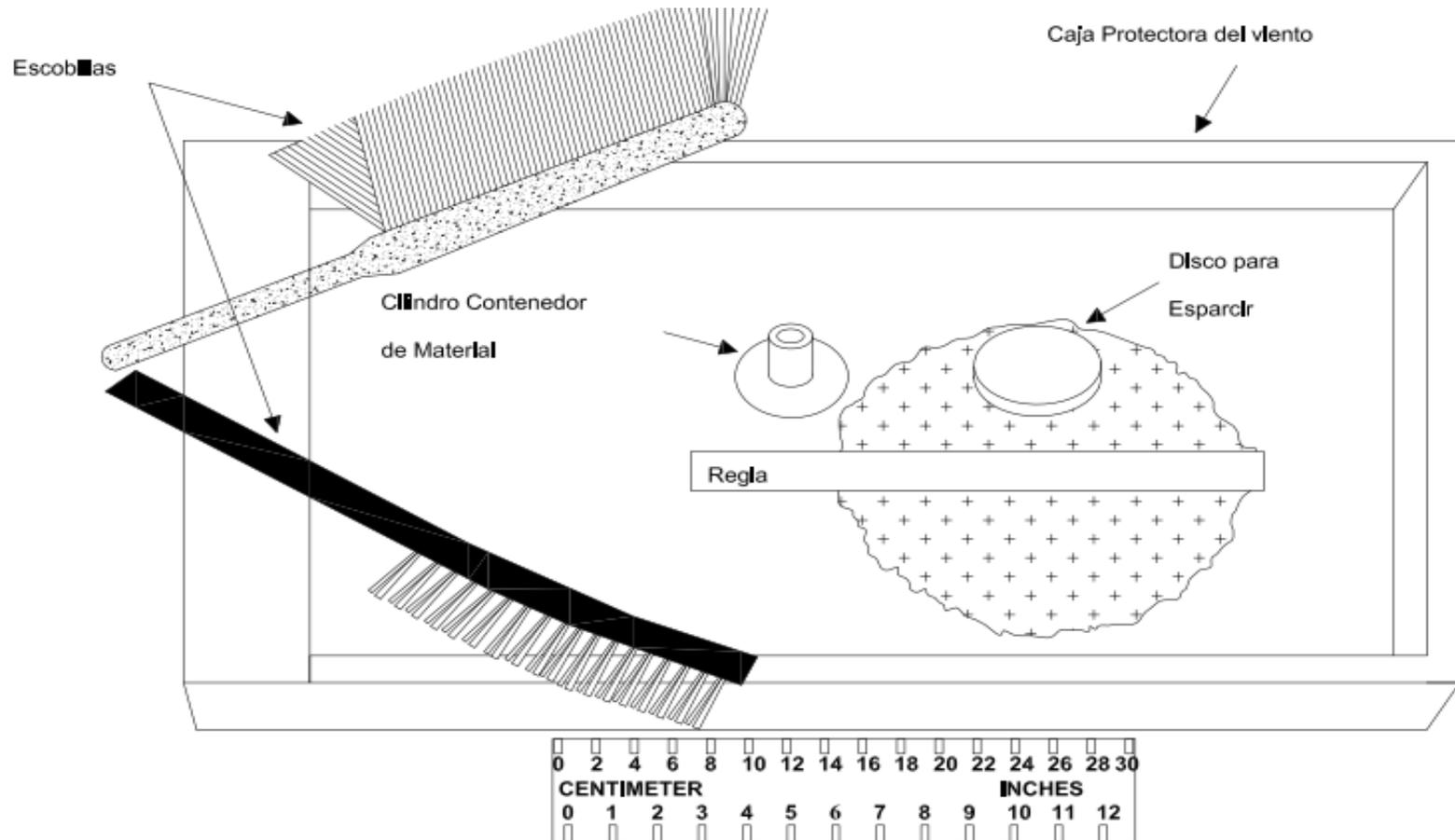
Numero de mediciones realizadas en el sector.

Diámetro promedio del área cubierta con material, mm, para cada ensayo.

Promedio de profundidad de textura, mm, para cada ensayo.

Promedio de profundidad de textura, mm, para el total de la superficie evaluada.

**Figura. 2.17.** Equipo para medir profundidad de macrotextura de la superficie del pavimento.



**Fuente:** Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

## **2.7. MÉTODO PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON PÉNDULO BRITÁNICO. (TRRL)**

### **Alcance y campo de aplicación**

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico, valorando las características antideslizantes de la superficie del pavimento.

El ensayo mide la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de goma, una de cuyas aristas roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar, y en una longitud fija. Esta pérdida de energía refleja las características antideslizantes de la superficie y se mide por el complemento del ángulo de oscilaciones del péndulo.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio de probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es propósito de este método ensayar probetas para determinar el pulimiento acelerado de los áridos.

El procedimiento que se describe corresponde al uso del equipo en superficies pavimentadas y demarcaciones, para la ejecución de estudios puntuales de resistencia al deslizamiento, no siendo apto para ejecutar mediciones en tramos de medición extensos, con propósitos de gestión de fricción. Esto se debe a la baja repetibilidad espacial que presenta el péndulo Británico, y a la dificultad para obtener ecuaciones aceptables de homologación con mediciones con otros equipos.

### **Referencias**

TM 032-07-A Prototipo de normativa de medición de resistencia al deslizamiento (2008), Proyecto FONDEF D031-1042.

LNLT-175/98, Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico (TRRL).

ASTM E 303-93, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester.

MASTRAD (2004), Mastrad Calibration Rig S892 Operationg Instructions, United Kingdom.

## **Definiciones y terminología**

**Péndulo Británico.** Equipo que permite ejecutar mediciones de resistencia al deslizamiento (RD) de manera puntual en superficies pavimentadas o demarcaciones viales.

**Numero de péndulo Británico (British Pendulum Number, BPN).** Corresponde a la lectura arrojada directamente en la medición obtenida con el péndulo Británico. Dependiendo del modelo, oscila entre 0 y 120.

**BPN ajustado (BPN<sub>A</sub>):** Valor del BPN ajustada por temperatura.

**BPN No valido (BPN<sub>NV</sub>):** Valores individuales de BPN que deben descartarse del procesamiento, por representar condiciones puntuales a la superficie del pavimento no atribuibles a su estado general.

**Resistencia al deslizamiento características (RDC):** Promedio de valores BPN en cada punto de medición.

**Desviación Estándar de la resistencia al deslizamiento característica (SRDC):** Desviación estándar de los valores de BPN en cada punto de medición.

**Repetibilidad puntual:** Valor de las diferencias de magnitud de un conjunto de mediciones repetidas, realizadas sobre una superficie determinada, en el mismo punto, con el mismo operador, bajo las mismas condiciones de medición. Se expresa mediante la desviación estándar ponderada y el valor P obtenido del análisis de varianza de mediciones repetidas.

**Espaciamiento de medición:** Distancia en m, entre dos puntos sucesivos de medición a lo largo de un tramo inspeccionado.

**Tramo inspeccionado:** Corresponde a la longitud total de la pista sobre la que se realiza la medición de resistencia al deslizamiento con el equipo Péndulo Británico.

**Línea de medición:** Corresponde a la trayectoria que estadísticamente siguen las ruedas delanteras y trasera derecha de los vehículos. Sobre esta línea se deberá posicionar el equipo para medir RD de los pavimentos.

## **Equipo de medición y material necesario.**

**Péndulo del TRRL.** Se emplea el aparato representado en la figura 2.5, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory (TRRL). es un dispositivo estático de medición de RD. posee un péndulo de caída, con una zapata de goma fijada en

su extremo interior, y una escala graduada en una placa metálica con forma de  $\frac{1}{4}$  de círculo. El péndulo cae desde una posición horizontal, describiendo una trayectoria semicircular; en la parte interior de su recorrido, la zapata de goma roza la superficie a medir. En su desplazamiento, el péndulo arrastra un puntero indicador muy liviano, que queda fijo marcado el punto más elevado de la trayectoria sobre la escala graduada, una vez que le brazo del péndulo retorna sobre su trayectoria inicial.

La posición final del puntero indica la RD medida sobre la superficie evaluada, que se expresa en la escala como fracción decimal multiplicada por 100 (Numero de Péndulo Británico o BPN). Los valores de RD medidos con Péndulo Británico presentan una alta variabilidad espaciada y direccional.

El péndulo propiamente tal (véase la figura 2.5) con zapata y su placa soporte, tiene una masa de  $1500 \pm 30$ g. Su centro de gravedad está situado en el eje del brazo, a  $410 \pm 5$ mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tiene un radio de  $510 \pm 1$ mm. La zapata ejerce una fuerza de  $22,2 \pm 0,5$  N sobre la superficie de ensayo en su posición media de recorrido. La variación de la tensión del muelle sobre la zapata no debe ser mayor que 216 N/m.

La zapata de goma va pegada a una placa de aluminio (véase la figura 2.7), 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. De ese modo solamente la arista posterior de la goma entra en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarse alrededor del pivote (F); así, recorre las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

**Características de la zapata de goma.** Las dimensiones de la zapata de goma son 76.2mm de longitud, 25,4 mm de ancho y 6,5mm de espesor (vea figura 2.8). La masa del conjunto zapata y placa soporte es de  $36 \pm 7$ g. las zapatas se cortan de una plancha de goma de 6.5 mm de espesor y de una edad mínima de fabricación de seis meses. Las zapatas nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben efectuarse preparando el ensayo tal como se indica en el punto 7. Debe en la arista superior de 1,6 mm de alto (Figura 2.9).

**Dispositivo de nivelación.** El dispositivo de nivelación es 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 (Figura 2.5).

**Dispositivo de desplazamiento vertical.** Es un dispositivo que permite mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo (figura 2.6), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127mm. El movimiento vertical de la cabeza del péndulo solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectúa por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por los mandos (B y B') de la figura 2.11. La cabeza queda fijada por medio del tornillo a presión (A).

**Dispositivo de disparo del brazo del péndulo.** Es un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N) de la figura 2.5, para que este caiga libremente desde su posición horizontal.

**Dispositivo de medida.** Es un dispositivo consistente en una aguja (vea la figura 2.5), de masa 85g y longitud 300mm, equilibrada respecto de su centro de suspensión. Cuando el brazo del péndulo se mueve libremente desde su posición inicial horizontal, arrastra la aguja hasta el final de su recorrido de ida. La aguja no acompaña al péndulo en su recorrido de regreso y queda indicado la posición a la que aquel llegó, sobre una escala circular (K) grabada en un panel. El mecanismo de suspensión de la aguja tiene un sistema de fricción regulable mediante anillo de fricción roscados (E y E' de la figura 2.12)

#### **Material auxiliar.**

**Regla graduada.** Una regla graduada (figura 2.10), con marcas exteriores separadas por 127mm, y marcas interiores separadas de la exterior más próxima por 2,5mm.

**Termómetro.** Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de -10°C a +60°C.

**Recipientes para agua.** Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno, con capacidad de 10 litros y el otro, con capacidad de 0,5 litros. El más pequeño lleva en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

**Cepillo.** Un cepillo de cerdas de goma dura, de longitud mayor que 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm<sup>2</sup>, para la limpieza de la superficie a medir.

**Cinta métrica.** Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m, para situar los puntos de medida.

**Caja de herramientas.** Caja para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, regla, tiza, lapiceros, etc..., elementos todos necesarios para efectuar las mediciones en terreno.

**Caja de transporte.** Es recomendable contar con una caja para transportar el equipo de medida.

**Banqueta.** Es recomendable contar con un asiento para el operador al realizar medidas en el campo.

### **Calibración de péndulo Británico.**

La calibración del péndulo Británico comprende básicamente la verificación del estado mecánico del mismo. Los procedimientos de calibración están regulados por el manual del fabricante.

#### **Frecuencia de calibración:**

- a) La calibración detallada deberá realizarse en forma rutinaria 1 vez al año.
- b) La calibración periódica se realizará 24 horas antes de la ejecución de campaña de medición.

Además, ambas calibraciones deberán ejecutarse en las siguientes circunstancias.

Cuando se reemplace, repare o ajuste algún componente del equipo.

Cuando se retome de una campaña de medición que se prolongue más de dos semanas.

Cuando alguna pieza no esté operando satisfactoriamente, o pueda fallar en el corto plazo.

**Procedimiento de calibración detallado:** El procedimiento de calibración se ajustará a las especificaciones del fabricante.

**Procedimiento de calibración periódico:** Esta calibración deberá considerar los siguientes pasos, ejecutados de acuerdo con las especificaciones del fabricante:

Verificación de peso del péndulo.

