

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

El índice de fricción internacional (IFI) es una escala de referencia que integra la textura y la fricción lateral, con el fin de tener una idea sobre la capacidad de un pavimento para ofrecer una superficie segura en condiciones adversas. Mediante este índice se obtiene homogeneidad en las mediciones con diferentes equipos y en cualquier pavimento del mundo, de forma que las características pueden ser comparadas mediante una escala común de fricción.

Los métodos y sistemas usados a través del mundo para medición de textura y resistencia al deslizamiento varían significativamente; por esta razón el comité técnico de la asociación internacional permanente de congresos de carreteras (AIPCR) en caracterización superficial decidió emprender un experimento internacional para comparar y armonizar mediciones de textura y resistencia al deslizamiento, que dio como resultado lo que se conoce como el índice de fricción internacional (AIPCR, 1995).

La rugosidad de la superficie de los pavimentos juega un papel muy importante en el desempeño del agarre de los neumáticos de los vehículos al frenar, se ha encontrado que las características a nivel de textura y acabado de un pavimento influyen en gran medida en la distancia de frenado de los vehículos que transitan sobre ella.

La rugosidad superficial de los pavimentos es un factor predominante a la hora del frenado, ya que, de acuerdo al proceso de construcción de la carpeta asfáltica, los agregados, aglomerante, métodos de trabajo y las condiciones climáticas influyen de manera directa en el acabado de un pavimento, es decir la textura superficial.

En la actualidad se considera esta terminación de la capa de rodadura como fundamental al momento del frenado de los vehículos que circulan por la misma, aunque claramente en nuestro medio esto es irrelevante. El proceso de construcción de vías en general en nuestro medio, no contempla la textura superficial que debe tener la capa de rodadura para garantizar un buen agarre de los neumáticos de los vehículos al momento del frenado.

En este trabajo se presenta una investigación sobre la correlación del IFI (índice de fricción internacional) y la distancia de frenado de vehículos livianos, utilizando un diseño

experimental que involucra tres factores (textura superficial, índice de fricción internacional y la distancia de frenado). Se analizarán las propiedades superficiales (textura), se estimará el índice de fricción internacional y las distancias de frenado de vehículos livianos. Y la comparación con la textura y la distancia de frenado en las avenidas; Costanera del Sur (desde la Av. Heriberto Trigo hasta pasaje Gustavo Ruiz), Av. Víctor Paz Estensoro (carril del medio desde la calle España hasta la calle Padilla), Av. La Banda (desde el Puente Bicentenario hasta Universidad Domingo Savio), Av. Julio Delio Echazú (desde la Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz Zamora), Barrio Luis de Fuentes Av. Oscar Vargas Molina (desde calle s/n hasta Av. Los Sauces) y Av. Héroes del Chaco (desde calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).

## **1.2 Situación problemática**

El índice de fricción internacional (IFI), en un parámetro que determina el estado superficial de la calzada, dándole un calificativo de entre buen estado o mal estado, lo que implica una fuerte relación con la distancia de frenado a momento de ejecutar esta acción debido al contacto que ejerce la llanta del vehículo con la superficie de la calzada.

Para la determinación de la velocidad de circulación vehicular en un siniestro, en donde las marcas de las ruedas solo muestran una distancia de frenado y con la misma mediante cálculo se establece una velocidad de circulación la cual no está afectada por el estado superficial de la calzada, mostrando un resultado erróneo o con poca precisión.

La realidad del suceso es que el estado de la vía determinado a partir del índice de fricción internacional (IFI) afecta en la distancia de frenado de algún vehículo durante el suceso, pero que en el cálculo para establecer la velocidad de circulación del vehículo no asume este factor. Por ello se pretende hacer una relación entre el índice de fricción internacional (IFI) con la distancia de frenado (Df), para establecer una metodología de elaboración de curvas que puedan facilitar la estimación de la velocidad de circulación vehicular a momento de algún siniestro (accidente de tráfico), en el que este contemplado el estado de la vía representado con el IFI.

### **1.2.1 Problema**

¿De qué manera el IFI y la distancia de frenado pueden establecer una correlación con un nivel de confiabilidad?

### **1.2.2 Relevancia**

Se pretende establecer una metodología que facilite la estimación de la velocidad de circulación de un vehículo antes del siniestro partiendo de la distancia de frenado producido por el vehículo a momento del siniestro.

Para la elaboración de este proyecto se hace empleo de las técnicas y metodologías aprendidas en los laboratorios de suelos, topografía, carreteras.

Con la elaboración de este proyecto que quiere dejar precedentes y establecer una metodología para la elaboración de curvas de correlación entre el IFI y la distancia de frenado, así de esta manera facilitar y mejorar el resultado de la estimación de la velocidad a momento de un siniestro de tráfico.

### **1.2.3 Factibilidad del problema**

El trabajo de investigación que se va a realizar presenta varios inconvenientes a momento del levantamiento de datos en las vías, pero, esto no inviabiliza la ejecución del mismo, ya que se buscara la autorización por parte de la Unidad de Transito. Siendo este el punto más complicado al momento del levantamiento de datos en las distintas vías que involucrarán este proyecto de investigación.

En campo (las vías involucradas) se establecerá los puntos de toma de muestras, de acuerdo a progresivas establecidas de forma conveniente, en los mismos se realizará el muestreo de acuerdo a lo requerido, siendo para dos variables fundamentales, para el IFI y la distancia de frenado respectivamente.

### **1.2.4 Delimitación temporal y espacial del problema**

El fenómeno que se está investigando en este proyecto, se encuentra en el tiempo presente, y se desarrolla en todos sus ámbitos en la gestión 2019. Aplicado a las avenidas y calles; Costanera del Sur (desde la Av. Heriberto Trigo hasta pasaje Gustavo Ruiz), Av. Víctor Paz Estensoro (carril del medio desde la calle España hasta la calle Padilla), Av. La Banda (desde el Puente Bicentenario hasta Universidad Domingo Savio), Av. Julio Delio Echazú (desde la

Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz Zamora), Barrio Luis de Fuentes Av. Oscar Vargas Molina (desde calle s/n hasta Av. Los Sauces) y Av. Héroes del Chaco (desde calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).

### **1.3 Justificación**

En los casos lamentables de accidentes de tráfico vehicular, es difícil de realizar un análisis de la reconstrucción de los hechos por parte de los peritos responsables, debido a que se carece de una manera practica en que ellos puedan determinar la velocidad de circulación del vehículo y cómo evolucionó el acontecimiento del siniestro.

En base a la capacitación de los cursos de laboratorios, suelos, topografía, carreteras, de la estructura curricular de la carrera (Ingeniería Civil), podemos establecer una manera de encarar la ejecución de este proyecto de investigación.

Se pretende colaborar, para que conjuntamente con otros elementos que se puedan relacionar con este trabajo a investigar, el perito en criminalística arribe a conclusiones más exactas al momento de considerar la velocidad de circulación en base a la longitud de la huella de frenado, cuyos datos deberán ser ponderados además del tipo de superficie sobre la cual rueda un vehículo, siendo en este caso pavimento flexible con una plataforma seca y húmeda, a excesos de velocidades que sobrepasan el límite permitido, con neumáticos en buen estado, a partir de estos factores realizar una tabla que facilitará la determinación de accidentabilidad de un siniestro vial.

El presente estudio pretende establecer la confiabilidad de correlacionar el índice de fricción internacional (textura superficial) con las distancias de frenado del vehículo, a partir de variaciones de la velocidad, inclinación de la vía y humedad en la capa de rodadura. Para proporcionar gráficas (IFI vs distancia de frenado) con las que podamos verificar la velocidad de circulación del vehículo.

### **1.4 Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Correlacionar el IFI y la distancia de frenado, considerando pavimentos flexibles, de tal forma que se pueda establecer una metodología de aplicación para la elaboración de curvas que facilite y mejore el cálculo de la velocidad en un siniestro vial.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Determinar las características físicas de las vías intervenidas en este proyecto.

Realizar los ensayos de fricción con método del péndulo inglés en todas las vías que forman parte de este proyecto, de acuerdo a la norma.

Determinar la distancia de frenado de un vehículo liviano con neumáticos en buenas condiciones (semi-nuevo).

Determinar la distancia de frenado de un vehículo liviano generada sobre una superficie seca y húmeda, a diferentes velocidades.

Verificar según el rango de rugosidades en qué estado se encuentran los pavimentos flexibles de las vías en estudio.

Analizar los resultados obtenidos a partir de las mediciones a realizar de los diferentes ensayos de laboratorio.

### 1.5 Hipótesis

La correlación del IFI y la distancia de frenado son de nivel confiable.

### 1.6 Operacionalización de las variables

#### 1.6.1 Variable independiente

**Tabla 1. Variable independiente.**

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valorización</b>
<b>Distancia de frenado</b>	La distancia de que recorre un vehículo desde que presiona el freno hasta que se detiene totalmente.	Es el recorrido del vehículo durante el proceso de frenado.	Es cuantificable en unidades de longitud.	Es variable de acuerdo a la velocidad de circulación, mientras más velocidad mayor distancia.

**Fuente: Elaboración propia.**

### 1.6.2 Variable dependiente

**Tabla 2. Variable dependiente.**

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valorización
<b>IFI (Péndulo inglés, mancha de arena).</b>	El IFI es un indicador del estado de la calidad del estado de la vía.	Coficiente adimensional comprendido entre 0 – 1.	Diámetro del círculo de arena y la fricción medida a través del péndulo inglés	Calificación que tiene la vía de acuerdo a sus condiciones que puede estar en intransitable a en muy buen estado.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.6.3 Variable interviniente

**Tabla 3. Variable interviniente**

Variable Interviniente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valorización
<b>Neumático</b>	Se define como la que está dentro del periodo de vida útil establecido por los parámetros del fabricante.	No corresponde	Escala de tiempo/condición de la grilla	De acuerdo al estado del neumático y a las condiciones climáticas a la que es sometida considerando el tipo de terreno en la que trabaja.
<b>Plataforma seca y húmeda</b>	Libre de humedad y con agua añadida.	No corresponde	Estado estructural y superficial de la plataforma	El estado de la plataforma depende desde el inicio de la vida útil de la misma y la cantidad de vehículos que transitan sobre ella, agentes atmosféricos y periodos de mantenimiento.
<b>Distintas velocidades</b>	Comprendidas entre los rango de 40 km/hr a 70 km/hr. Debido a que el límite de velocidad en Bolivia en 80 km/hr y la velocidad media de circulación es 40 km/hr.	No corresponde	Distancia recorrida en un periodo de tiempo.	La velocidad de circulación está restringida por las normas de circulación de la ciudad. Adicionalmente un porcentaje de esta velocidad a la imprudencia de los conductores.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.7 Identificación del tipo de investigación

El presente trabajo es del tipo investigativo. Correlación – experimental.

## **1.8 Diseño metodológico**

### **1.8.1 Unidad de estudio**

La unidad de estudio del presente trabajo de investigación son las calles y avenidas de la ciudad de Tarija.