Verificación de centro de gravedad.

Distancia del centro de gravedad al centro de oscilación.

Verificación de peso de masa deslizante.

Verificación del estado de la zapata de goma

**Nota:** En caso en que le péndulo presente problemas, se deberá aplicar la calibración detallada en el punto 6,3.

### **Procedimiento de ensayo**

**Ensamblado, posicionamiento y puesta a punto del equipo.** Antes de realizar las mediciones, se debe preparar y poner a punto el equipo, siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- a) Armar el aparato en el sitio de medición.
- b) Para medir resistencia al deslizamiento en sentido longitudinal, el aparato deberá colocarse de modo tal que la zapata de goma quede alineada con respecto a la dirección longitudinal del elemento cuya RD se desea medir, y que el péndulo se desplace en esa misma dirección.
- c) Para medir resistencia al deslizamiento en sentido transversal, el equipo se deberá posicionar perpendicularmente a la dirección longitudinal del elemento a medir, y la zapata de goma golpeará la superficie en la forma transversal a dicha dirección.
- d) Nivelar el instrumento mediante los tornillos (L) situados en sus patas de apoyo, hasta que la burbuja de nivelación horizontal (M) esté totalmente centrada (figura 2.5).
- e) Verificar la lectura cero del péndulo. En primer lugar, se eleva la cabeza del aparato, de forma que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir. Luego, se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de dispar (N) (Figura 2.5). Después se desplaza la aguja indicadora (I) hacia la derecha hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de modo 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, sujetando el péndulo según se indica en 7.2, presionar el pulsador (N), lo que suelta el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solo en su oscilación hacia adelante. Recoger el brazo oscilante en su recorrido de regreso, antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicador en la oscilación de vuelta. Se anota la lectura señalada por la guía de la escala (K o K') del panel. Si la aguja no marca cero, se

realizan ajustes mediante los anillos de fricción (E y E') figura 2.5 y 2.12. Por ejemplo, si la aguja sobrepasa el cero de la escala, la corrección consistirá en apretar los anillos. Volver el brazo y la aguja a su posición inicial de disparo y se repite el proceso, hasta que la guja marque cero 3 veces consecutivas.

f) Con el péndulo nivelado y suelto verticalmente, ajustar la altura del equipo, como sigue:

Regular progresivamente la elevación del eje troncal del aparato con el tornillo de ajuste, hasta que la zapata de goma entre en contacto la superficie a medir.

Mover el brazo pendular de izquierda a derecha y viceversa, verificando con la regleta graduada del equipo la separación de los puntos de contacto entre la zapata de goma y la superficie. Dicha separación deberá estar entre 124 y 127mm; en caso contrario, modificar la elevación del eje del péndulo, y repetir el proceso hasta lograr la separación requerida.

Una vez realizado los procedimientos anteriores, realizar los ensayos, aplicando la siguiente secuencia en cada medición:

Llevar el brazo y la aguja a la posición horizontal.

Esparcir suficiente agua sobre la superficie a medir y sobre la zapata de goma. Se recomienda utilizar para ello un dispositivo tipo pulverizador a gatillo. Se debe registrar la temperatura del agua para cada punto de medición, cada vez que el recipiente se llene nuevamente con agua.

Se sujeta el péndulo con una ligera precisión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, con el propósito de evitar movimientos o vibraciones en su base.

Presionar el pulsador de dispar, lo que suelta el brazo libremente. Recoger el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el propósito de evitar el arrastre de la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y el roce de la zapata sobre la superficie de contacto, con su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo, ayudándose de la palanca de elevación (P).

La posición de la aguja indicara el valor obtenido en el ensayo. Leer el valor obtenido con una precisión de 1 BPN. La visual del operador, al realizar la lectura, deberá ser horizontal.

Registrar en planillas la lectura efectuada.

Ejecutar la primera medición sin registrar el dato obtenido.

Ejecutar a continuación 5 mediciones consecutivas.

El equipo deberá permanecer en el sitio de medición hasta que hayan sido verificadas las tolerancias que se establecen a continuación.

### **Verificación de tolerancias en la medición.**

Verificar que las 5 mediciones no difieran más de 3 unidades BPN entre sí.

Si solo 1 valor se encuentra fuera de la tolerancia, eliminar dicho dato. Si dos o más valores se encuentran fuera de la tolerancia, repetir las 5 mediciones nuevamente.

Repetir el procedimiento hasta un máximo de 3 veces. Si aun en la tercera repetición no se logra cumplir con la tolerancia, el equipo deberá ser recalibrado.

En caso de cumplir con las tolerancias, calcular y registrar el valor promedio de las mediciones individuales validas de BPN.

No se deben realizar mediciones con este equipo en presencia de lluvia, debido a que los tornillos de calibración del cero pueden mojarse, lo que imposibilita la calibración del equipo, obteniéndose lecturas erróneas.

Otro factor climático sobre el cual se deben tomar medidas es el viento, ya que la aguja no tiene ningún sistema de fijación: más bien, trabaja libremente y el viento altera su recorrido, llevando a mediciones erróneas. En este caso, se debe considerar el uso de algún elemento que implica que el viento llegue directamente al equipo.

Para efectos de estudios, el equipo puede ser posicionado en cualquier dirección, ya sea transversal o en algún ángulo determinado, según sea el sentido del tránsito. Es así como en los pavimentos con tratamientos de texturado, cepillado o ranurado, es conveniente posicionar el péndulo en 20° aproximadamente respecto del desplazamiento de los vehículos. Del mismo modo, si las combinaciones de pendiente y peralte dificultan la nivelación del equipo, este debe ser dispuesto en un ángulo tal que permita realizar la medición.

**Selección espaciamento de medición.** Las mediciones con este equipo son de carácter puntual, motivo por el que previamente es necesario definir el espaciamento de la medición. Para ello, es recomendable realizar un muestreo sistemático. Este método es

recomendable en los casos en que la superficie por ensayar sea relativamente homogénea, de manera que no existan singularidades que distorsionen las mediciones.

En un tramo de longitud L, el número y espaciamento de las muestras (d) está definido por la siguiente expresión.

$$d = \frac{K_a^2}{t_{\alpha/2, n-1}^2 * CV^2} * L$$

**Donde:**

D = Espaciamento de las muestras.

$K_a$  = Error máximo admisible.

T = Estadístico t-student para una confiabilidad  $\alpha$  y n-1 grados de libertad.

L = Longitud del tramo en que se toman las muestras.

CV = Coeficiente de variación de las muestras, definido como la razón entre el promedio y la desviación estándar de los datos.

El proceso de cálculo es iterativo, dado que el tamaño muestral define los grados de libertad del estadístico t. a su vez, el tamaño muestral depende del espaciamento de los puntos de muestreo.

En la tabla 2.1. se muestra valores recomendados de espaciamento obtenidos con este procedimiento, para un nivel de confianza de 95%, y diversos coeficientes de variación. En el caso presentado en la tabla, para el cálculo se ha mantenido fijo el valor de la longitud de muestreo.

**Tabla 2.1.** Espaciamento de las muestras puntuales asociadas a muestreo sistemático según CV y longitud de la unidad de muestreo (m).

L(m)	CV = 0,1	CV = 0,15	CV = 0,20	CV = 0,25
1000	150	90	60	50
2000	300	180	110	75
3000	460	270	170	115
4000	610	360	225	150
5000	760	450	280	190

**Fuente:** Manual de carreteras. Vol. 8.

En términos de puntos de medición por km, la tabla anterior puede reducirse a la expresión:

$$Mediciones = entero(94 * cv - 3,2) * (puntos/km - pista)$$

Esta expresión es independiente del tipo de medida. El espaciamiento obtenido está asociado a un error máximo de 10% y a una confiabilidad de 95%. Por ejemplo, un espaciamiento de 100 m/km-pista está asociado a un CV de 14%.

En los casos en que no se disponga de datos para estimar un CV histórico, se empleará un CV de 15%, con lo que se obtiene una cantidad de 10 puntos por km – pista.

**Línea de medición:** La medición de BPN se efectuará en la huella externa o a una distancia de 70cm aproximadamente respecto del borde derecho de la demarcación en el sentido de avance del kilometraje.

**Resultados del ensayo.**

**El cálculo de BPN:** Se procede según la ecuación siguiente.

$$BPN = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n BPN_i$$

En que BPN<sub>i</sub> es cada lectura individual y “n” es igual a 4 o 5.

**Ajuste por temperatura:** Las medidas efectuadas en pavimentos se ven afectados por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. Para asegurar la uniformidad de las medidas realizadas, bajo condiciones climáticas diferentes, los BPN deben corregirse mediante la ecuación, propuesta por el TRRL, para llevar los resultados a 20°C.

$$F_A = \frac{1}{1 - 0,00525 * (t - 20)}$$

En que F<sub>A</sub> ES EL FACTOR DE AJUSTE Y “t” es la temperatura en °C.

**Cálculo de BPN<sub>A</sub>:** Se procede según la ecuación.

$$BPN_A = BPN * F_A(20)$$

El resultado se expresa con un decimal.

**Resultados del ensayo:** Se expresa según la siguiente ecuación:

$$RD = \frac{BPN_A}{100}$$

Los valores obtenidos se informan con dos decimales.

**Elaboración de informes de datos procesados:** Los informes de datos deberán cometer lo siguiente:

**Parte 1. Datos administrativos.**

Nombre del operador del equipo.

Ruta inspeccionada (Nombre y Rol).

Kilometro inicial y final.

Pista medida (Consignada de acuerdo con clasificación de la dirección de vialidad).

Hito físico de referencia.

Fecha de medición.

Código registró bitácora de última calibración y fecha de calibración.

Condición climática (soleado, parcialmente nublado, nublado, precipitaciones, etc.)

Fecha de últimas precipitaciones (si está disponible).

**Parte 2. Datos procesados:**

1<sup>ra</sup> Columna: Registro kilometro

2<sup>da</sup> Columna: Temperatura

3<sup>ra</sup> Columna: Factor de ajuste por Temperatura.

4<sup>ta</sup> – 8<sup>va</sup> Columna: lecturas individuales de BPN.

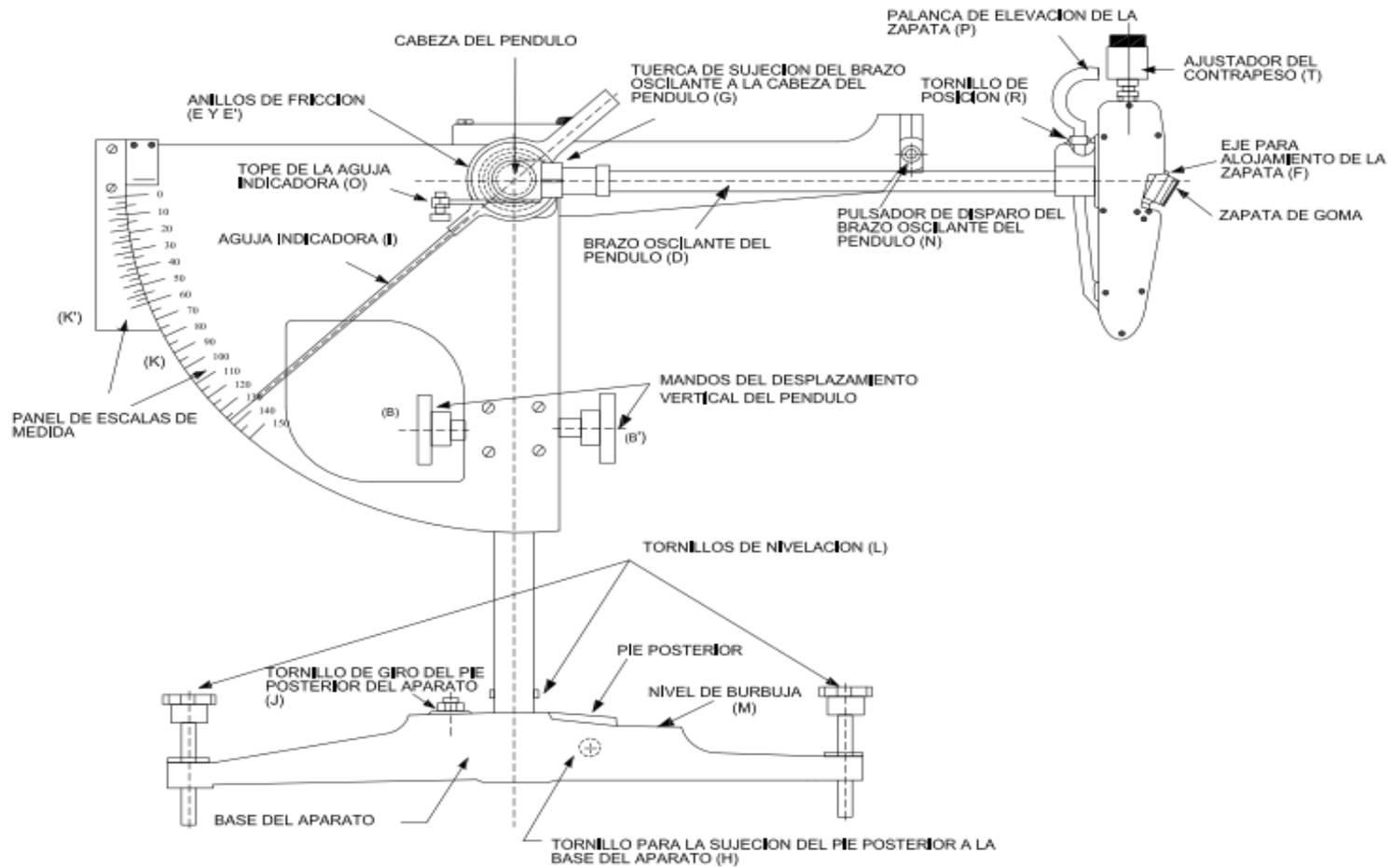
9<sup>na</sup> Columna: Valor medio de BPN.

10<sup>ma</sup> Columna: Valor medio corregido de BPN por temperatura, ajustado a un decimal,  $BPN_A$ .

11<sup>va</sup> Columna: Valor RD:  $BPN_A$ , dividido por 100 y ajustado al segundo decimal.

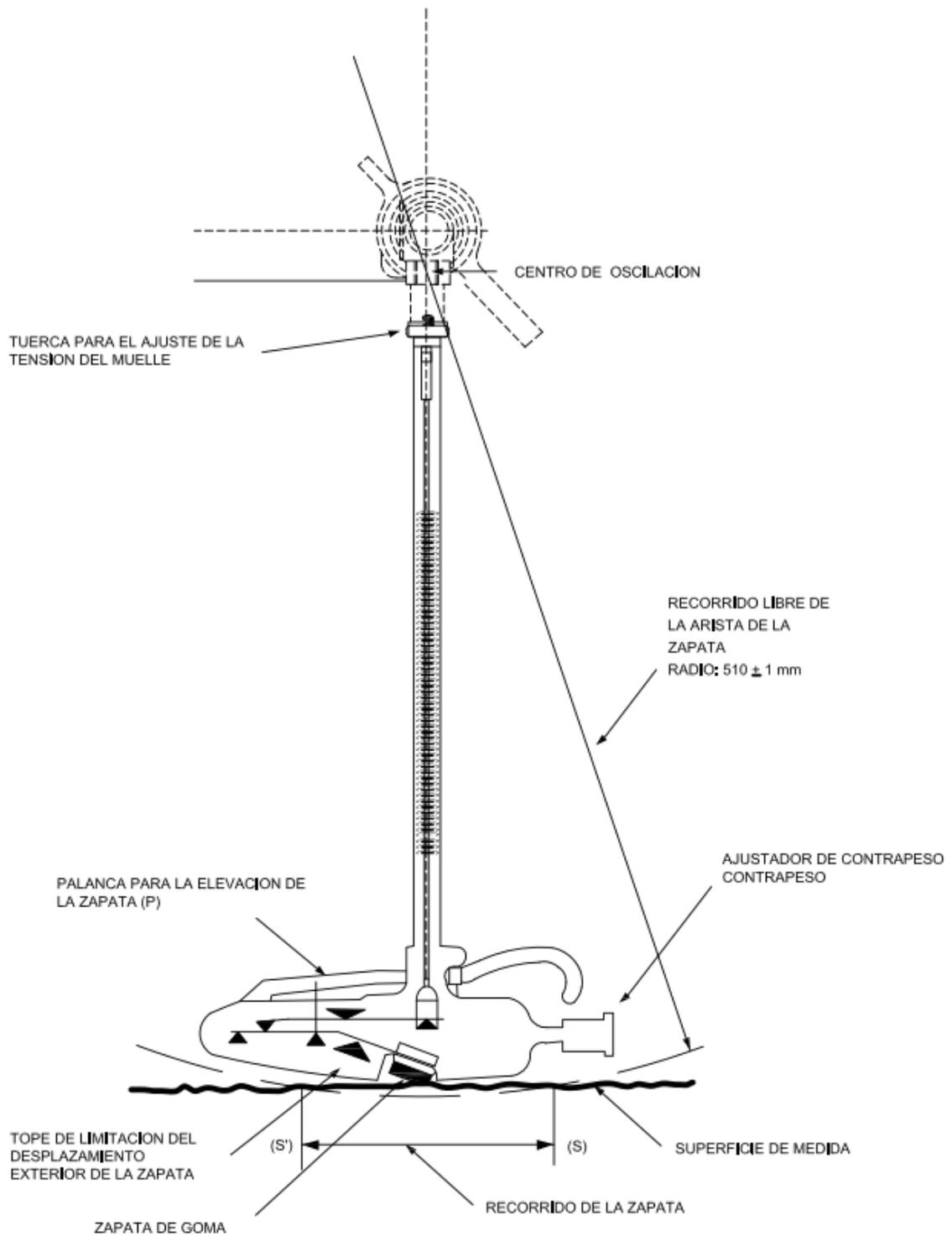
12<sup>ra</sup> Columna: Observaciones: Registro de observaciones particulares respecto de situaciones especiales acontecidas durante el proceso de medición.

**Figura. 2.18.** Péndulo de TRRL



**Fuente:** Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

**Figura. 2.19.** Detalle del brazo del péndulo.



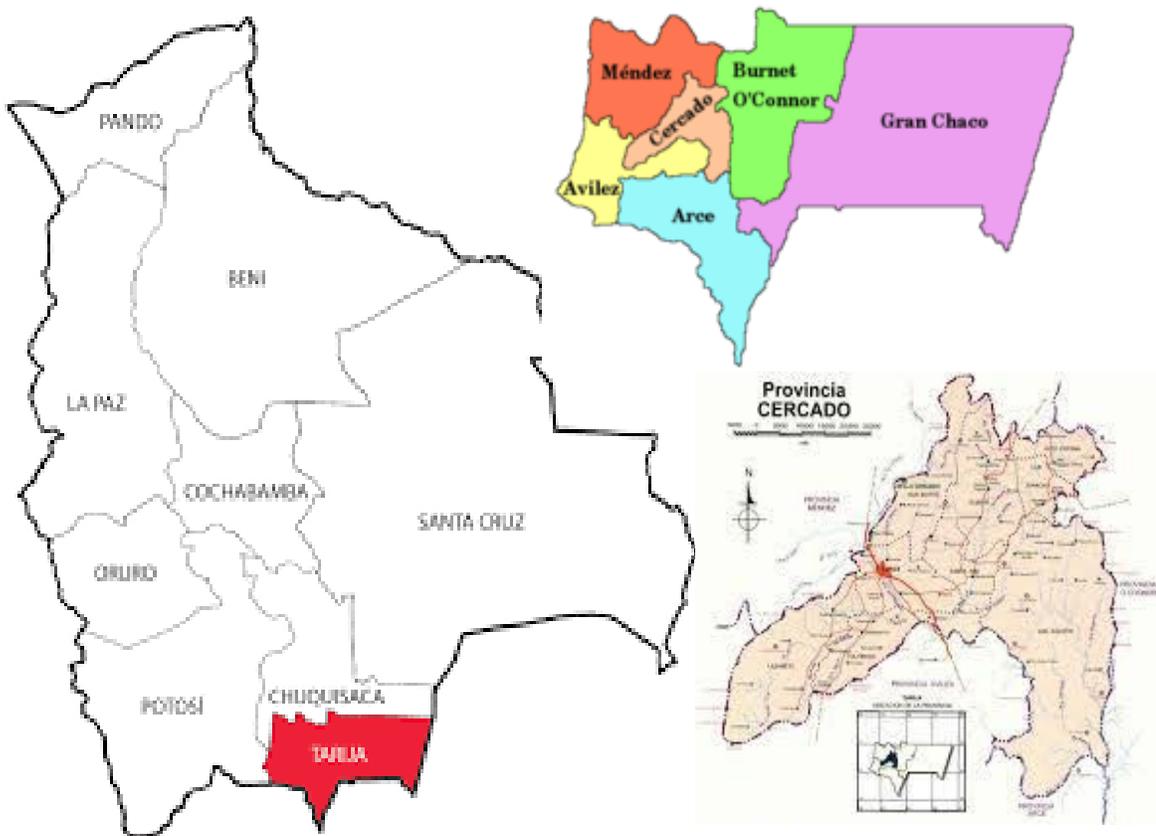
**Fuente:** Manual de carreteras. Volumen 8. Chile.

### CAPÍTULO III. APLICACIÓN DE LA PRÁCTICA

#### 3.1. UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

El lugar en estudio se encuentra ubicado en Bolivia, en el departamento de Tarija, provincia Cercado, calles del Barrio Guadalquivir.

**Figura. 3.1.** Ubicación del lugar.



**Fuente:** <https://www.pinterest.com>

**Figura. 3.2.** Ubicación de la zona de estudio.



**Fuente:** Google Earth Pro.

### **Datos de la zona y calles de estudio**

Coordenadas:

Coordenada Este: 319447,78 m.

Coordenada Norte: 7618850,93 m.

Tipo de pavimento: pavimento flexible

Calles estudiadas:

Av. Integracion

Av. Guadalquivir.

**Figura. 3.3.** Delimitación de la zona del área de estudio.



**Fuente:** Elaboración propia.

## 3.2. CALCULO DE LA MACROTEXTURA Y LA MICROTEXTURA.

### 3.2.1. Método para determinar la macrotextura del pavimento mediante ensayo del círculo de arena.

#### 3.2.1.1. Procedimiento de la práctica.

El ensayo se realizó en las calles del barrio Guadalquivir seleccionando algunas calles y realizando tres ternas de puntos por calle, efectuándolo en la huella externa de cada carril. El procedimiento fue el siguiente:

Con todo el material necesario se comenzó el ensayo, se introdujo la arena en la probeta de volumen conocido hasta los 25 ml y la pesamos registrando su peso.

Continuamos eligiendo el lugar específico y limpiando completamente con ayuda de un cepillo de cerdas finas y platicas, una vez limpio con ayuda del embudo se vació la arena en el pavimento, a continuación, con ayuda del disco esparcidor se esparció la arena formando un círculo hasta que se cubrió completamente el sector y quedo sin bordes. Se prosiguió a medir 5 diámetros y a registrarlos en la planilla. Este procedimiento se repitió para todos los posteriores puntos escogidos.

**Figura. 3.4.** Pesaje de la arena.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.5.** Arena sobre la superficie.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.6.** Esparcimiento de la arena.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.7.** Medición del diámetro.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.8.** Realizando el ensayo del círculo de arena



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.1.2. Datos de campo.