### **1.8.2 Población**

Al ser la ciudad bastante grande, se asume una calle/avenida de acuerdo a la zona de la ciudad de manera aleatoria. Quedando con la siguiente lista:

1. Costanera del Sur (desde la Av. Heriberto Trigo hasta pasaje Gustavo Ruiz)
2. Av. Víctor Paz Estensoro (carril del medio desde la calle España hasta la calle Padilla)
3. Av. La Banda (desde el Puente Bicentenario hasta Universidad Domingo Savio)
4. Av. Julio Delio Echazú (desde la Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz Zamora), Barrio Luis de Fuentes
5. Av. Oscar Vargas Molina (desde calle s/n hasta Av. Los Sauces)
6. Av. Héros del Chaco (desde calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).

### **1.8.3 Muestra**

En este caso la muestra es igual a la población considerada, así pues, tenemos que las 6 calles/avenidas antes mencionadas serán consideradas y estudiadas de esta manera.

### **1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo**

Muestreo simple al azar (MSA).

Es un método de selección donde cada una de las muestras tiene la misma oportunidad de ser seleccionada.

## **1.9 Alcance de la investigación**

En este proyecto lo que se busca es obtener una correlación del índice de fricción internacional con la distancia de frenado y su grado de confiabilidad, aplicando un procesamiento de datos obtenidos en campo y con los ensayos de laboratorio.

Para determinar la distancia de frenado se usará las siguientes variables y sus respectivas consideraciones.

Los puntos de estudio serán 6 avenidas con diferentes estados de su capa de rodadura del pavimento flexible: pavimento seminuevo y pavimento desgastado. Costanera del Sur (desde la Av. Heriberto Trigo hasta pasaje Gustavo Ruiz), Av. Víctor Paz Estensoro (carril del medio desde la calle España hasta la calle Padilla), Av. La Banda (desde el Puente Bicentenario hasta Universidad Domingo Savio), Av. Julio Delio Echazú (desde la Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz Zamora), Barrio Luis de Fuentes Av. Oscar Vargas Molina (desde calle s/n hasta Av. Los Sauces) y Av. Héroes del Chaco (desde calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).

Se requiere de un vehículo liviano, con presión de inflado de neumático de 35 psi.

De la misma manera se realizarán las prácticas con 1 tipos de neumático: neumático seminuevo. Las velocidades serán excedidas al doble del límite máximo permitido según la calle donde se trabaje, que va de 40, 50, 60 y 70 km/hrr. y en todos los pavimentos flexibles se trabajará con plataforma seca y plataforma húmeda. Para la determinación de la textura superficial del pavimento flexible usaremos dos tipos de evaluaciones: microtextura y macrotextura.

Clasificación de la textura según Heq.

Para la determinación del índice de fricción internacional (IFI) empezaremos midiendo la microtextura y macrotextura con el péndulo inglés 5 lecturas y la mancha de arena 5 mediciones donde inicia la avenida, después a la mitad del largo total de la avenida 5 lecturas del péndulo inglés y 5 mediciones de la mancha de arena, a partir de aquí las mediciones y lecturas cada 50 m. teniendo así 10 puntos de estudio, en cada avenida intervenida para la elaboración de este proyecto.

Para la determinación de la distancia de frenado se medirá a la mitad de la longitud total de la avenida con plataforma seca, a velocidades de 40, 50, 60 y 70 km/hrr. con neumáticos semi-nuevos, con presión de inflado de neumáticos recomendada, después las mismas mediciones y mismas variables cada 50 metros, hasta alcanzar un mínimo de 6 mediciones en cada avenida intervenida para este proyecto.

Después se realizará el mismo procedimiento y variables, pero con plataforma húmeda.

Con la ayuda de la estadística y el programa computacional Statgraphics se generan graficas de correlación, como así también de sus respectivas ecuaciones.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Características superficiales e influencia en la interacción**

Las características superficiales de los pavimentos son las relacionadas con las capas de rodamiento que influyen en la funcionalidad de las avenidas. Estas características interesan al usuario de la infraestructura avenida, ya que de ellas depende su seguridad, la comodidad de su circulación, sus tiempos de recorrido y los costos de operación.

Las características de los pavimentos se pueden clasificar por las dimensiones de las irregularidades superficiales, dependiendo de su tamaño (longitud de onda y amplitud de la irregularidad) y si las características son atributos globales o localizados.

La determinación de que un atributo sea global o local es importante, en términos de su medida. Los atributos globales, por pequeños que sean, normalmente se pueden medir confiablemente, usando procedimientos estadísticos aplicados sobre el área global. Los atributos locales se miden fácilmente, si se extienden sobre un área relativamente grande. Los pequeños atributos localizados son los más difíciles de medir.

Algunas de las características superficiales que se consideran importantes en la evaluación de las auscultaciones de pavimentos son:

- La textura.

- La fricción.

- La regularidad superficial y el perfil longitudinal.

- El perfil transversal, incluyendo el peralte y las roderas.

- El trazado de la avenida (geometría), incluyendo la pendiente y el radio de curvatura.

- Las fisuras.

Así como las propiedades reflexivas y de color, el drenaje superficial y la permeabilidad, el ruido de contacto neumático-pavimento, etc. Estas características influyen sobre los diversos aspectos relacionados con la funcionalidad de las avenidas. Los factores más notables son:

- La seguridad.

- El confort.

- Los costos de operación.

- La dinámica de los vehículos.

A continuación, se aportará una explicación de las características de los más importantes parámetros, relacionados con esta investigación.

### 2.1.1 Textura

La Textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios; necesario para la conservación de las avenidas. La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interface neumático-pavimento, evitando el fenómeno de hidroplaneo y, de forma indirecta, en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, de gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento.

Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina y en el deterioro de los vehículos.

Ahora bien, para su medición, la textura es la geometría más fina del perfil longitudinal de la avenida, que se define como la desviación de la superficie del pavimento, respecto a una superficie plana menor o igual que 0,5 m. Estudios realizados han demostrado que, para interpretar mejor los fenómenos que suceden en el contacto neumático-pavimento, asociados a situaciones de riesgo durante las operaciones de frenado en pavimento mojado, es conveniente subdividir la textura en tres clases: megatextura, macrotextura y microtextura. En el XVIII congreso mundial de carreteras (Bruselas 1987) el comité técnico de características superficiales de la P.I.A.R.C, propuso una clasificación de las características geométricas y superficiales basadas en longitudes de onda y en amplitudes de las irregularidades.

**Tabla 4. Irregularidades de un pavimento (flexible o rígido).**

Nombre		Rango de dimensiones (aprox.)	
		Horizontal.	Vertical.
Microtextura (fricción).		0 – 0,5 mm.	0 – 0,2 mm.
Macrotextura.		0,5 – 50 mm.	0,2 – 10 mm.
Megatextura.		50 – 500 mm.	1 – 50 mm.
Regularidad superficial	Onda corta.	0,5 – 5 m.	1 – 20 mm.
	Onda media.	5 – 15 m.	5 – 50 mm.
	Onda larga.	15 – 50 m.	10 – 200 mm.

Fuente: (Zárate Aquino, 1996).

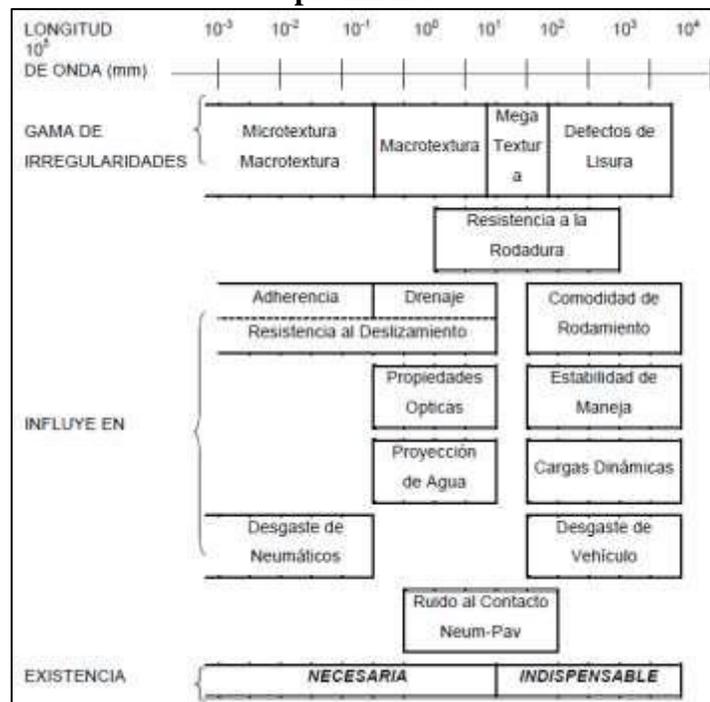
Hay que tener en cuenta que las características superficiales de los pavimentos que más interesan están ligadas a las dimensiones de estas irregularidades. La interacción vehículo-pavimento da lugar a que estas irregularidades superficiales influyan en mayor o menor grado, dependiendo de su longitud de onda.

En el anterior cuadro se presenta la gama de irregularidades de los pavimentos flexibles y rígidos que afectan al usuario; sin embargo, algunas de ellas son necesarias para la seguridad de los vehículos.

### 2.1.1.1 Microtextura

La microtextura comprende la longitud de onda más pequeña y está en función de la textura superficial de los agregados y el mortero asfáltico o del concreto hidráulico empleado en la construcción de la carpeta o losa (siguiente figura). Es importante para la adherencia entre el neumático y el pavimento y, por tanto, para la resistencia al derrapamiento, por lo que la microtextura influye en el riesgo de accidentes, independientemente de la velocidad de operación. En todo caso, las irregularidades de este tipo están presentes y en ciertas condiciones es necesaria su existencia.

**Figura 1. Influencia de irregularidades superficiales en interacción vehículo-pavimento.**



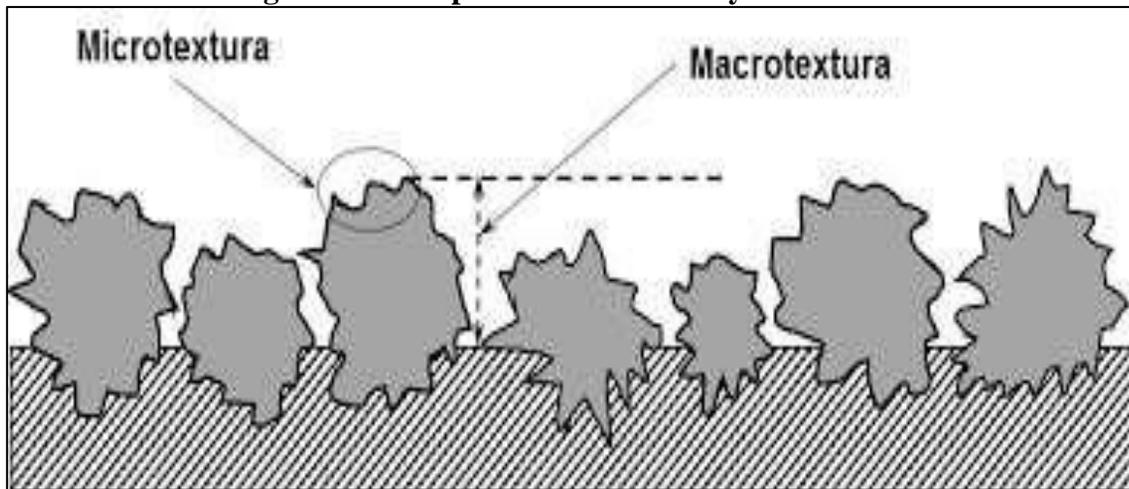
Fuente: (Zárate Aquino, 1996).