**Tabla 3.1.** Datos del círculo de arena ejemplo.

Ensayo círculo de arena												
Calle	Punto	Peso(gr)	Diametros(cm)					Diametros (mm)				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Av integracion	1	33,1	26,5	26	25,0	25,6	28	265	260	250	256	275
	2	33,1	25,0	25	26,0	25,7	27	250	248	260	257	270
	3	33,1	26,0	24	25,7	26,0	25	260	238	257	260	250
	4	33,1	25,2	24	27,0	26,5	24	252	243	270	265	240
	5	33,1	27,0	23	24,0	27,6	25	270	228	240	276	250
	6	33,1	24,5	26	23,5	24,0	26	245	260	235	240	262
	7	33,1	22,8	24	26,4	25,0	25	228	240	264	250	245
	8	33,1	24,5	26	25,0	24,6	28	245	260	250	246	280
	9	33,1	22,5	25	26,0	27,0	24	225	254	260	270	242
Av integracion	1	33,1	24,0	26	25,4	26,0	25	240	262	254	260	248
	2	33,1	26,0	25	24,8	23,5	27	260	250	248	235	270
	3	33,1	25,5	26	25,4	26,0	24	255	260	254	260	238
	4	33,1	24,0	25	26,2	24,2	23	240	254	262	242	230
	5	33,1	25,6	26	26,0	26,2	27	256	258	260	262	270
	6	33,1	24,0	25	26,0	27,0	25	240	252	260	270	252
	7	33,1	25,0	28	27,0	26,0	26	250	275	270	260	255
	8	33,1	26,0	26	25,8	24,5	28	260	262	258	245	275
	9	33,1	27,8	26	25,6	26,0	26	278	260	256	260	258

Calle virgen del rosario	1	33,1	27,0	27	31,1	26,5	26	270	272	311	265	261
	2	33,1	26,5	27	25,5	28,2	27	265	268	255	282	265
	3	33,1	27,2	29	26,5	29,5	27	272	291	265	295	268
	4	33,1	27,5	30	26,5	27,0	28	275	295	265	270	282
	5	33,1	26,4	28	30,0	26,5	27	264	275	300	265	274
	6	33,1	26,8	27	29,8	26,4	27	268	270	298	264	270
	7	33,1	26,2	26	28,4	29,7	28	262	256	284	297	280
	8	33,1	27,0	27	30,2	26,8	27	270	265	302	268	274
	9	33,1	25,4	27	28,2	25,4	27	254	267	282	254	267
Av.Guadalquivir	1	33,1	21,0	24	21,0	21,2	26	210	235	210	212	255
	2	33,1	22,5	24	21,4	21,6	25	225	240	214	216	250
	3	33,1	21,5	23	22,5	21,0	25	215	230	225	210	252
	4	33,1	22,0	23	25,1	21,0	23	220	232	251	210	225
	5	33,1	21,4	23	21,4	25,0	23	214	230	214	250	226
	6	33,1	22,5	23	25,4	26,0	21	225	234	254	260	213
	7	33,1	21,5	23	22,6	25,7	22	215	230	226	257	218
	8	33,1	23,0	22	25,1	21,5	26	230	224	251	215	261
	9	33,1	22,0	24	25,0	21,6	26	220	241	250	216	257
av . Guadalquivir	1	33,1	26,1	25	27,0	26,2	25	261	245	270	262	250
	2	33,1	26,2	25	25,0	24,7	26	262	251	250	247	262
	3	33,1	28,1	22	26,4	25,0	27	281	224	264	250	265
	4	33,1	27,2	27	25,8	24,0	25	272	265	258	240	254
	5	33,1	26,0	26	28,0	25,7	25	260	264	280	257	246
	6	33,1	25,8	25	26,7	25,9	27	258	251	267	259	265
	7	33,1	25,7	26	27,0	22,8	28	257	260	270	228	278
	8	33,1	26,2	27	27,1	25,8	25	262	265	271	258	249
	9	33,1	27,0	26	25,7	26,0	26	270	262	257	260	258

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.1.3. Procedimiento de cálculo.

Para el ensayo del círculo de arena se midieron cinco diámetros por cada punto de ensayo. Se realizó por calle tres ternas de puntos escogiendo los puntos a la misma altura de la huella de los autos, se realizó este procedimiento en ciertas calles del barrio Guadalquivir tomando como datos de muestra.

El dato común para todos los ensayos realizados, es el volumen de la muestra que es de  $V=25000 \text{ mm}^3$ .

El ejemplo de muestra de un punto de una calle seleccionada.

Comenzamos obteniendo el promedio de los cinco diámetros obtenidos:

$$\text{Promedio} = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5}{5}$$

$$\text{Promedio} = \frac{265 + 260 + 250 + 256 + 275}{5}$$

$$\text{Promedio} = 261.2 \text{ mm}$$

Calculamos el promedio de profundidad de Macrotextura:

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

$$MTD = \frac{4 * 25000}{\pi * 261,2^2}$$

$$MTD = 0.47 \text{ mm TEXTURA MEDIA}$$

**Tabla 3.2.** Clasificación de la textura del pavimento.

<b>MTD</b>	<b>Textura</b>
< 0,20	Muy fina
0,21 - 0,40	Fina
0,41 - 0,80	Media
0,81 - 1,20	Gruesa
> 1,20	Muy gruesa

**Fuente:** norma ATSM E965.

**Tabla 3.3.** Resultado de la macrotextura del punto 1 de ejemplo.

<b>Ensayo círculo de arena</b>									
<b>volumen de la muestra</b>			<b>25ml</b>		<b>=</b>	<b>25000</b>		<b>mm<sup>3</sup></b>	
<b>Punto</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Diametros del círculo (mm)</b>					<b>Promedio</b>	<b>MTD</b>	<b>Textura</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
1.1	33,1	265	260	250	256	275	261,2	0,47	Media

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 3.2.1.4. Análisis de resultados.

De acuerdo al manual de carreteras de Bolivia nos indica que los requisitos mínimos para mantener una resistencia al resbalamiento satisfactoria a velocidades de 90 km/h serán de 1 mm para superficies bituminosas, lo cual en los tramos evaluados ninguno cumple con este parámetro.

Tomando en cuenta que los resultados obtenidos de la macrotextura en las calles del barrio Guadalquivir estos están entre los rangos entre 0.41 a 0.80 podemos clasificar que es una macrotextura media, aceptable ya que se trata de una zona urbana donde las velocidades de circulación deberán de ser menores a los 90 km/h

**Tabla 3.4.** Resultados Círculo de arena.

<b>Ensayo círculo de arena</b>									
<b>volumen de la muestra</b>			<b>25ml</b>		<b>=</b>	<b>25000</b>		<b>mm<sup>3</sup></b>	
<b>Punto</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>Diametros del círculo (mm)</b>					<b>promedio</b>	<b>MTD</b>	<b>textura</b>
		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>			
1.1	33,1	265	260	250	256	275	261,2	0,47	Media
1.2	33,1	250	248	260	257	270	257,0	0,48	Media
1.3	33,1	260	238	257	260	250	253,0	0,50	Media
1.4	33,1	252	243	270	265	240	254,0	0,49	Media
1.5	33,1	270	228	240	276	250	252,8	0,50	Media

1.6	33,1	245	260	235	240	262	248,4	0,52	Media
1.7	33,1	228	240	264	250	245	245,4	0,53	Media
1.8	33,1	245	260	250	246	280	256,2	0,48	Media
1.9	33,1	225	254	260	270	242	250,2	0,51	Media
2.1	33,1	240	262	254	260	248	252,8	0,50	Media
2.2	33,1	260	250	248	235	270	252,6	0,50	Media
2.3	33,1	255	260	254	260	238	253,4	0,50	Media
2.4	33,1	240	254	262	242	230	245,6	0,53	Media
2.5	33,1	256	258	260	262	270	261,2	0,47	Media
2.6	33,1	240	252	260	270	252	254,8	0,49	Media
2.7	33,1	250	275	270	260	255	262,0	0,46	Media
2.8	33,1	260	262	258	245	275	260,0	0,47	Media
2.9	33,1	278	260	256	260	258	262,4	0,46	Media
3.1	33,1	270	272	311	265	261	275,8	0,42	Media
3.2	33,1	265	268	255	282	265	267,0	0,45	Media
3.3	33,1	272	291	265	295	268	278,2	0,41	Media
3.4	33,1	275	295	265	270	282	277,4	0,41	Media
3.5	33,1	264	275	300	265	274	275,6	0,42	Media
3.6	33,1	268	270	298	264	270	274,0	0,42	Media
3.7	33,1	262	256	284	297	280	275,8	0,42	Media
3.8	33,1	270	265	302	268	274	275,8	0,42	Media
3.9	33,1	254	267	282	254	267	264,8	0,45	Media
4.1	33,1	210	235	210	212	255	224,4	0,63	Media
4.2	33,1	225	240	214	216	250	229,0	0,61	Media
4.3	33,1	215	230	225	210	252	226,4	0,62	Media
4.4	33,1	220	232	251	210	225	227,6	0,61	Media
4.5	33,1	214	230	214	250	226	226,8	0,62	Media
4.6	33,1	225	234	254	260	213	237,2	0,57	Media
4.7	33,1	215	230	226	257	218	229,2	0,61	Media

4.8	33,1	230	224	251	215	261	236,2	0,57	Media
4.9	33,1	220	241	250	216	257	236,8	0,57	Media
5.1	33,1	261	245	270	262	250	257,6	0,48	Media
5.2	33,1	262	251	250	247	262	254,4	0,49	Media
5.3	33,1	281	224	264	250	265	256,8	0,48	Media
5.4	33,1	272	265	258	240	254	257,8	0,48	Media
5.5	33,1	260	264	280	257	246	261,4	0,47	Media
5.6	33,1	258	251	267	259	265	260,0	0,47	Media
5.7	33,1	257	260	270	228	278	258,6	0,48	Media
5.8	33,1	262	265	271	258	249	261,0	0,47	Media
5.9	33,1	270	262	257	260	258	261,4	0,47	Media

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.2.2. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento con péndulo británico. (TRRL).**

#### **3.2.2.1. Procedimiento de la práctica.**

Los puntos de medición para el péndulo británico son los mismos puntos que fueron anteriormente medidos para el círculo de arena efectuándolo en la huella externa de cada carril. En una calle seleccionada se hizo tres ternas de punto por espacio.

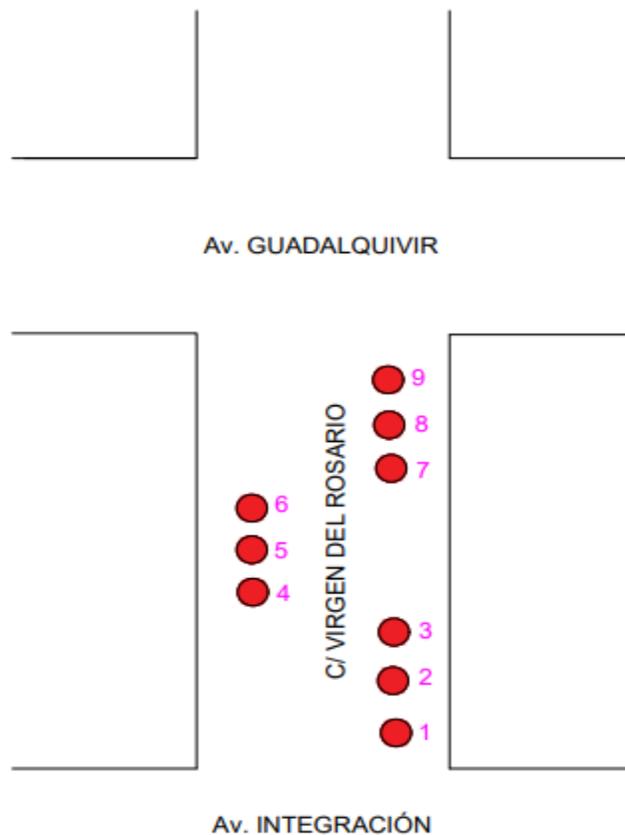
Con el equipo en el lugar y con ayuda del personal de laboratorio se procedió a su armado.

Una vez colocado en el sitio elegido se realizó la nivelación con guía del nivel de burbuja que tiene. También colocamos el termómetro en el suelo cerca del péndulo, pero sin que perjudique al equipo. Una vez nivelado se procedió a medir la longitud de rose de la zapata con ayuda del tornillo superior hasta lograr la longitud que nos indica la regla del equipo.

Ya con todas las nivelaciones se procede a colocar el brazo del péndulo en posición horizontal hasta que quede enganchado automáticamente en el equipo. Se rocío con agua el sector del suelo donde oscilaría, colocando la aguja indicadora en cero siguiendo presionamos el pulsador que suelta el brazo del péndulo para que oscile. Realizamos la lectura y anotación del ángulo de oscilación que nos indica el panel. Este mismo

procedimiento lo realizamos con diferentes estados de saturación de agua, hicimos un contenedor de agua el cual sellamos con plastilina el contorno, e haciendo variar el nivel del volumen de agua optando 4 niveles, uno que representaría el rocío de una lluvia, el segundo representaría una lluvia leve, el tercero representaría una lluvia media y por último el más desfavorable de los casos que sería el cuarto una lluvia máxima, Realizamos este mismo procedimiento 5 veces obteniendo 5 lecturas. En caso de que dos o más BPN difiera más de 3 unidades se procede a volver a realizar las 5 mediciones consecutivas. Se concluyó con el ensayo realizando el registro de la temperatura del pavimento con el termómetro colocado a un inicio del ensayo. Se realizaron 45 puntos de ensayos y por punto de ensayo 4 niveles de saturación y por nivel de saturación 5 lecturas.

**Figura. 3.9.** Medición de una calle del barrio Guadalquivir.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.10.** Diferentes estados de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.11.** Colocado del sellado del contenedor con plastilina.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.12.** Armado y nivelación del péndulo británico.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.13.** Lecturas con el primer nivel.