Así, por ejemplo, un árido determinado, ubicado en la superficie de rodamiento, que tenga un alto grado de pulimento producirá valores bajos de microtextura, ya que, ésta se considera particularmente importante en la valoración de la resistencia al deslizamiento (fricción) de la superficie. Una forma indirecta de medir la microtextura consiste en determinar el coeficiente de fricción o rozamiento.

### 2.1.1.2 Macrotextura

La macrotextura incluye longitudes de onda mayores, desde el tamaño del árido, hasta la huella del neumático, define el relieve de la capa de rodamiento y depende de la composición de la mezcla, del riego o lechada asfáltica o del tratamiento de superficie dado a la capa de concreto (estriado, engrillado, etc.). Degradaciones tales como la pérdida de gravilla, las grietas y la existencia de juntas, sólo contribuyen en casos poco frecuentes o si hay escalonamiento notable. En la siguiente figura se puede observar gráficamente la diferencia entre la microtextura y la macrotextura de un pavimento.

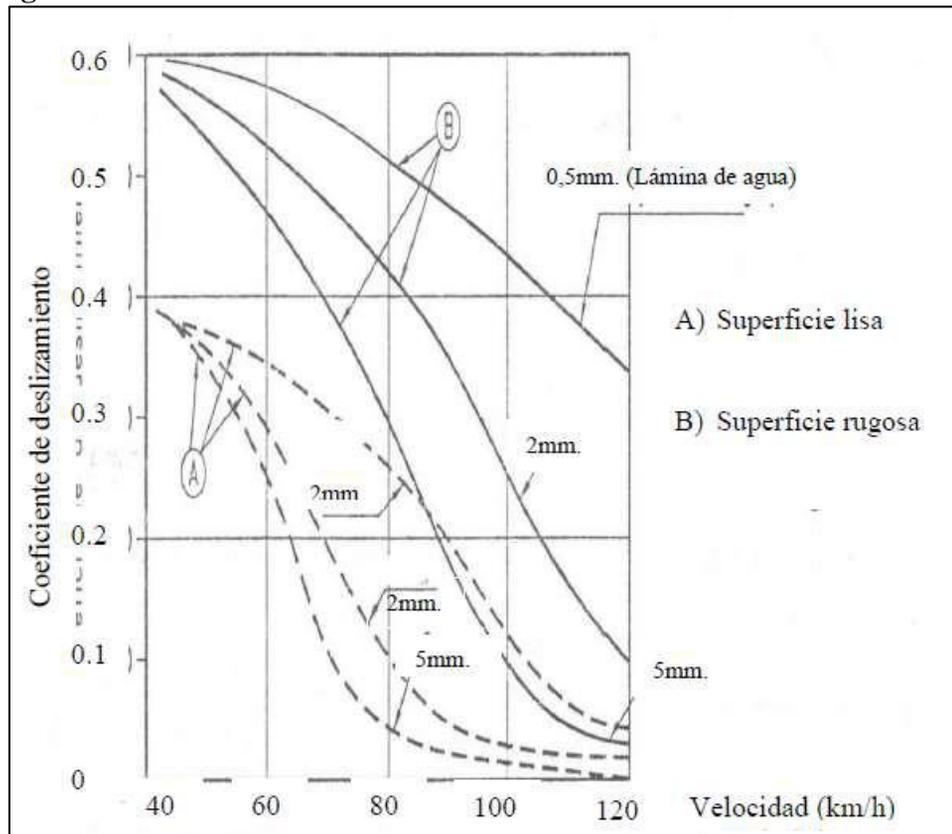
**Figura 2. Concepto de microtextura y macrotextura.**



**Fuente: (Behrouz, Hamzeh, Mohsen, & Fereidoon Moghadas, 2016).**

La macrotextura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento, a velocidad media y elevada (más de 60 km/hrr.) con pavimento mojado. Además del rozamiento por deformación relacionado con la histéresis elástica del caucho, la rugosidad permite restablecer el contacto con adherencia a alta velocidad. De este modo y mientras que en zonas urbanas (velocidades moderadas) es adecuada una macrotextura moderada y una microtextura áspera, en avenidas interurbanas será conveniente que exista una macrotextura rugosa.

**Figura 3. Efecto de la macrotextura sobre el coeficiente de deslizamiento.**



**Fuente: (Zárate Aquino, 1996).**

La Macrotextura tiene una pequeña influencia en el consumo de combustible, al aumentar la resistencia al rodamiento; pero puede estar compensada por una ligera disminución de la velocidad de circulación. Mejora la visibilidad y las propiedades ópticas del pavimento, al reducir las proyecciones del agua y producir una reflexión difusa. Un drenaje más eficaz permite también una mejor visibilidad de las marcas viales y una evacuación inmediata del agua superficial que redundará en una mejora en la seguridad de operación, al evitarse el hidropneumático.

El hidropneumático se puede resaltar como una de las características de las avenidas que pueden afectar al usuario. El hidropneumático (o aquaplaning) ocurre cuando una película de agua separa la rueda de la superficie de la avenida. Este fenómeno está asociado fundamentalmente, con la velocidad y peso del vehículo, las características de los neumáticos y la textura y el espesor del agua en el pavimento.

Puesto que el hidropneumático solamente puede ocurrir cuando hay agua en el pavimento, el riesgo de hidropneumático de cada tramo de avenida se determina considerando la topografía del

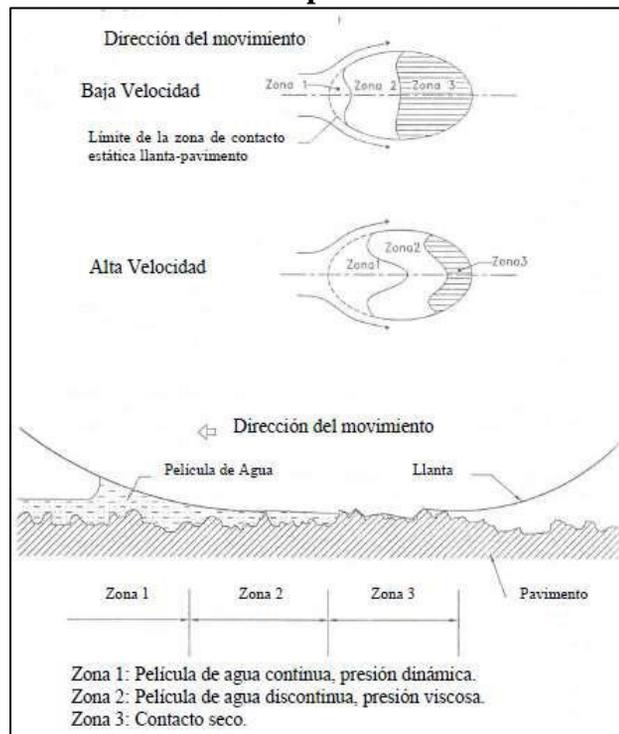
pavimento, su geometría superficial, su textura y su peralte, que determina la película de agua.

Hay dos tipos de macrotextura:

La positiva, que es típicamente la que se obtiene a través de los tratamientos superficiales, como el riego de sello.

La negativa, que se refiere a las mezclas porosas o que tienen la capacidad de drenar el agua que escurre longitudinal y transversalmente hacia el arcén (drenaje por esorrentía). Ambas ofrecen, en diferente grado, las ventajas mencionadas. En cambio, son muy diferentes en lo referente al ruido. Mientras que con macrotextura positiva aumenta el ruido en todas las frecuencias, las mezclas porosas (macrotextura negativas) llegan a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no sólo en el contacto neumático pavimento, sino también, el producido por el motor, por absorción acústica.

**Figura 4. Zonas de contacto neumático-pavimento en condiciones de piso mojado.**



**Fuente: (Zarate Aquino, 1996).**

### 2.1.1.3 Megatextura

La megatextura está constituida por irregularidades de tipo intermedio, relacionadas con la textura final y recientemente con la regularidad superficial, así como también, con diversos

tipos de fallas o degradaciones y sus reparaciones. Los pavimentos de adoquín pueden dar lugar a este tipo de textura.

Esta gama de irregularidades aumenta, en particular, la resistencia al rodamiento y el nivel de ruido con frecuencias bajas. La conducción es más incómoda, con vibraciones y dificultades para mantener la estabilidad de marcha. Contribuye además al desgaste de los vehículos, incluidos los neumáticos, reduciendo la seguridad de los usuarios en la operación. Al contrario de lo que sucede con la microtextura y la macrotextura, las amplitudes de onda que definen la mega textura no son deseables en ningún caso.

#### **2.1.1.4 Regularidad superficial**

Los defectos de irregularidad superficial o rugosidad se reflejan en ondas de diferente longitud, debidas a la puesta en obra (extensión, compactación, guiado, etc.), a deformaciones en el pavimento bajo tráfico o a deformaciones en el terreno de cimentación. Estas irregularidades afectan la comodidad del usuario, por las vibraciones que se producen, el desgaste de los vehículos, la mercancía transportada, así como el aumento del consumo de combustible y la estabilidad de los vehículos, reduciendo la seguridad de los usuarios, en la operación del transporte. También es importante considerar las irregularidades por deformaciones plásticas longitudinales, que afecta la maniobrabilidad y la seguridad en las avenidas, conocidas con el nombre de roderas, medidas por la profundidad máxima en un perfil transversal respecto a la línea horizontal teórica. Valores superiores a 10 - 15 mm. indican roderas significativas.

#### **2.1.2 Fricción o resistencia al deslizamiento**

Esta característica del pavimento también es un valor crítico en la seguridad, cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental en avenidas de alta velocidad y/o elevada intensidad de tráfico (avenidas de altas especificaciones). La fricción se determina de forma indirecta, midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma "estandarizada".

El coeficiente de rozamiento (o fricción) es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la avenida, mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o

de la meteorología (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc.). La demanda de rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la avenida. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

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

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

### **2.1.3 Medidas de la adherencia neumático-pavimento**

La adherencia neumático-pavimento es un factor fundamental que interviene en la seguridad de la circulación sobre los pavimentos flexibles o rígidos, ya que permite reducir la distancia de frenado y mantener, en todo momento, la trayectoria del vehículo aún en superficies de rodamiento mojado, que es cuando más se agrava.

La adherencia neumático-pavimento puede definirse como "la capacidad de unión o contacto íntimo entre dichos elementos, de forma que de origen a una circulación segura".

Las capas de rodamiento de los pavimentos carreteros tanto flexibles como rígidos y esencialmente sus agregados, deben reunir las características adecuadas para cumplir las siguientes funciones básicas, desde el punto de vista de la seguridad:

- Bombeo geométrico adecuado.

- Romper la película de agua procedente de la lluvia, para asegurar el contacto entre el neumático y el pavimento (microtextura).

- Facilitar y contribuir al drenaje del agua existente bajo el neumático (macrotextura).

- Mantener sus características a través del tiempo.

Bajo la acción del tráfico, principalmente intenso, las características iniciales de los agregados disminuyen con el transcurso del tiempo. Así, por ejemplo, se va produciendo el pulimento del material, modificando sensiblemente la microtextura.

También la macrotextura disminuye paulatinamente, dificultando la evacuación de la película de agua procedente de la lluvia; hasta que, por debajo de un determinado umbral, el

drenaje está limitado casi exclusivamente a los canales (tipo de dibujo) del neumático, por lo que, si la velocidad de circulación se eleva, la capacidad de drenaje del agua es insuficiente, elevando sensiblemente el riesgo de que la rueda patine o se deslice, al producirse la pérdida de contacto.

Para evaluar la capacidad de resistencia al deslizamiento, se puede proceder de dos formas distintas:

Midiendo directamente el coeficiente de fricción o rozamiento entre el neumático y el pavimento mojado.

Analizando la macrotextura o la capacidad de drenaje superficial del pavimento (para estimar la reducción de la adherencia que se produce al aumentar la velocidad).

Los equipos desarrollados para medir la adherencia pueden clasificarse atendiendo a diferentes razones:

De acuerdo con el modo de desplazamiento, cabe diferenciar los equipos manuales, remolcados o incorporados a un vehículo.

Según su velocidad de desplazamiento, pueden ser estacionarios, lentos o rápidos.

Atendiendo a su función y método de medida, se pueden distinguir, entre los equipos de medida de la textura y de la resistencia al deslizamiento.

Cabe mencionar, que existe una marcada diferencia en la resistencia al deslizamiento (derrapamiento) en todos los tipos de pavimentos para avenidas. Para el caso de un pavimento seco en buen estado, el coeficiente de resistencia al derrapamiento no experimenta una pérdida sensible con el incremento de la velocidad. De la misma manera no existen diferencias apreciables para el caso de utilizar neumáticos nuevos o desgastados en superficies secas. Si el pavimento está mojado, esta situación cambia totalmente, apreciándose una fuerte disminución en la resistencia al derrapamiento con la velocidad.

Esta pérdida de resistencia al derrapamiento, aun mayor cuanto más gruesa es la película de agua, hace que la conducción sea más peligrosa por la falta de adherencia al pavimento, y, por consiguiente, en la necesidad de tener mayor distancia de frenado, por lo que se requiere mayor atención a los tramos carreteros o autopistas que tengan precipitaciones frecuentes y velocidades de operación altas, así como con fuertes volúmenes de tránsito vehicular.

Está comprobado que las necesidades de adherencia y de capacidad de evacuación del agua en los "huecos" del neumático y del pavimento se pueden asegurar razonablemente con

pavimentos que tengan determinados valores de microtextura y de macrotextura. Es decir, la Microtextura influye en la fricción y la Macrotextura en la capacidad de evacuar agua rápidamente, lo cual influye en el riesgo de accidentes por derrapamiento a cualquier velocidad, así como en el desgaste de los neumáticos de los vehículos que circulan por la superficie de rodamiento y, por ende, su influencia en los costos de operación.

Por otra parte, al aumentar la velocidad, disminuye la fricción. Esta disminución es tanto menor cuanto mejor es la capacidad de evacuación del agua que proporciona la macrotextura.

#### **2.1.4 Definición del modelo del índice de fricción internacional**

“El IFI se describe como una escala de referencia, de aplicación internacional, de la fricción y de la textura del pavimento”.

El índice de fricción internacional permite comparar, con las mismas características de adherencia y textura, pavimentos que han sido evaluados en cualquier parte del mundo y con cualquier equipo de medida.

Los resultados de este estudio han dado la posibilidad de:

- Establecer correlaciones que permiten referir los resultados de los diferentes equipos a una escala común (IFI).

- Promover el cambio de experiencias de investigación en avenidas en distintos países.

- Poder calcular el grado de fricción que se tendrá a la velocidad deseada.

En el estudio realizado por la AIPCR se ha llegado a la deducción que, para poder relacionar y armonizar las medidas de fricción hechas con los distintos métodos, se necesitan incluir los efectos de la textura de un pavimento. Esto es importante ya que en ningún estudio anterior se había hecho esto.

El IFI viene indicado entre paréntesis por dos números separados por una coma, cuyos parámetros son: (F60 y Sp).

F60 = Valor estimado de la fricción a 60 Km/hrr.

Sp = Constante de velocidad. Se predice con las medidas de macrotextura.

La fricción (F60) consiste en un número adimensional en que el valor uno significa que existe una adherencia total en el pavimento, y, por el contrario, el valor cero indica deslizamiento total. La constante de velocidad (Sp) es un número con unidades de velocidad que se representa por un número positivo sin límites determinados. (AIPCR, 1995).

### **2.1.5 Media aritmética**

En matemáticas y estadística, la media aritmética, también llamada promedio o media, de un conjunto infinito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

### **2.1.6 Mediana**

En el ámbito de la estadística, la mediana representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados. Se le denota Me.

### **2.1.7 Moda**

En estadística, la moda es el valor con mayor frecuencia en una de las distribuciones de datos. Esto va en forma de una columna cuando encontremos dos modas, es decir, dos datos que tengan la misma frecuencia absoluta máxima. Una distribución trimodal de los datos es en la que encontramos tres modas. En el caso de la distribución uniforme discreta, cuando todos los datos tienen la misma frecuencia, se puede definir las modas como indicado, pero estos valores no tienen utilidad. Por eso algunos matemáticos califican esta distribución como «sin moda».

El intervalo modal es el de mayor frecuencia absoluta. Cuando tratamos con datos agrupados antes de definir la moda, se ha de definir el intervalo modal.

### **2.1.8 Rango**

El Rango es el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo; por ello, comparte unidades con los datos. Permite obtener una idea de la dispersión de los datos, cuanto mayor es el rango, más dispersos están los datos (sin considerar la afectación de los valores extremos). El rango, también es llamado amplitud o recorrido.

### **2.1.9 Desviación media**

En estadística la desviación absoluta promedio o, sencillamente desviación media o promedio de un conjunto de datos es la media de las desviaciones absolutas y es un resumen de la dispersión estadística.

### **2.1.10 Varianza**

En teoría de probabilidad, la varianza o variancia (que suele representarse como  $\sigma^2$ ) de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

Su unidad de medida corresponde al cuadrado de la unidad de medida de la variable: por ejemplo, si la variable mide una distancia en metros, la varianza se expresa en metros al cuadrado. La varianza tiene como valor mínimo 0. La desviación estándar (raíz cuadrada positiva de la varianza) es una medida de dispersión alternativa, expresada en las mismas unidades que los datos de la variable objeto de estudio.

Hay que tener en cuenta que la varianza puede verse muy influida por los valores atípicos y no se aconseja su uso cuando las distribuciones de las variables aleatorias tienen colas pesadas. En tales casos se recomienda el uso de otras medidas de dispersión más robustas.

El término varianza fue acuñado por Ronald Fisher en un artículo publicado en enero de 1919 con el título “The Correlation Between Relatives on the Supposition of Mendelian Inheritance”

### **2.1.11 Desviación estándar**

En estadística, la desviación típica (también conocida como desviación estándar y representada de forma abreviada por la letra griega minúscula sigma  $\sigma$  o la letra latina s, así como por las siglas SD -de standard deviation- en algunos textos traducidos del inglés) es una medida que se usa para cuantificar la variación o dispersión de un conjunto de datos numéricos.

Una desviación estándar baja indica que la mayor parte de los datos de una muestra tienden a estar agrupados cerca de su media aritmética (también denominada el valor esperado), mientras que una desviación estándar alta indica que los datos se extienden sobre un rango de valores más amplio.

### **2.1.12 Coeficiente de variación**

En estadística, cuando se desea hacer referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, se utiliza el coeficiente de variación (suele representarse por las siglas "C.V.").

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una interpretación relativa del grado de variabilidad, independiente de la escala de la variable, a diferencia de la desviación típica o estándar. Por otro lado presenta problemas ya que a diferencia de la desviación típica este coeficiente es fuertemente sensible ante cambios de origen en la variable. Por ello es importante que todos los valores sean positivos. A mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable. Por ejemplo, si el C.V es menor o igual al 80%, significa que la media aritmética es representativa del conjunto de datos, por ende, el conjunto de datos es "homogéneo". Por el contrario, si el C.V supera al 80%, el promedio no será representativo del conjunto de datos (por lo que resultará "heterogéneo").

## **2.2 Distancia de frenado**

### **2.2.1 Definición**

La distancia de detención o de parada técnica es la distancia que recorre un vehículo desde que el conductor percibe un obstáculo hasta que el vehículo queda completamente detenido. Así mismo el tiempo de detención es tiempo que tarda el conductor en detener completamente el vehículo desde que aparece un estímulo o peligro. O sea, que la distancia de detención es la que recorre el vehículo durante este tiempo.

El tiempo de parada técnica es la suma del tiempo de reacción más el tiempo de frenado:

El tiempo de reacción es desde que aparece el peligro hasta que el conductor reacciona (pisa el pedal del freno).

El tiempo de frenado es el tiempo que desde que se pisa el pedal del freno hasta que el vehículo se detiene por completo.

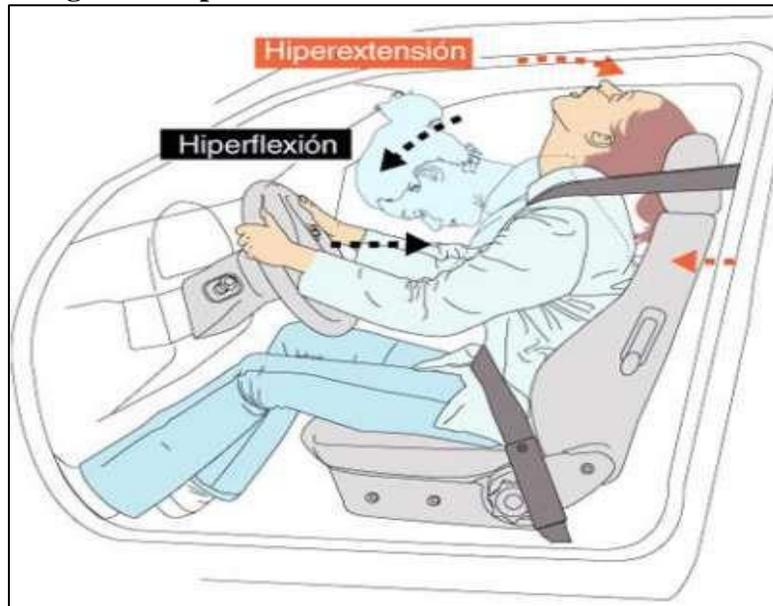
El tiempo de frenado varía con la velocidad, la carga del vehículo, la eficacia de los frenos, el estado de los neumáticos, la aerodinámica, la suspensión, el estado de la calzada y, en general, el estado del vehículo y del conductor. El tiempo de reacción varía por los factores

del estado psico-físico del conductor, tales como fatiga, sueño, concentración, tasa de alcohol, drogas, enfermedades y medicamentos.