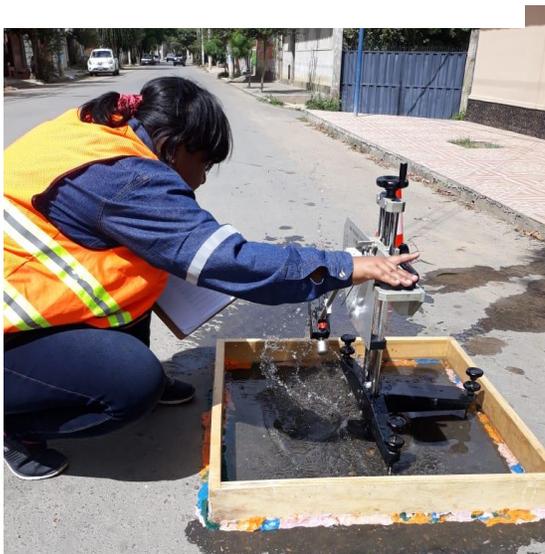
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.14.** Lecturas al segundo nivel de saturación.



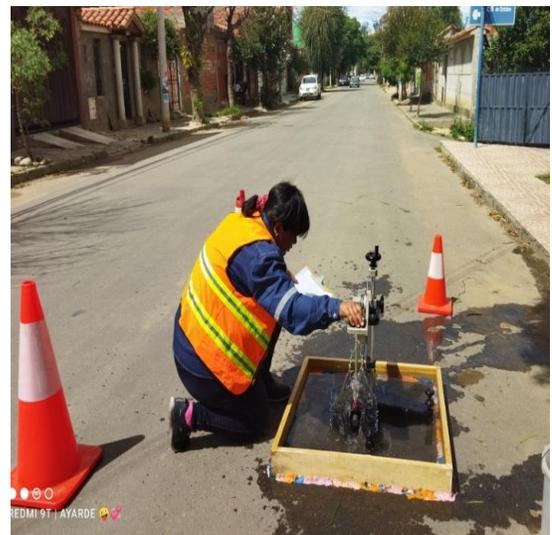
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.15.** Lecturas al tercer nivel de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.16.** Lecturas al cuarto nivel de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.17.** Llenado de diferentes volúmenes de agua.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.18.** Recuperación de agua.



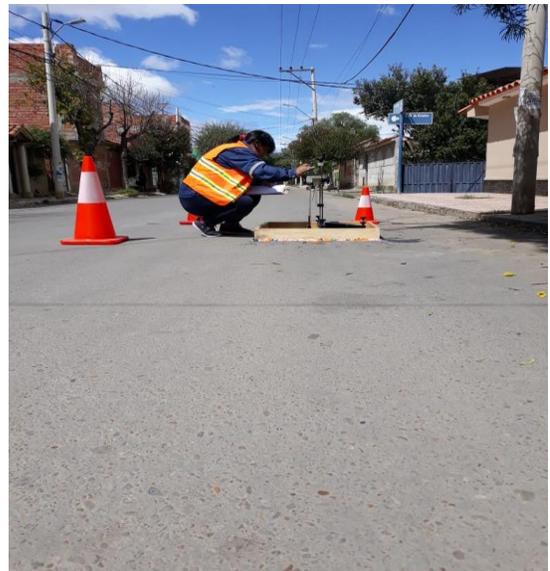
**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.19.** Lectura de la temperatura del pavimento.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.20.** Realizando la práctica del péndulo británico.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.2.2. Datos de campo.

**Tabla. 3.5.** Datos del péndulo británico.

<b>Ensayo Péndulo Británico</b>							
<b>Punto</b>	<b>T°C°</b>	<b>Vol. De agua(Lt.)</b>	<b>BPN (adim.)</b>				
			<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
1	30	seco	85	84	85	86	86
	30	6,4	83	82	81	84	83
	30	19,2	79	78	77	76	77
	30	48,0	72	71	68	69	70
2	29	seco	83	80	82	85	84
	29	6,4	80	81	79	82	81
	29	19,2	75	74	73	71	72
	29	48,0	69	68	66	67	68
3	28	seco	80	85	84	83	80
	28	6,4	81	80	79	80	79
	28	19,2	74	73	72	71	70
	28	48,0	68	67	65	66	65
4	30	seco	82	84	85	85	86
	30	6,4	80	79	78	80	78
	30	19,2	75	74	73	72	71
	30	48,0	67	65	64	65	64
5	31	seco	80	81	84	85	85
	31	6,4	78	77	79	77	76
	31	19,2	70	69	71	70	71
	31	48,0	66	67	68	66	67
6	29	seco	85	83	84	82	80
	29	6,4	80	80	79	79	78
	29	19,2	75	74	73	72	71
	29	48,0	65	64	64	63	64

7	30	seco	79	80	81	82	80
	30	6,4	75	74	73	74	75
	30	19,2	68	68	67	66	67
	30	48,0	60	59	61	61	60
8	31	seco	78	80	81	82	84
	31	6,4	79	78	77	76	76
	31	19,2	69	67	68	68	67
	31	48,0	60	61	60	59	60
9	30	seco	77	76	78	78	76
	30	6,4	72	71	70	71	70
	30	19,2	64	63	65	64	65
	30	48,0	59	58	59	60	59

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2.2.3. Procedimiento de cálculo.

#### Calculo de la altura de precipitación máxima

Tomamos como parámetro las estaciones del Tejar, Aeropuerto y Turumayo.

**Tabla. 3.6.** Cálculos de las estaciones.

		Aeropuerto	Tejar	Turumayo
<b>Numero de datos</b>	<b>N°</b>	22	30	33
<b>Media</b>	<b>X</b>	56,591	57,605	65,783
<b>Desviacion estandar.</b>	<b>Sd</b>	16,452	18,814	17,050
<b>Moda</b>	<b>Ed</b>	49,187	49,139	58,110
<b>Caracteristica</b>	<b>Kd</b>	0,601	0,687	0,527

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.7.** Cálculos de los parámetros de lluvia.

<b>Lluvias diarias</b>						
<b>Ed</b>	<b>Kd</b>	<b>T</b>	<b>Log(T)</b>	<b>Log(T)*Kd</b>	<b>Log(T)*Kd+1</b>	<b>(Log(T)*Kd+1)*Ed</b>
52,6344	0,6025	50,00	1,6990	1,0237	2,0237	106,5153
52,6344	0,6025	100,00	2,0000	1,2051	2,2051	116,0621
52,6344	0,6025	200,00	2,3010	1,3864	2,3864	125,6089

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.8.** Lluvias a partir de las dos horas

<b>Lluvias menores A 24 hrs. Y mayores a 2 hrs.</b>						
<b>t2</b>	<b>t3</b>	<b>t4</b>	<b>t5</b>	<b>t10</b>	<b>t18</b>	<b>t24</b>
74,44	80,72	85,50	89,41	102,70	115,51	122,35
81,11	87,96	93,17	97,42	111,91	125,87	133,32
87,78	95,19	100,83	105,43	121,11	136,22	144,29

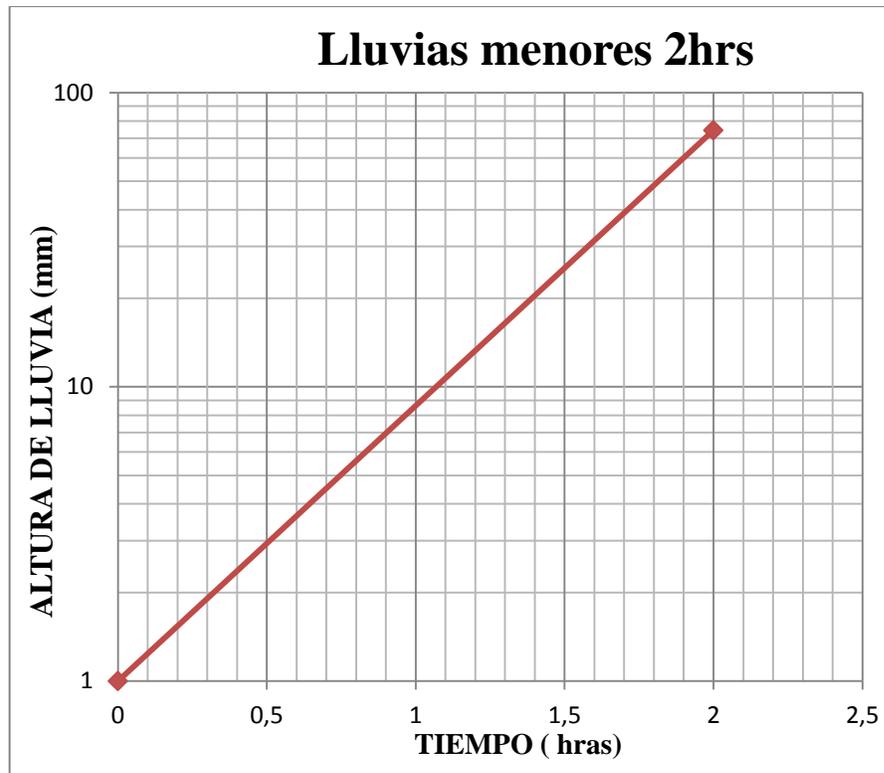
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.9.** Resultado de la altura de intensidad máxima.

<b>T 50</b>	
1	0
74,4358	2,0000

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.21.** Grafica altura de lluvia vs tiempo.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Calculo de los volúmenes de agua para diferentes estados de saturación.**

**Figura. 3.22.** Contenedor de agua hecho de madera.



**Fuente:** Elaboración propia.

MEDIDAS: 80cm x 80cm.

Calculo del volumen de agua para una lluvia máxima h de lluvia de 75 mm.

$$V = (a \times b \times h) \text{ m}$$

$$V = (0,8 \times 0,8 \times 0,075) \text{ m} = 0,048 \text{ m}^3 = 48 \text{ Lt.}$$

Para una lluvia media h de lluvia de 30 mm.

$$V = 19,2 \text{ Lt.}$$

Para una lluvia leve h de lluvia de 10 mm.

$$V = 6,4 \text{ Lt.}$$

**Tomaremos como ejemplo el punto número uno.**

- Para un primer nivel de saturación

Realizamos el ajuste por temperatura.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (30 - 20))} = 1,06$$

Obtenemos el promedio

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5}$$

$$Prom = \frac{85 + 84 + 85 + 86 + 86}{5} = 85,2$$

Cálculo del valor de BPN ajustada por temperatura.

$$BPN_A = BPN * F_A$$

$$BPN_A = 85,2 * 1,06 = 89,92$$

Resultado del ensayo.

$$RD = \frac{BPN_A}{100}$$

$$RD = \frac{89,92}{100} = 0,90$$

Calificación= De bueno a regular.

- Para un segundo nivel de saturación

Realizamos el ajuste por temperatura.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (30 - 20))} = 1,06$$

Obtenemos el promedio

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5}$$

$$Prom = \frac{83 + 82 + 81 + 84 + 83}{5} = 82,6$$

Cálculo del valor de BPN ajustada por temperatura.

$$BPN_A = BPN * F_A$$

$$BPN_A = 82,6 * 1,06 = 87,18$$

Resultado del ensayo.

$$RD = \frac{BPN_A}{100}$$

$$RD = \frac{87,18}{100} = 0,87$$

Calificación= De bueno a regular

- Para un tercer nivel de saturación

Realizamos el ajuste por temperatura.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (30 - 20))} = 1,06$$

Obtenemos el promedio

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5}$$

$$Prom = \frac{79 + 78 + 77 + 76 + 77}{5} = 77,4$$

Cálculo del valor de BPN ajustada por temperatura.

$$BPN_A = BPN * F_A$$

$$BPN_A = 77,4 * 1,06 = 81,69$$

Resultado del ensayo.

$$RD = \frac{BPN_A}{100}$$

$$RD = \frac{81,69}{100} = 0,82$$

Calificación= De bueno a regular

- Para un cuarto nivel de saturación

Realizamos el ajuste por temperatura.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0.00525 * (30 - 20))} = 1,06$$

Obtenemos el promedio

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5}$$

$$Prom = \frac{72 + 71 + 68 + 69 + 70}{5} = 70$$

Cálculo del valor de BPN ajustada por temperatura.

$$BPN_A = BPN * F_A$$

$$BPN_A = 70 * 1,06 = 73,88$$

Resultado del ensayo.

$$RD = \frac{BPN_A}{100}$$

$$RD = \frac{73,88}{100} = 0,74$$

Calificación= Bueno

Encontramos la calificación.

**Tabla 3.10.** Calificación referencial de la fricción.

<b>RD</b>	<b>Calificación</b>
0,5	Malo (Deslizamiento)
0,51-0,6	De regular a malo
0,61-0,8	Bueno
0,81-0,9	De bueno a regular
0,91	Malo (Desgaste de neumáticos)

**Fuente:** Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional. Instituto de transporte.

### 3.2.2.4. Análisis de resultados.

**Tabla. 3.11.** Resultados del punto uno a diferentes estados de saturación.

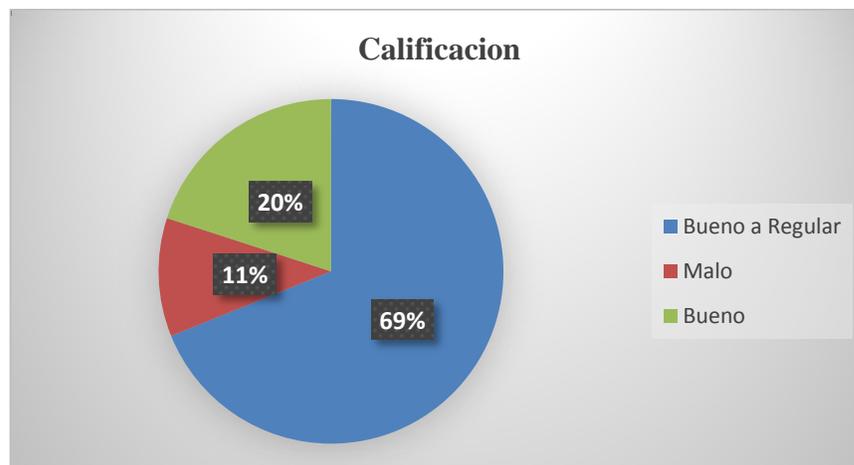
Ensayo Péndulo Británico											
Punto 1	Tem °C	F <sub>A</sub>	Lecturas					Prom	BPN <sub>A</sub>	RD	Calificación
			1	2	3	4	5				
nivel 1	30	1,06	85	84	85	86	86	85,2	89,92	0,90	De bueno a regular
nivel 2	30	1,06	83	82	81	84	83	82,6	87,18	0,87	De bueno a regular
nivel 3	30	1,06	79	78	77	76	77	77,4	81,69	0,82	De bueno a regular
nivel 4	30	1,06	72	71	68	69	70	70,0	73,88	0,74	Bueno

**Fuente:** Elaboración propia.

Podemos observar que en nuestra tabla de resultados de ejemplo de cálculo del punto uno, a una misma temperatura pero a diferentes estados de saturación siendo el nivel uno menor altura de agua y el nivel cuatro altura máxima de saturación se ve un descenso de los valores de la fricción. Es decir que a mayor presencia de agua la fricción va disminuyendo.

- Resultados para el primer nivel de saturación

**Figura. 3.23.** Calificación nivel uno de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

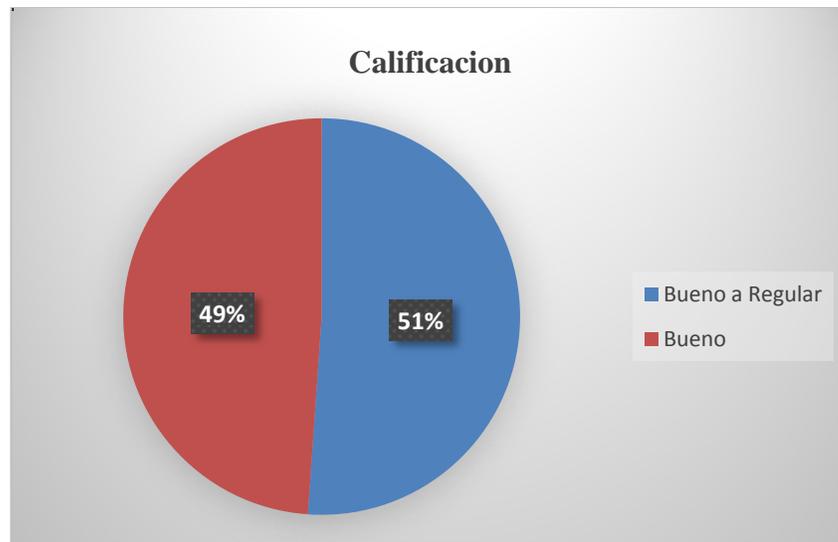
Podemos observar que un 69% de los puntos evaluados nos da una calificación de bueno a regular, mientras que un 20% nos da una calificación de bueno y un 11% nos da una calificación de malo.

En el manual de carreteras Boliviano nos indica que el valor de la fricción debe ser mayor o igual a 0,45, teniendo en cuenta que el valor mínimo obtenido en nuestros puntos es de 0,59 podemos decir que se encuentra aceptable es decir tiene una buena resistencia al deslizamiento.

De acuerdo al manual de carreteras Chileno el valor mínimo para la medición de la fricción con péndulo Británico es: en sectores singulares un mínimo de 65 y en sectores sin singularidades un mínimo de 55. Mencionar que en caso de incumplimiento de los valores exigidos se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos con deficiencia. En las calles evaluadas el mínimo que se obtuvo es de 59 por lo tanto se encuentra dentro de los parámetros y es aceptado.

- Resultados para el segundo nivel de saturación

**Figura. 3.24.** Calificación segundo nivel de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

Podemos observar que un 51% de los puntos evaluados nos da una calificación de bueno a regular, mientras que un 49% nos da una calificación de bueno.

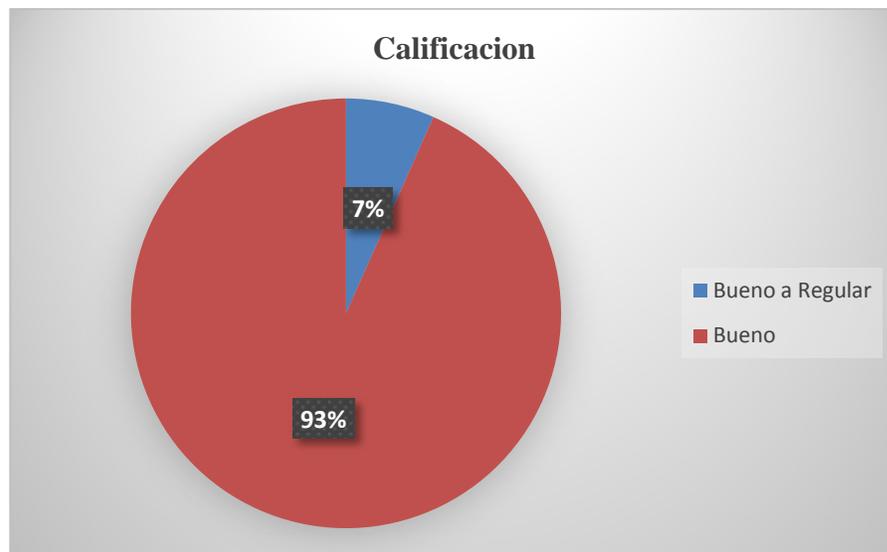
En el manual de carreteras Boliviano nos indica que el valor de la fricción debe ser mayor o igual a 0,45, teniendo en cuenta que el valor mínimo obtenido en nuestros

puntos es de 0,59 podemos decir que se encuentra aceptable es decir tiene una buena resistencia al deslizamiento.

De acuerdo al manual de carreteras Chileno el valor mínimo para la medición de la fricción con péndulo Británico es: en sectores singulares un mínimo de 65 y en sectores sin singularidades un mínimo de 55. Mencionar que en caso de incumplimiento de los valores exigidos se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos con deficiencia. En las calles evaluadas el mínimo que se obtuvo es de 59 por lo tanto se encuentra dentro de los parámetros y es aceptado.

- Resultados para el tercer nivel de saturación

**Figura. 3.25.** Calificación tercer nivel de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

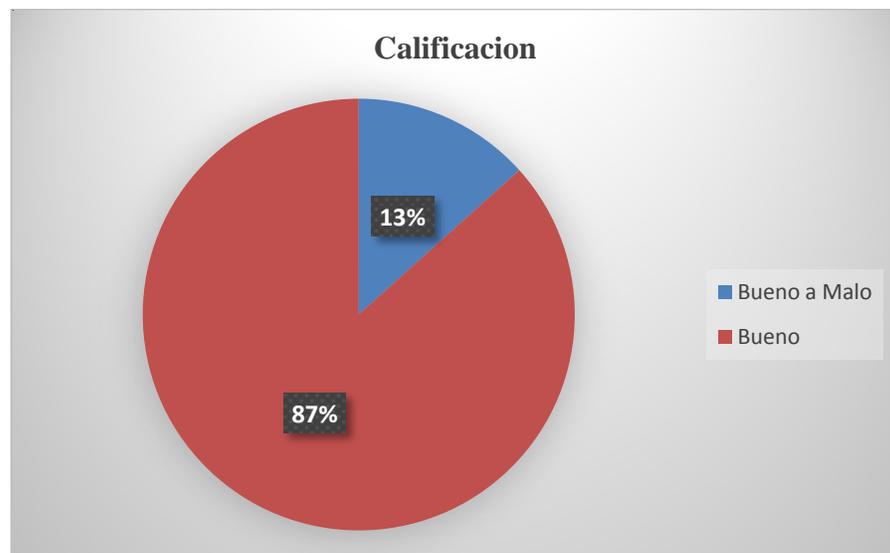
Podemos observar que un 93% de los puntos evaluados nos da una calificación de bueno, mientras que un 7% nos da una calificación de bueno a regular.

En el manual de carreteras Boliviano nos indica que el valor de la fricción debe ser mayor o igual a 0,45, teniendo en cuenta que el valor mínimo obtenido en nuestros puntos es de 0,59 podemos decir que se encuentra aceptable es decir tiene una buena resistencia al deslizamiento.

De acuerdo al manual de carreteras Chileno el valor mínimo para la medición de la fricción con péndulo Británico es: en sectores singulares un mínimo de 65 y en sectores sin singularidades un mínimo de 55. Mencionar que en caso de incumplimiento de los valores exigidos se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos con deficiencia. En las calles evaluadas el mínimo que se obtuvo es de 59 por lo tanto se encuentra dentro de los parámetros y es aceptado.

- Resultados para el cuarto nivel de saturación

**Figura. 3.26.** Calificación para el cuarto nivel de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

Podemos observar que un 87% de los puntos evaluados nos da una calificación de bueno, mientras que un 13% nos da una calificación de bueno.

En el manual de carreteras Boliviano nos indica que el valor de la fricción debe ser mayor o igual a 0,45, teniendo en cuenta que el valor mínimo obtenido en nuestros puntos es de 0,59 podemos decir que se encuentra aceptable es decir tiene una buena resistencia al deslizamiento.

De acuerdo al manual de carreteras Chileno el valor mínimo para la medición de la fricción con péndulo Británico es: en sectores singulares un mínimo de 65 y en sectores sin singularidades un mínimo de 55. Mencionar que en caso de incumplimiento de los

valores exigidos se deberán realizar las acciones correctivas en los tramos con deficiencia. En las calles evaluadas el mínimo que se obtuvo es de 59 por lo tanto se encuentra dentro de los parámetros y es aceptado.

### 3.2.3. Método IFI.

#### 3.2.3.1. Cálculos IFI.

Tomaremos como ejemplo el punto número uno.

Promedio de las lecturas de campo.

Círculo de arena

$$Prom = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}{5} = \frac{26,5 + 26 + 25 + 25,6 + 28}{5} = 26,12$$

Péndulo Británico

$$Prom = \frac{BPN_1 + BPN_2 + BPN_3 + BPN_4 + BPN_5}{5} = \frac{85 + 84 + 85 + 86 + 86}{5} = 85,2$$

Corrección por temperatura en el péndulo Británico.