Para mejorar el tiempo de reacción se han probado algunos sistemas. Se desarrolló un prototipo de mono pedal que combinaba el acelerador y el freno en un mismo pedal. Esto reducía el tiempo de reacción a la mitad, porque evitaba pasar el pie del acelerador al freno. Algunos vehículos llevan un sistema de radar, que en caso de encontrar un obstáculo con el que se vaya a impactar de forma inminente, frena el vehículo sin intervención del conductor. El primer efecto de la velocidad sobre la conducción es el aumento de la distancia de detención. Cuanto más rápidamente circule, más tiempo tardará y más espacio recorrerá antes de que el vehículo se detenga por completo o antes de que disminuya la velocidad lo suficiente como para evitar el accidente.

Un cuerpo en movimiento acumula una energía proporcional al cuadrado de su velocidad. En un choque esa energía provoca deformaciones del vehículo y graves lesiones en sus ocupantes.

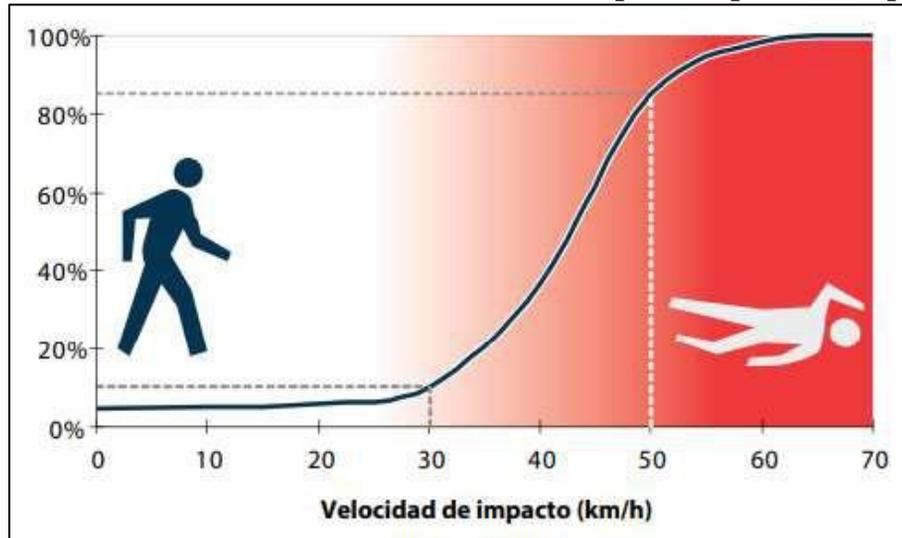
**Figura 5. Tipos de lesiones en víctimas de accidentes.**



**Fuente: Secretaría de salud, Estados Unidos Mexicanos.**

Los daños que se producen en los accidentes están ligados a las velocidades a las que circulaban los vehículos siniestrados, debido a la energía cinética acumulada en el vehículo en movimiento.

**Figura 6. Probabilidad de sufrir una lesión mortal para un peatón atropellado.**



**Fuente: Secretaria de salud, Estados Unidos Mexicanos.**

Es más fácil comprender las consecuencias que tiene un choque si se equipara con una caída desde un edificio. A continuación, se ilustra lo anterior dicho, con diferentes velocidades comparándolos con la caída a distintos metros.

**Figura 7. Comparación de choques a diferentes velocidades con caídas de altura.**



**Fuente: Secretaria de salud, Estados Unidos Mexicanos.**

En primer lugar, uno de los efectos negativos más destacados que tiene la velocidad sobre ti es que afecta a tu proceso de percepción visual.

A medida que aumentas la velocidad, disminuye la amplitud de tu campo visual útil. Este es el llamado efecto túnel, que te impide apreciar cualquier peligro en los laterales de la avenida, lo que es especialmente peligroso en las intersecciones. Se podría decir que las imágenes

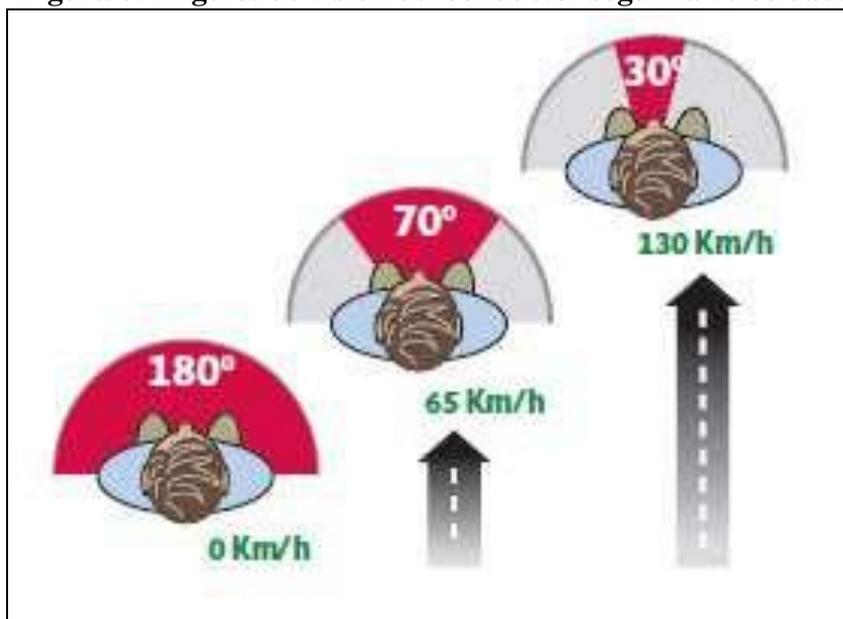
laterales pasan a tal velocidad que el ojo es incapaz de captarlas y sólo ve con nitidez el centro de la imagen.

De este modo, cuanto mayor sea la velocidad, menor será la capacidad para poder ver y analizar lo que ocurre al alrededor (señales, peatones, otros vehículos, etc.) y, por tanto, para poder reaccionar a tiempo y con seguridad. Por ejemplo, a 80 km/hr ya se produce una pérdida del 35% en la eficacia visual.

Por ello, el exceso de velocidad dificulta nuevamente la capacidad de anticipación. Si lleva una velocidad adecuada podrá detectar a tiempo, por ejemplo, las intenciones de los otros usuarios y tener tiempo para reaccionar y evitar el accidente. En cambio, con exceso de velocidad puede que no sea capaz de captar la situación de emergencia hasta que ya sea demasiado tarde.

Finalmente, conducir durante mucho tiempo a una velocidad elevada acelera la aparición de la fatiga, además de que aumenta las probabilidades de sufrir una distracción y de que te comportes con agresividad, lo que también afecta seriamente a tu seguridad en la circulación. Cuanto más rápido se mueve un vehículo, más estrecho es el campo visual de su conductor.

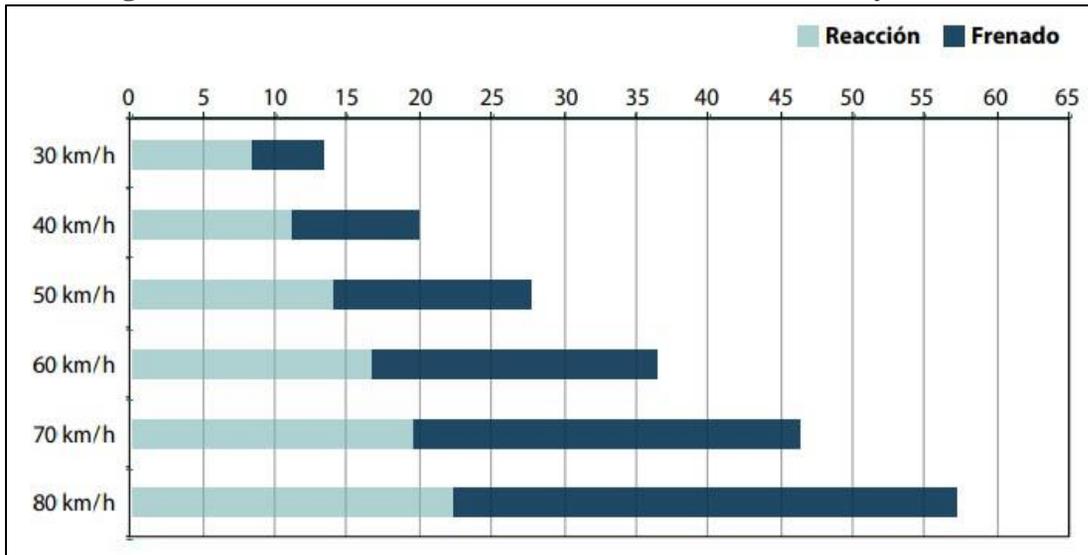
**Figura 8. Ángulos de visión del conductor según la velocidad.**



**Fuente: Secretaria de salud, Estados Unidos Mexicanos.**

Cuanto más rápido circula un vehículo, más distancia recorre antes de detenerse por completo o de que su velocidad disminuya lo suficiente como para evitar un accidente.

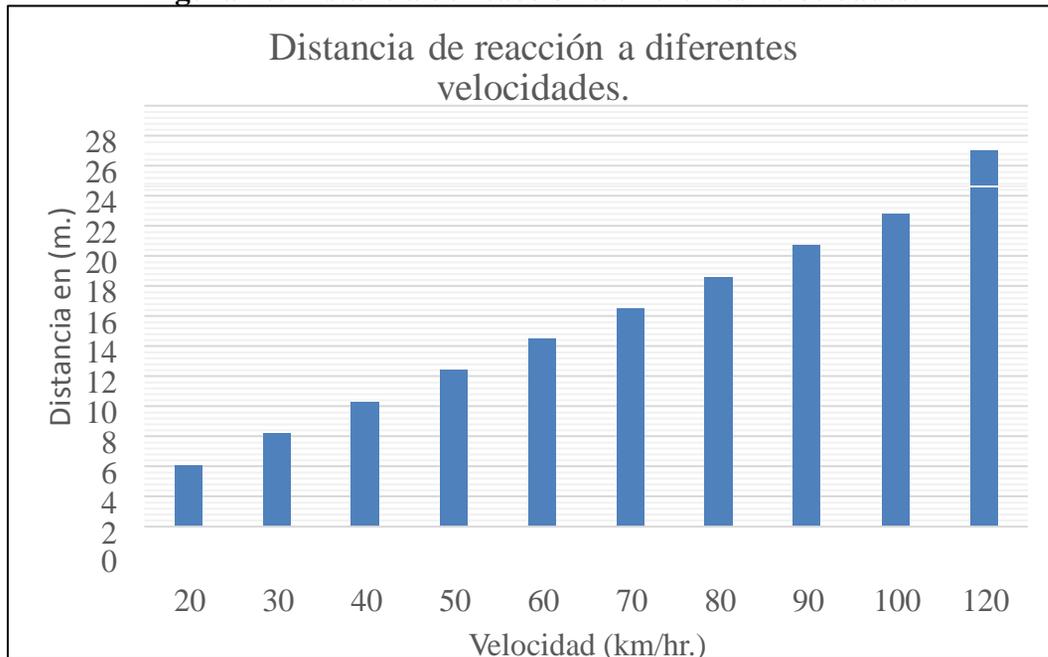
**Figura 9. Relación de velocidad con distancia de reacción y frenado.**



Fuente: Manual de seguridad vial (GRSF, 2008).

La velocidad inadecuada es uno de los factores más frecuentemente asociado a los accidentes de tránsito. Este factor de riesgo, junto con la distracción y el alcohol, es una de las principales causas de siniestros en la circulación.

**Figura 10. Distancia de reacción a diferentes velocidades.**



Fuente: Secretaria de salud, Estados Unidos Mexicanos.

La distancia de reacción depende de la velocidad.

(Distancia calculada para un tiempo de reacción de 0,75 seg.).

Mantener una velocidad adecuada es siempre un factor de protección frente a los accidentes de tránsito y una responsabilidad con los demás.

Adequar la velocidad a las circunstancias.

El conductor siempre debe estar en condiciones de detener su vehículo dentro de los límites de su campo de visión y ante cualquier obstáculo que pueda presentarse.

Por ello, además de respetar los límites de velocidad establecidos, debe adecuar la velocidad de su vehículo a:

Sus propias condiciones físicas y psíquicas.

Las características del vehículo y de su carga.

La situación del tráfico.

Las condiciones meteorológicas y ambientales.

Circular durante mucho tiempo a una velocidad elevada propicia la aparición de la fatiga e incrementa la hostilidad y la agresividad del conductor, debido a la tensión a la que está sometido.

La distancia de frenado está determinada principalmente por la velocidad a la que circula, pero también se ve afectada por:

La masa del vehículo, la carga que lleve y su colocación.

El estado de los frenos, los neumáticos y los amortiguadores.

La existencia y funcionamiento de los dispositivos electrónicos de asistencia a la frenada.

Las condiciones de la vía (húmeda, seca, con firme liso o rugoso).

Las condiciones del entorno (nieve o hielo).

La distancia de frenado a la que nos referimos en este apartado es la que recorre el coche, desde que accionamos el freno hasta que el coche se detiene completamente. Es importante tener claro este concepto ya que en ocasiones puede confundirse con la distancia de parada.

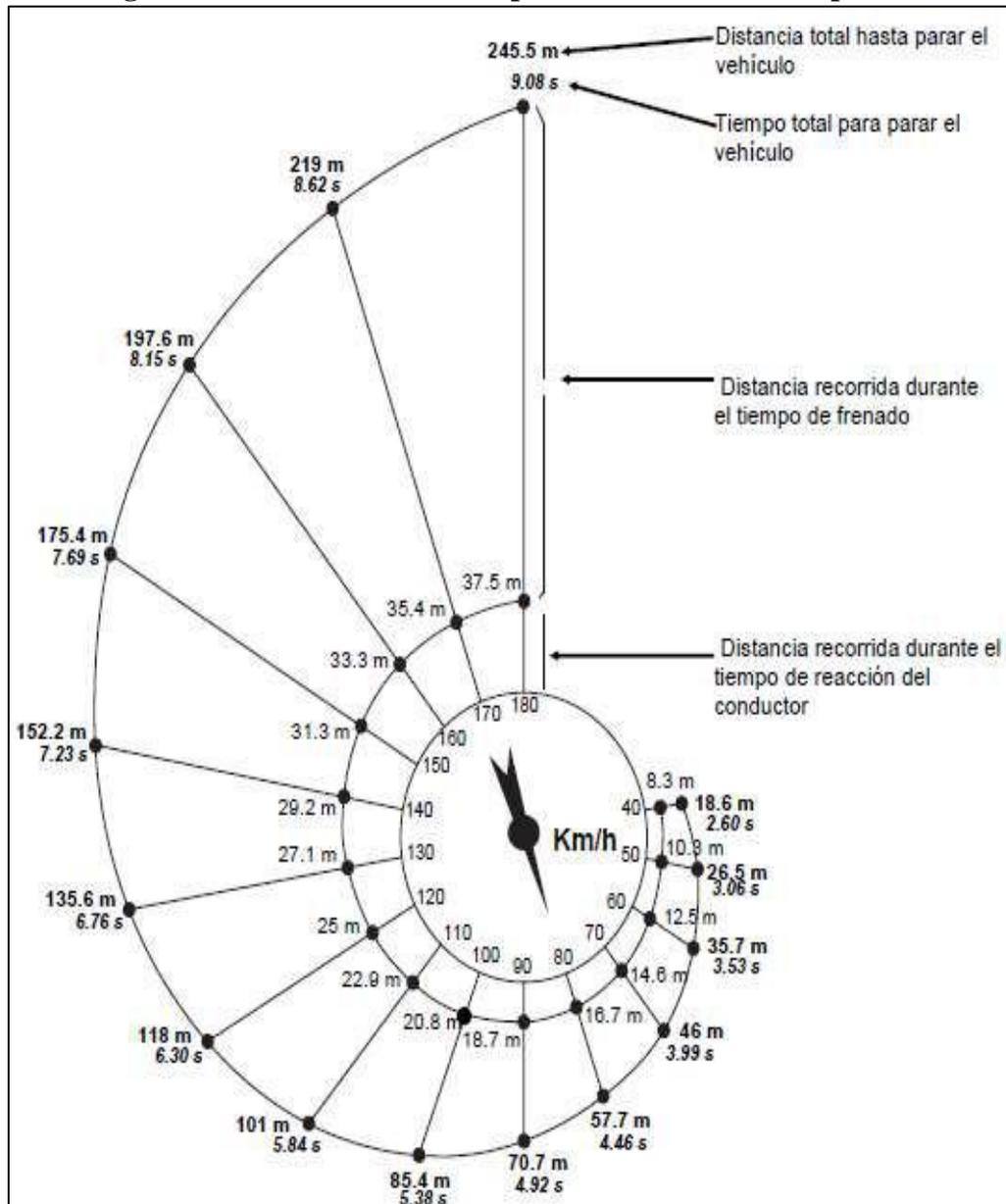
La distancia aproximada para detener un vehículo en movimiento es la suma de:

$\text{Dist. de parada} = \text{dist. recorrida desde que pisamos freno} + \text{dist. de frenado}$

La distancia de tiempo de reacción puede ser obtenida a través de la multiplicación del tiempo de reacción del conductor por la velocidad del vehículo. Hay que tener en cuenta que, desde que el conductor ve el obstáculo hasta que pisa el freno, transcurre un cierto tiempo, llamado tiempo de reacción que, en condiciones normales de reflejos, suele ser de 0,75 seg.

El siguiente diagrama de caracol muestra la distancia teórica de parada para un vehículo cuando las condiciones para frenar son buenas (un conductor concentrado, frenos y neumáticos en perfectas condiciones, una avenida seca) y cómo depende esta distancia de la velocidad.

**Figura 11. Distancia teórica de parada en condiciones óptimas.**



**Fuente: Seguridad vial, ministerio de educación nacional, Francia.**

Es por ello que la distancia de parada siempre va a ser superior a la distancia de frenado. Esto se debe a los metros que recorremos antes de accionar el freno como consecuencia del tiempo que tardamos en reaccionar denominado tiempo de reacción.

La distancia de parada también podríamos calcularla.

## **2.2.2 Factores que influyen en la distancia de frenado**

Diferentes factores pueden alargar o acortar la distancia de frenado. Dichos factores son por un lado las características técnicas del vehículo y por otro las condiciones locales. En los primeros se puede influir activamente, en los últimos no. Como conductor debería tener en cuenta lo siguiente:

### **2.2.2.1 Los frenos**

El freno de disco es un sistema de frenado usado normalmente para ruedas de vehículos, en el cual una parte móvil (el disco) solidario con la rueda que gira es sometido al rozamiento de unas superficies de alto coeficiente de fricción (las pastillas) que ejercen sobre ellos una fuerza suficiente como para transformar toda o parte de la energía cinética del vehículo en movimiento, en calor, hasta detenerlo o reducir su velocidad, según sea el caso. Esta inmensa cantidad de calor ha de ser evacuada de alguna manera, y lo más rápidamente posible. El mecanismo es similar en esto al freno de tambor, con la diferencia de que la superficie frenante es menor pero la evacuación del calor al ambiente es mucho mejor, compensando ampliamente la menor superficie frenante.

El continuo progreso de los sistemas de frenado en los automóviles ha dado lugar a resultados que mejoran la seguridad de los usuarios. En condiciones normales, estos sistemas proporcionan un resultado rápido y efectivo. Sin embargo, en condiciones más críticas, tales como avenida mojada, reacción repentina del conductor o errores cometidos por terceros, se puede dar la peligrosa circunstancia del bloqueo de las ruedas. La mayor consecuencia de este problema es muy peligrosa: se pierde el control del vehículo (la dirección).

Los frenos son un sistema que desacelera el coche mientras está siendo manejado, manteniéndolo sin movimiento mientras está estacionado. (Rojas L., 2001) Es un dispositivo de frenado de disco, en el cual el neumático es montado junto al disco. Los caliper tienen la fricción sobre ellos estos son presionados contra el disco en ambos lados para generar fuerza de frenado y detener el vehículo. (Marti, 1993).

El sistema de frenos tiene un claro efecto sobre la eficacia de los frenos y, en consecuencia, sobre la distancia de frenado. Siempre deberían estar en buen estado y se debería mantener con regularidad. Discos o forros de freno fuertemente desgastados disminuyen el coeficiente

de fricción y pueden duplicar la distancia de frenado en el peor de los casos. Por supuesto esto no ocurre de un pasado, sino que es un proceso lento y paulatino. No obstante, en caso de emergencia marcar la diferencia entre sufrir un accidente o no. En la inspección general de la ITV se revisan los frenos cada dos años. Las personas que viajen mucho en coche deberían visitar un taller cada 30.000 km. para revisarlos y repararlos, si fuera necesario. Por cierto, la diferencia entre frenos de disco y de tambor se puede descuidar en lo que respecta a la fuerza de frenado.

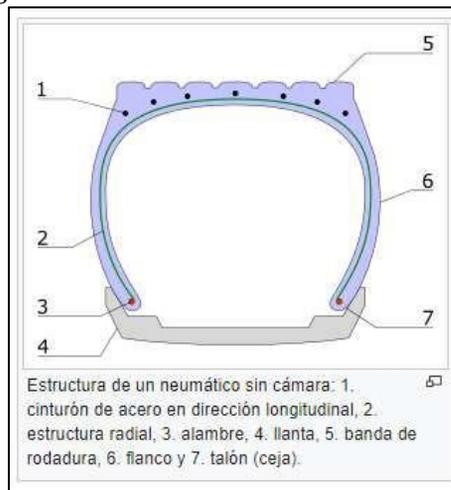
**Figura 12. Frenos de disco.**



Fuente: <https://www.expertoautorecambios.es/magazine/calcular-la-distancia-de-frenado-96>.

### 2.2.2.2 Los neumáticos

**Figura 13. Estructura de los neumáticos.**



Estructura de un neumático sin cámara: 1. cinturón de acero en dirección longitudinal, 2. estructura radial, 3. alambre, 4. llanta, 5. banda de rodadura, 6. flanco y 7. talón (ceja).

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Neum%C3%A1tico>.