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (t - 20))}$$

$$F_A = \frac{1}{(1 - 0,00525 * (30 - 20))} = 1,06$$

$FR_5 =$  Promedio de lectura corregida de pendulo britanico

$DP = DP$  circulo de arena

$$MTD = Tx = \frac{4 * V}{\pi * DP^2} = \frac{4 * 25000}{\pi * 261,2^2} = 0,47$$

$$Sp = a + b * MDT = -11,5981 + 113,632 * 0,47 = 41,81$$

$$FR60 = FR_5 * e^{\frac{60-S}{Sp}} = 89,92 * e^{\frac{60-10}{41,81}} = 27,19$$

$$F60 = A + B * FR60 = 0,078 + 0,0107 * 27,19 = 0,37$$

**Tabla. 3.12.** Resultados de IFI.

Calculo de IFI						
Punto	FRs	Dp	MTD	Sp	FR60	F60
1.1	89,92	26,12	0,47	41,81	27,19	0,37
1.2	86,91	25,70	0,48	42,95	27,13	0,37
1.3	86,01	25,30	0,50	45,22	28,47	0,38
1.4	89,08	25,40	0,49	44,08	28,65	0,38
1.5	88,09	25,28	0,50	45,22	29,15	0,39
1.6	86,91	24,84	0,52	47,49	30,33	0,40
1.7	84,86	24,54	0,53	48,63	30,35	0,40
1.8	85,96	25,62	0,48	42,95	26,83	0,37
1.9	81,27	25,02	0,51	46,35	27,63	0,37
2.1	90,29	25,28	0,50	45,22	29,88	0,40
2.2	90,72	25,26	0,50	45,22	30,02	0,40
2.3	88,87	25,34	0,50	45,22	29,41	0,39
2.4	93,13	24,56	0,53	48,63	33,31	0,43
2.5	91,87	26,12	0,47	41,81	27,78	0,38

2.6	86,99	25,48	0,49	44,08	27,98	0,38
2.7	89,52	26,20	0,46	40,67	26,18	0,36
2.8	91,18	26,00	0,47	41,81	27,58	0,37
2.9	92,51	26,24	0,46	40,67	27,06	0,37
3.1	83,93	27,58	0,42	36,13	21,03	0,30
3.2	85,59	26,70	0,45	39,54	24,17	0,34
3.3	89,94	27,82	0,41	34,99	21,55	0,31
3.4	87,30	27,74	0,41	34,99	20,91	0,30
3.5	87,96	27,56	0,42	36,13	22,04	0,31
3.6	89,92	27,40	0,42	36,13	22,53	0,32
3.7	87,73	27,58	0,42	36,13	21,98	0,31

3.8	88,58	27,58	0,42	36,13	22,19	0,32
3.9	93,23	26,48	0,45	39,54	26,32	0,36
4.1	74,94	22,44	0,63	59,99	32,56	0,43
4.2	76,62	22,90	0,61	57,72	32,22	0,42
4.3	76,41	22,64	0,62	58,85	32,67	0,43
4.4	77,49	22,76	0,61	57,72	32,58	0,43
4.5	76,20	22,68	0,62	58,85	32,58	0,43
4.6	80,33	23,72	0,57	53,17	31,37	0,41
4.7	80,68	22,92	0,61	57,72	33,93	0,44
4.8	80,28	23,62	0,57	53,17	31,35	0,41
4.9	80,52	23,68	0,57	53,17	31,44	0,41
5.1	87,47	25,76	0,48	42,95	27,30	0,37
5.2	86,87	25,44	0,49	44,08	27,94	0,38
5.3	86,64	25,68	0,48	42,95	27,05	0,37
5.4	85,81	25,78	0,48	42,95	26,79	0,36
5.5	83,27	26,14	0,47	41,81	25,18	0,35
5.6	82,31	26,00	0,47	41,81	24,89	0,34
5.7	82,57	25,86	0,48	42,95	25,77	0,35
5.8	82,97	26,1	0,47	41,81	25,09	0,35
5.9	82,28	26,14	0,47	41,81	24,88	0,34
			PROM.	44,91		0,37

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F(S)	1,42	0,91	0,58	0,37	0,24	0,15	0,10

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.3.2. Análisis de los resultados.

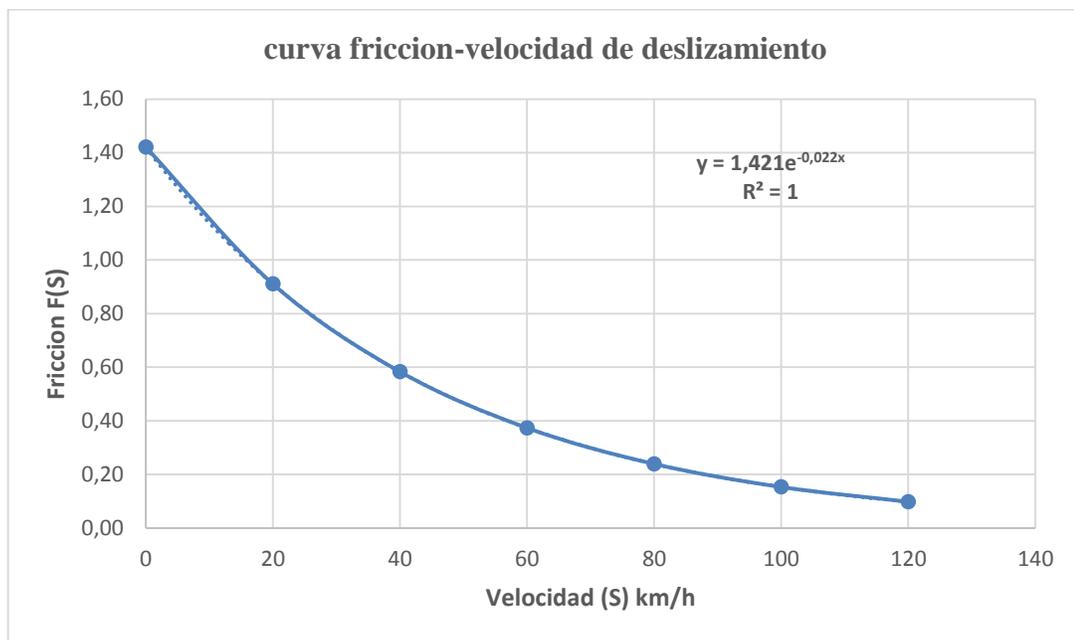
- primer estado de saturación.

**Tabla. 3.13.** Resultados de la fricción y velocidad, nivel 1.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,42	0,91	0,58	0,37	0,24	0,15	0,10

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.27.** Curva de fricción- velocidad nivel 1 de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC= 0.373

Velocidad máxima segura

$$V_{max} = 1,421 * e^{-0,022*0.373}$$

$$V_{max} = 60,79 \text{ km/hr}$$

Podemos observar que para el primer contenido de humedad la velocidad no cumple con la velocidad mínima segura de circulación que son los 90 km/h para una superficie bituminosa que tenga una macrotextura de 1 mm, tampoco la macrotextura cumple con este requerimiento mínimo estando todos los valores por debajo de este valor.

Con los cálculos realizados podemos ver que se obtiene una velocidad máxima de circulación de 60,79 km/h, para estas características de la macrotextura y la fricción en la zona del barrio Guadalquivir.

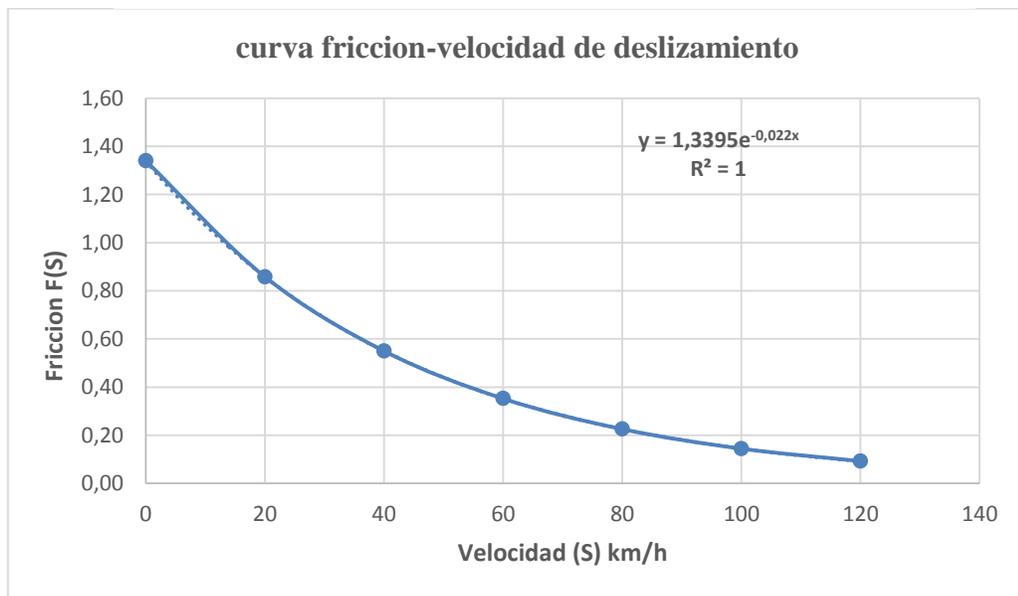
- **Segundo estado de saturación.**

**Tabla. 3.14.** Resultados de la fricción y velocidad, nivel 2

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,34	0,86	0,55	0,35	0,23	0,14	0,09

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.28.** Curva de fricción- velocidad nivel 2 de



**Fuente:** Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC= 0,373

Velocidad máxima segura

$$V_{max} = 1,3395 * e^{-0,022*0,373}$$

$$V_{max} = 58,11 \text{ km/hr}$$

Para este segundo estado de saturación podemos observar que nuestra velocidad máxima segura es de 58.11 km/h.

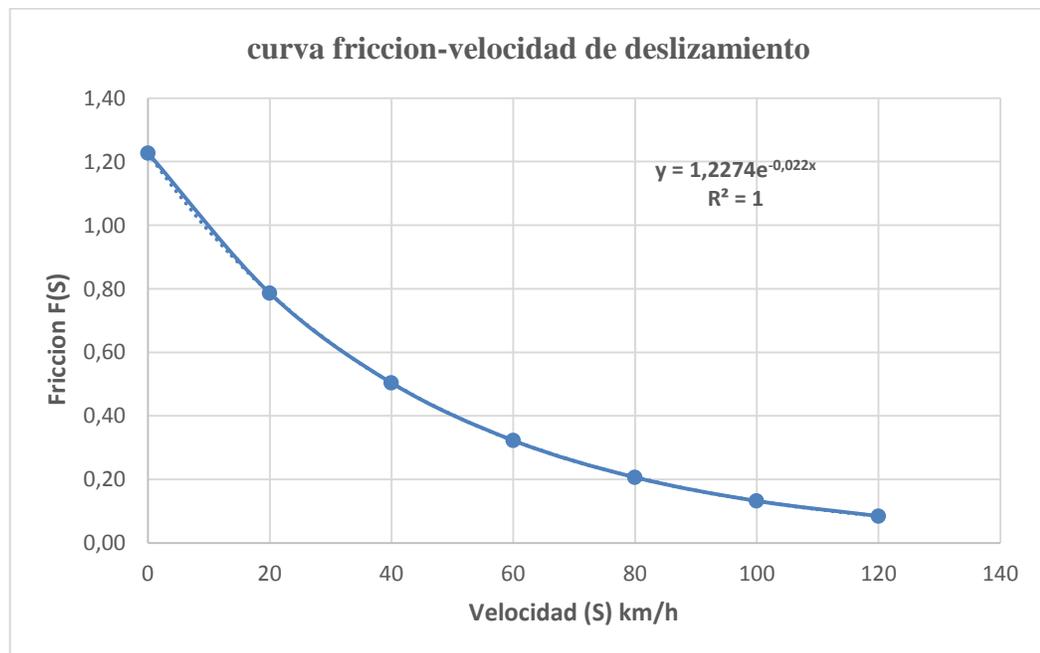
- **Tercer estado de saturación.**

**Tabla. 3.15.** Resultados de la fricción y velocidad nivel 3.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,23	0,79	0,50	0,32	0,21	0,13	0,08

Fuente: Elaboración propia.

**Figura. 3.29.** Curva de fricción- velocidad nivel 3 de saturación.



Fuente: Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC= 0,373

Velocidad máxima segura

$$V_{max} = 1,2274 * e^{-0,022*0.373}$$

$$V_{max} = 54,12 \text{ km/hr}$$

Para este segundo estado de saturación podemos observar que nuestra velocidad máxima segura es de 52,12 km/h.