Un neumático (por el aire que lleva), cubierta, neumático, caucho o goma, es una pieza toroidal de caucho que se coloca en las ruedas de diversos vehículos y máquinas. Su función principal es permitir un contacto adecuado por adherencia y fricción con el pavimento, posibilitando el arranque, el frenado y la guía. La parte de caucho blando que se infla y llena de aire es la cámara. Hay neumáticos que no llevan cámara, es decir, que el aire a presión está contenido directamente por el neumático. En los vehículos modernos, utilizan neumáticos denominados tubeless, ya que para su inflado no necesitan de cámara de aire interna. También existe otro tipo de neumático, llamados runflat, de perfiles reforzados, que son anti-pinchazos. Los neumáticos generalmente tienen hilos que los refuerzan. Dependiendo de la orientación de estos hilos, se clasifican en diagonales o radiales. Los de tipo radial son el estándar para casi todos los automóviles modernos.

La parte del neumático diseñada para mantener el contacto con la vía se denomina banda de rodadura. En diseño de la suspensión de los vehículos de cuatro ruedas existe una disciplina denominada geometría de suspensión que estudia el diseño de las suspensiones para lograr que esta superficie se mantenga paralela a la avenida con independencia de la inclinación del vehículo o lo accidentado del terreno. Por el contrario, en los vehículos de dos ruedas el diseño de la banda de rodadura es circular y se divide en dos secciones denominadas hombros, en las que el perímetro de la circunferencia se reduce a medida que se aproxima al neumático para permitir al vehículo girar al inclinarse, utilizándose solo el manillar para realizar correcciones. Las partes del neumático que no entran en contacto con la vía son los flancos o paredes laterales, los talones o cejas con los que el flanco se une al neumático y la estructura interna que puede ser radial o diagonal.

También los neumáticos son un factor determinante para la distancia de frenado sobre el que el conductor tiene influencia. En teoría un neumático sin perfil frena mejor por lo que los bólidos de Fórmula 1 están equipados con «slicks». No obstante, si la vía ya no es ideal, si está sucia o incluso mojada la situación cambia. La profundidad de perfil indicada es de 1,6 mm, aunque la recomendación de los expertos es bastante mayor, o seas, 3 mm. Solamente entonces se garantiza una distancia de frenado constante. El mayor riesgo se corre cuando se usan los neumáticos equivocados, o sea, si se conduce con neumáticos de verano sobre nieve o viceversa. En el primer caso es posible que ya no se puede frenar, en el segundo se corre el riesgo de que un neumático estalle y se pierda el control del vehículo.

**Figura 14. Neumáticos de vehículos automotores.**



**Fuente:** <https://www.expertoautorecambios.es/magazine/calcular-la-distancia-de-frenado-96>.

Tiempo y estado de la vía: una vía pública es cualquier espacio de dominio común por donde transitan los peatones o circulan los vehículos. Las vías públicas se rigen por la normativa internacional, nacional y local en su construcción, denominación, uso y limitaciones; con el objetivo de preservar unos derechos esenciales (a la vida, a la salud, a la libertad, a la propiedad, a transitar, etc.). A diferencia de las vías privadas, que las regulan sus dueños, tanto en sus características como accesibilidad.

En las áreas urbanas las avenidas divergen a través de la ciudad y se les llama calles teniendo un papel doble como vía de acceso y ruta. La economía y la sociedad dependen fuertemente de unas avenidas eficientes. En la Unión Europea el 44 % de todos los productos son movidos por camiones y el 85 % de los viajeros se mueven en autobús o en coche.

Las avenidas, según su complejidad constan de las siguientes partes:

**Calzada:** La parte de la calle o de la avenida destinada a la circulación de los vehículos, puede estar compuesta de uno o varios carriles.

**Cuneta o drenaje:** Es una zanja o canal localizada a los lados de las calles y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoquen daños o inundaciones.

**Acera:** Es una superficie pavimentada a la orilla de una calle para uso de personas que se desplazan andando o peatones. Usualmente se sitúa a ambos lados de la calzada.

Paso de peatones: Son la zona de intersección una o más calles y el tránsito peatonal; es la parte del itinerario peatonal que cruza la calzada de circulación de vehículos, al mismo o a diferente nivel.

Ciclo vía: Es un nombre genérico dado a las calles destinadas de forma exclusiva o compartida para la circulación de bicicletas.

Arcén: zona de dominio público, zona de servidumbre y zona de afección. Aunque se desee siempre una avenida seca y bien asfaltada con temperaturas agradables, no es posible controlar dichos factores. No obstante, es posible adaptar la forma de conducir al tiempo y a la situación aumentando la distancia de seguridad y disminuyendo la velocidad. Muchos conductores no tienen claro cómo cambia la distancia de frenado según las condiciones climáticas.

**Figura 15. Estado de la vía.**



**Fuente:** <https://www.expertoautorecambios.es/magazine/calcular-la-distancia-de-frenado-96>.

La pendiente: una pendiente es un declive del terreno y la inclinación, respecto a la horizontal, de una vertiente. Los procesos de modelado de las vertientes dependen de la inclinación de éstas y una pendiente límite (de unos  $45^\circ$ , aunque variable según la índole de la roca), a partir de la cual se superan las fuerzas de rozamiento que retienen a los materiales sueltos en las vertientes. Por lo general existe un cambio de pendiente más o menos brusco entre la vertiente y el talud de derrubios que se forma en su base; la pendiente límite de ese talud suele ser de unos  $35^\circ$ . Tras un largo proceso de modelado, una vertiente puede tener una pendiente de equilibrio cuya inclinación ya no cambiará sensiblemente mientras duren

las mismas condiciones climáticas y biológicas. La medición de una pendiente se expresa a menudo como un porcentaje de la tangente. Se usa para expresar la inclinación de, por ejemplo, un camino sobre una elevación de terreno, donde cero indica que se está "a nivel" (con respecto a la horizontal) mientras que cifras correlativas ascendentes designan inclinaciones más empinadas. Hay tres sistemas de numeración:

el ángulo de una horizontal en grados, normalmente expresado en grados sexagesimales, como porcentaje: la tangente del ángulo de inclinación.

O una definición alternativa como porcentaje: el seno del ángulo: la razón del cambio de altitud a la longitud de la superficie entre dos puntos cualquiera.

En ingeniería vehicular, varios diseños basados en accidentes geográficos (automóviles, utilitarios, camionetas, trenes, etc.) están tasados por su habilidad para ascender el terreno.

El factor que se puede desatender en el tráfico urbano a no ser que viva en San Francisco son las cuestas o pendientes de las calles. No obstante, estas pueden ser relevantes si se va de vacaciones en coche o de viaje turístico. Cuando se conduce cuesta arriba se acorta la distancia de frenado puesto que el vehículo ha de trabajar contra la cuesta. En pendientes descendientes ocurre lo contrario y la distancia de frenado aumento con la misma fuerza de frenado. Para ello hay una fórmula, no obstante, esta es bastante más complicada que las normas empíricas habituales. Como normal general se debería recordar que las pendientes descendientes alargan en cualquier caso la distancia de frenado por lo que se debería aumentar la distancia de seguridad.

**Figura 16. Pendiente de la vía.**



**Fuente:** <https://www.expertoautorecambios.es/magazine/calcular-la-distancia-de-frenado-96>.

### 2.2.2.3 Frenar de forma progresiva

Dos palabras que se oyen a menudo con combinación con la distancia de frenado y que como muy tarde se abordan en la autoescuela es la forma de frenar, es decir, la frenada progresiva y regresiva. Ambas tienen ventajas y desventajas y parece que entre los profesores de autoescuela no hay una preferencia clara sobre que método es más correcto.

Frenar de forma progresiva significa pisar el pedal de freno primero suavemente y luego cada vez más fuerte hasta el vehículo se haya detenido. Este método se reconoce en la sacudida típica del vehículo que ocurre antes de que el coche se detenga porque el conductor ha de presionar el pedal de freno con aún más fuerza para no chocar con el parachoques del coche delantero. Aunque los conductores la usen a menudo, este método es de hecho el peor puesto que requiere mucha atención y causa sacudidas desagradables que se pueden evitar.

Frenar de forma regresiva significa pisar el pedal de freno primero fuertemente para reducir la velocidad enseguida y rodar luego de forma suave y segura hacia el coche delantero o la línea detención y pararse. Este método se recomienda para principiantes puesto que es ideal para practicar pisar el pedal de freno a fondo. La velocidad es más baja el iniciar el proceso de frenado por lo que se reduce el riesgo de situaciones peligrosas y la sacudida típica al final del proceso de frenado se omite completamente. Única desventaja: Quien pisa el pedal de freno con demasiada fuerza, tendrá que volver a acelerar para tener la energía suficiente para rodar.

### 2.2.3 Método de cálculo

Para su cálculo, hay que tener en cuenta la siguiente formula:

$$D = \frac{V^2}{2 * g * \mu_y}$$

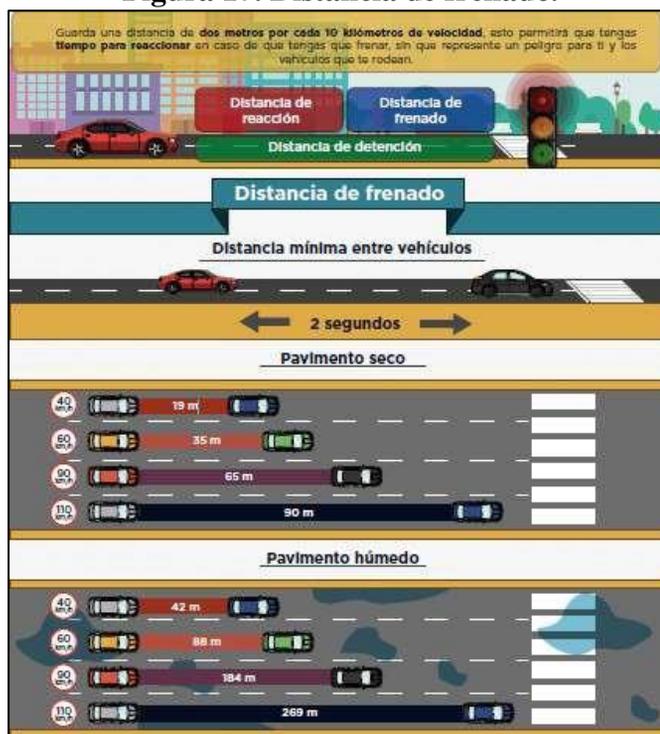
Donde:

V = Velocidad del vehículo.

g = La aceleración de la gravedad (g= 9,81m/s<sup>2</sup>).

$\mu_y$  = Inclinación de la calzada (i).

**Figura 17. Distancia de frenado.**



Fuente: Distancias seguras para frenado, Fundación Carlos Slim.

**Tabla 5. Relación de velocidad y distancia de frenado.**

Velocidad	Distancia de reacción (m)	Vehículo (m.)	Motocicleta (m.)
40	8,33	18,62	12,45
50	10,42	26,49	16,85
60	12,5	35,65	21,76
70	14,58	46,09	27,19
80	16,67	57,82	33,13
90	18,75	70,83	39,58
100	20,83	85,13	46,55
110	22,92	100,72	54,04
120	25	117,59	62,04
130	27,08	135,75	70,55
140	29,17	155,2	79,58
150	31,25	175,83	89,12
160	33,33	197,94	99,18
180	37,5	245,83	120,83
190	39,58	271,71	132,43
200	41,67	298,87	144,55

Fuente: Distancias seguras para frenado, Fundación Carlos Slim.