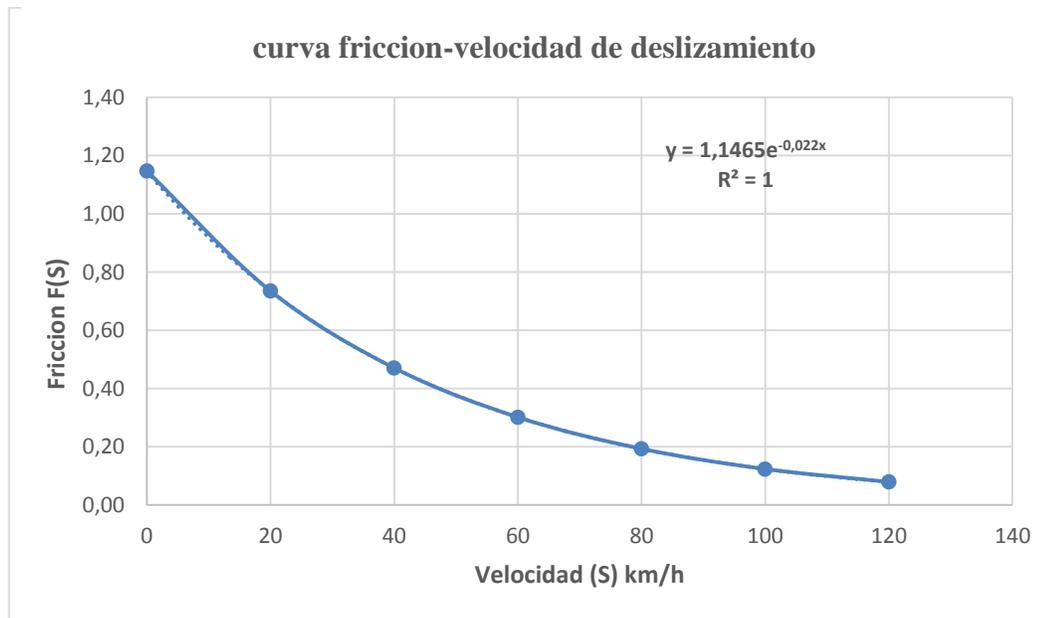
- **Cuarto estado de saturación.**

**Tabla. 3.16.** Resultados de la fricción y velocidad, nivel 4.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F (S)	1,15	0,73	0,47	0,30	0,19	0,12	0,08

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.30.** Curva de fricción- velocidad nivel 4 de saturación.



**Fuente:** Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC= 0,373

Velocidad máxima segura

$$V_{max} = 1,1465 * e^{-0,022*0.373}$$

$$V_{max} = 51,04 \frac{km}{hr}$$

Para este segundo estado de saturación podemos observar que nuestra velocidad máxima segura es de 51,04 km/h.

### 3.3. ANALISIS ESTADISTICO.

**Tabla. 3.17.** Tratamiento estadístico.

<b>Dato</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Diámetro</b>	<b>BPN</b>
1	30	261,2	85,2
2	29	257,0	82,8
3	28	253,0	82,4
4	30	254,0	84,4
5	31	252,8	83,0
6	29	248,4	82,8
7	30	245,4	80,4
8	31	256,2	81,0
9	30	250,2	77,0
10	32	252,8	80,4
11	32	252,6	79,8
12	33	253,4	78,8
13	35	245,6	78,4
14	33	261,2	78,8
15	34	254,8	75,2
16	36	262,0	76,0
17	35	260,0	77,8
18	33	262,4	80,2
19	28	275,8	66,2

20	32	267,0	59,8
21	33	278,2	65,0
22	32	277,4	64,8
23	29	275,6	66,8
24	30	274,0	66,0
25	32	275,8	65,4
26	35	275,8	65,0
27	36	264,8	75,6
28	29	224,4	55,8
29	30	229,0	56,4
30	31	226,4	56,4
31	33	227,6	56,6
32	34	226,8	54,4
33	35	237,2	55,6
34	32	229,2	56,4
35	33	236,2	57,4
36	34	236,8	57,4
37	38	257,6	84,6
38	39	254,4	85
39	39	256,8	82,8
40	40	257,8	85,8

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.18.** Parámetros estadísticos.

<b>Parámetro</b>	Temperatura	Diámetro	BPN
<b>Media</b>	32,63	253,69	72,09
<b>Desv. Estándar</b>	3,05	15,56	10,95
<b>Moda</b>	31,25	246,69	67,16
<b>Característica</b>	0,18	0,11	0,29

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.19.** Corrección por temperatura y clasificación del péndulo Británico.

FA	1,06	FRs	71,18	0,71	BUENO
----	------	-----	-------	------	-------

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.20.** Constantes.

a	-11,5981	A	0,078
b	113,6325	B	0,0107

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.21.** Resultados de fricción y textura.

Tx	0,52
Sp	47,49
FR60	24,84
F60	0,34

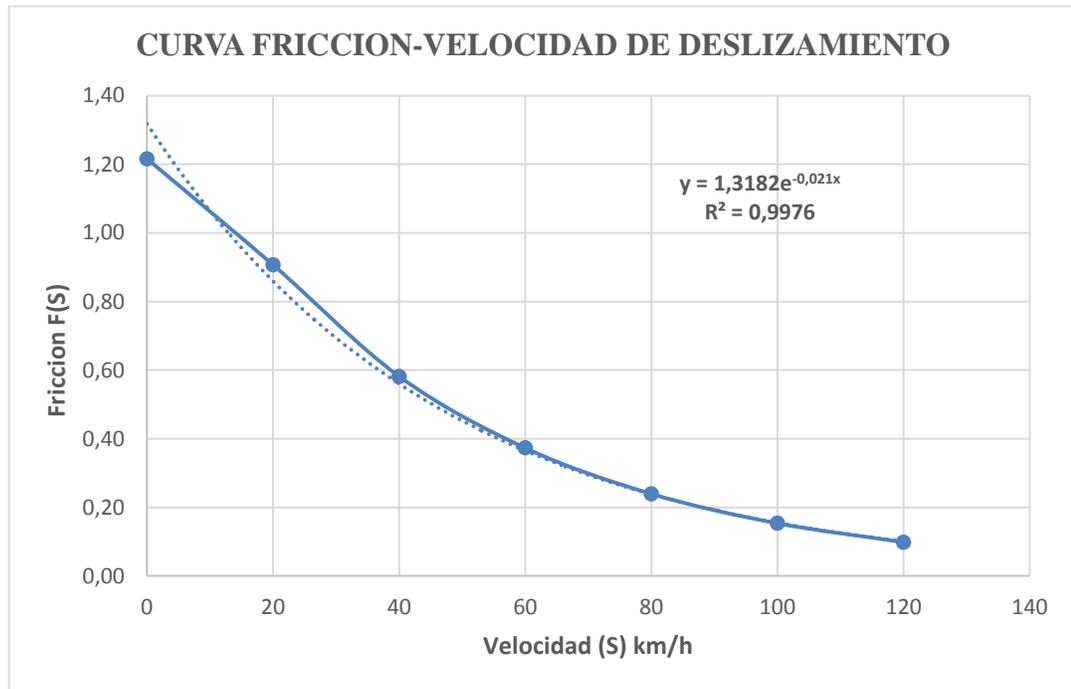
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla. 3.22.** Fricción para distintas velocidades de acuerdo al tratamiento estadístico.

S	0	20	40	60	80	100	120
	F(0)	F(20)	F(40)	F(60)	F(80)	F(100)	F(120)
F(S)	1,22	0,91	0,58	0,37	0,24	0,15	0,10

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura. 3.31.** Curva de comportamiento de la zona Guadalquivir.



**Fuente:** Elaboración propia.

Valor de la fricción mínima según el manual de la ABC= 0,373

Velocidad máxima segura

$$V_{max} = 60,11 \text{ km/hr}$$

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES.

Después de los ensayos realizados se llegan a las siguientes conclusiones:

Para el análisis del control de la fricción y textura del pavimento, se realizaron ensayos en calles del barrio Guadalquivir. Círculo de arena, péndulo Británico a diferentes estados de saturación, los que se ejecutaron satisfactoriamente.

Los resultados del péndulo Británico nos dan una resistencia al deslizamiento (RD) de 71,18 este nos indica un pavimento bueno, siendo el mínimo para el manual de 45, proporcionando una adecuada resistencia al deslizamiento a baja velocidad, menor a 50 km/h.

La macrotextura que se obtuvo con la mancha de arena, es baja 0,52 mm, lo que indica que está por debajo de lo establecido de 1,00 mm para velocidades de 90 km/h, esta nos indica que no tiene buena capacidad de evacuar agua, tampoco ofrece una adecuada resistencia a altas velocidades sobre el pavimento mojado, lo que significa que existe el riesgo que la rueda patine o se deslice causando accidentes.

Con los datos del péndulo Británico y el círculo de arena se realizó el cálculo del Índice de Fricción Internacional (IFI) este nos da una velocidad máxima de 60,11 km/h, este valor es bajo, se puede comprobar lo anteriormente dicho, el pavimento tiene buena resistencia a velocidades bajas y mala resistencia a velocidades altas, es decir que si supera la velocidad máxima establecida se corre el riesgo de causar accidente.

Se hizo un análisis del control de la fricción y textura del pavimento en diferentes calles del barrio Guadalquivir, obteniendo como resultado que en la zona se tiene una macrotextura media estos se encuentran entre los rangos de 0,41 a 0,80, y al realizar la práctica del péndulo con el objeto de identificar la microtextura del pavimento de la zona a diferentes estados de saturación siendo el nivel uno menor altura de agua y el nivel cuatro altura máxima de saturación suponiendo una lluvia de mayor intensidad, se puede observar en los resultados que a mayor presencia de agua la fricción va disminuyendo.

Teniendo los parámetros de la macrotextura y la microtextura aplicando el método IFI podemos observar que dentro de los resultados a diferentes niveles de saturación, se

presenta una disminución de la velocidad máxima segura. Teniendo para un nivel uno comparándolo con un rocío una velocidad máxima segura de 60,79km/hr. Y para un nivel cuatro representado por una lluvia máxima se tiene una velocidad máxima segura de 51,04 km/hr

Con los todos los resultados obtenidos podemos verificar que la calidad del pavimento flexible es de media a buena. Pero se debe considerar que en condiciones desfavorables como son en caso de lluvia hay una mayor probabilidad de accidentes ya que los parámetros que son la macrotextura y la microtextura se verán afectados en una disminución de su rendimiento.

#### **4.2. RECOMENDACIONES.**

Es importante realizar un análisis de los estudios a realizar en la zona, para ejecutar y cumplir con los objetivos que fueron planteados.

Al ser trabajos y ensayos que se realizan en la ciudad y hay un alto tráfico vehicular, se debe seguir las normas de seguridad, el uso indispensable de chaleco reflectivo y conos como mínimo para evitar cualquier accidente.

Los ensayos que se realizan son de precisión, por tanto, se debe realizar siguiendo paso a paso la metodología indicada por el manual de carreteras, para así una vez en gabinete se pueda obtener resultados confiables.

Para brindar seguridad a los usuarios y evitar accidentes automovilísticos se debe considerar que hay situaciones más desfavorables en el uso del pavimento como lo es la lluvia y así el pavimento en presencia de agua, siendo así que habrá una disminución en los parámetros del pavimento, que deben ser considerados en él, momento de su diseño y también en una evaluación tras trascurso del tiempo.

Se debe considerar dentro de las evaluaciones las variaciones de la macrotextura y la microtextura en condiciones húmedas de funcionalidad.

En tiempos de lluvias las zonas que fueron detectadas con mayor probabilidad a posibles accidentes por su disminución de la fricción se recomiendan el colocado de señalización preventiva indicando velocidad máxima de circulación.

Se recomienda que en épocas de lluvia se realice la limpieza de la boca tormentas para que haya un buen drenaje.

## **BIBLIOGRAFIA PROPUESTA**

- Administradora Boliviana de Carreteras. (2011). Manual de Conservación Vial
- Almanza, D. A. (2014). Evaluación del modelo "Quarter Car" para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) del tramo Huancavelica - Santa Inés. Puno, Perú.
- Barraza, E. G. (2004). Resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles: propuesta de norma peruana. Lima, Perú.
- Corros M. Urbaz E. y Corredor G. (2009). Manual de evaluación de pavimentos. Caracas, Venezuela.
- Cruz, A. E. (2016). Evaluación superficial y estructural del Tramo El Gallinazo - Campo Ferial san Jacinto. Tarija, Bolivia.
- Del Águila, P. (1999). Metodología para la determinación de la rugosidad de los pavimentos. Lima, Perú.
- Huaccha, C. B. (2017). Evaluación del pavimento flexible de la av. Mario urteaga mediante el rugosímetro de merlín y el método PCI para determinar el estado de condición del pavimento. Cajamarca, Perú.
- Leguia, P. B. y Pacheco, H. F. (2016). Evaluación superficial del pavimento flexible por el método condición índice (PCI), en las vías arteriales: cincuentenario, colon y Miguel Grau/ (Huacho -Lima). Lima, Perú.
- López, K. (2019). Evaluación superficial y Estructural de la carretera a Sella, tramo cruce Barrio los Laureles- Monte Centro. Tarija, Bolivia.
- Sangay, C. M. O. (2019). Determinación del servicio mediante el índice de rugosidad internacional (IRI) medido con el equipo Merlín en el pavimento flexible de la avenida hoyos rubio en la ciudad de Cajamarca, Perú. Cajamarca, Perú.