**CAPÍTULO III**  
**INFLUENCIA DE ÍNDICE DE**  
**FRICCIÓN INTERNACIONAL EN**  
**LA DISTANCIA DE FRENADO**

## **CAPÍTULO III**

### **Influencia de índice de fricción internacional en la distancia de frenado**

#### **3.1 Criterios a utilizarse**

Las cualidades de la fricción en el pavimento juegan un papel importante dentro de la seguridad en carreteras. La superficie de rodamiento debe proporcionar un adecuado nivel de fricción en la interfaz neumático - pavimento para proveer seguridad de operación a los vehículos. Los métodos y sistemas usados a través del mundo para medición de textura y resistencia al deslizamiento varían significativamente; es por esta razón que el comité técnico de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC) en Caracterización Superficial, en 1992, decidió emprender un experimento internacional para comparar y armonizar mediciones de textura y resistencia al deslizamiento.

##### **3.1.1 Criterios de selección de calles**

El criterio para la selección de calles que se empleo es el (MSA), que se da a conocer en el acápite 1.8.4 del capítulo I.

El cual estuvo bajo las condiciones de la Dirección Departamental de Transito de la Ciudad de Tarija y Movilidad Urbana, los cuales por medidas de seguridad establecieron las vías a ser intervenidas por este estudio de investigación.

##### **3.1.2 Criterios para el número de ensayos a realizar**

De acuerdo a la estadística para establecer un índice de confiabilidad de 95 % en los resultados y que es lo que se busca para dar mayor validez a la investigación se aplica dicho parámetro en el que para conseguir este índice de confiabilidad se debe contar con una cantidad de datos a tratar de 30. Es por ello que se tuvo que establecer un rango igual o mayor que 30, entonces se dispuso la elección de 7 puntos en cada tramo establecido para esta investigación, así, llegamos a un total de 42 puntos para cada velocidad intervenida.

### 3.2 Normativas empleadas

Actualmente el Bolivia, no se cuenta con estudios sobre la distancia de frenado y menos aún sobre modelos de calificación de las carreteras según su estado. Pero se regimos por las normativas internacionales más usadas y se las presente a continuación las que se emplearon.

#### 3.2.1 El método del círculo de arena (norma española: NLT-33S/92)

El método del círculo de arena sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura (rugosa o lisa), consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado ( $50 \text{ cm}^3$ ) de arena fina uniforme, de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más salientes. Se procura extender la arena en forma de círculo, con lo que es fácil determinar el área cubierta por la arena.

Para pavimentos de concreto hidráulico la profundidad media de la textura superficial determinada por el método del círculo de arena debe estar comprendida entre 0.7 y 1 mm. Mientras que, para la recepción de capas de rodamiento con material asfáltico, la textura no debe ser inferior que 0.7 mm.

**Figura 18. Método del círculo de arena.**



Fuente: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid.](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid.)

#### 3.2.2 El péndulo de fricción. (ASTM E-303/83 ó NLT-175/92)

El péndulo de fricción da una indicación indirecta del grado de rugosidad que proporciona la microtextura del pavimento.

El péndulo de fricción se utiliza en dos formas:

En el ensayo para la determinación del coeficiente de pulimiento acelerado de los agregados, empleando una zapata de goma de tamaño reducido, sobre la superficie de las probetas diseñadas con los agregados a ensayar.

Directamente sobre la superficie de la avenida empleando una zapata de mayor tamaño que la anterior, sobre la superficie mojada del pavimento.

El péndulo de fricción y el método del cono de arena no son muy utilizados para determinar el estado de una red de avenida, ya que presentan limitaciones de uso por su lentitud, por interferir en el tránsito y por su pequeña representatividad espacial.

**Figura 19. Equipo péndulo de fricción inglés.**



**Fuente: (Barraza Eléspuru, 2004).**

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/hr. Se usa tanto para medir el CFL como el CFT, dependiendo de la ubicación del equipo. (Roco, V., Fuentes, C., & Valverde, S. 2003).

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

incorporado. El coeficiente de fricción es calculado de la siguiente manera: (Roco, Fuentes, & Valverde, 2003).

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

Dónde:

CRD = Coeficiente de resistencia al deslizamiento.

Lect. prom = Lectura promedio de CDR.

Péndulo de fricción diva.

Este equipo, fabricado en Cuba, es similar al péndulo inglés. Es importante recalcar que para obtener una confianza en los resultados se requiere de la buena calibración del equipo antes de iniciar el trabajo. En cada ensayo el CFD se evalúa de la siguiente forma: (Díaz & Eutiquio, 1999).

$$CFC = K * TMB * \left(\frac{Lect.prom}{100}\right)$$

Dónde:

CFC = Coeficiente de fricción corregido.

K = Calibración del equipo de la serie cero (0,94 – 1,05).

TMB = Factor por corrección de temperatura.

Lect. prom = Lectura promedio de CDR.

**Tabla 6. Corrección por temperatura.**

Temperatura de la Superficie (°C)	Factor de corrección
	TMB
20 – 37,5	0,98
37,6 – 52,5	1,00
52,6 – 62,5	1,02
62,6 - 70	1,04

**Fuente: (Díaz & Eutiquio, 1999).**

### 3.2.3 Modelo de la PIARC

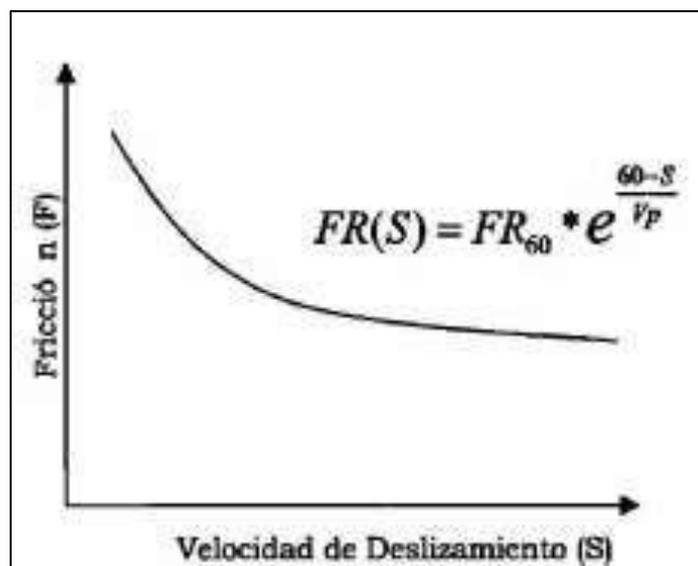
El modelo PIARC relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo, sobre la superficie de rodamiento. El modelo es de tipo exponencial y se describe en función de una constante "FR60", referida a la velocidad de deslizamiento a 60 km/hr. Esto permite convertir la medida de fricción realizada a cualquier velocidad (FRs), a una medida de fricción de 60 km/hr (FR60), a partir de una constante de referencia de la velocidad

(Vp).

Como ya se dijo anteriormente, por definición, la pareja de valores indicados por (F60, Vp) se designa como el índice de fricción internacional (IFI) de un pavimento, su conocimiento permite dibujar la curva de referencia estimada de Fricción- velocidad de deslizamiento, que representa la condición prevaleciente del pavimento.

La figura siguiente representa de forma esquemática el modelo PIARC que describe la curva de "Fricción - velocidad de deslizamiento" de un equipo determinado.

**Figura 20. Curva de fricción - velocidad de deslizamiento (modelo PIARC)**



**Fuente: CONSIDERACIONES SOBRE LA APLICACION DEL INDICE DE FRICCIÓN INTERNAQONAL ÜFI) EN LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD EN CARRETERAS (Díaz & Eutiquio, 1999).**

A continuación, se presenta el procedimiento del modelo PIARC para la determinación del Índice de fricción Internacional y su curva idealizada de Fricción - Velocidad de deslizamiento:

1. Primero se determina el valor de la constante de referencia de velocidad  $V_p$ , basándose en el valor de las medidas de la Macrotextura ( $T_x$ ) obtenida en campo.

Cabe señalar que, durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento, se ha comprobado que la constante  $V_p$  de la velocidad de referencia se podía determinar mediante una regresión lineal, en función de la medida de la Macrotextura ( $T_x$ ) tal que:

$$V_{p} = a + (b * T_x)$$

Donde los valores de:

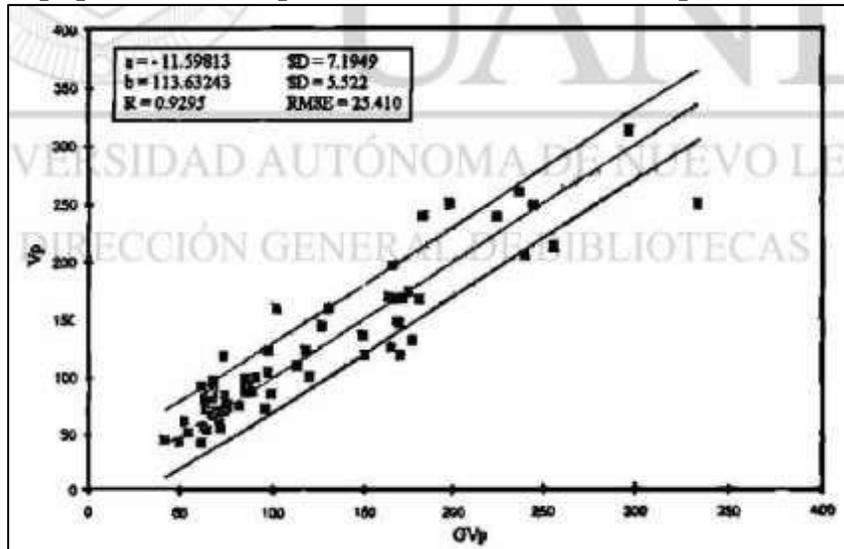
**a** y **b** son constantes según el equipo de medición. Para el Circulo de Arena

a = -11.59

b = 113.63

Tx = Es el valor de la macrotextura obtenida en campo.

**Figura 21. Valores de las constantes a y b con base en la correlación de Vp (con un equipo A8) con GVp usando el modelo PIARC  $V_p = a + (b * T_x)$ .**



Fuente: Consideraciones sobre la aplicación del índice de fricción internacional IFI en las condiciones de seguridad en carreteras (Díaz & Eutiquio, 1999).

## 2. Determinación del Valor de FR60.

- a) Se mide el valor de la fricción (FRs) en el campo, con alguno de los equipos establecidos, a una velocidad de deslizamiento (S) dada.
- b) Dependiendo del equipo, la velocidad de deslizamiento (S) estará afectada por la condición de la llanta de prueba, tal que:
  - i. S = Velocidad del Vehículo durante el ensayo para equipos con Rueda Bloqueada
  - ii. S = Velocidad del Vehículo (V) \* (% de Deslizamiento) para equipos con Rueda Parcialmente Bloqueada

- iii.  $S \cdot V$  del Vehículo \* Sen (a =Angulo de deslizamiento) para equipos, con Rueda Oblicua
- c) Se determina el valor de la constante "FRÓO", a partir del valor de la fricción (FRs), la velocidad de deslizamiento (S) y la constante  $V_p$ , mediante la expresión:

$$FR_{60} = A \cdot s * e^{\frac{B - 60}{V_p}}$$

Donde los valores de:

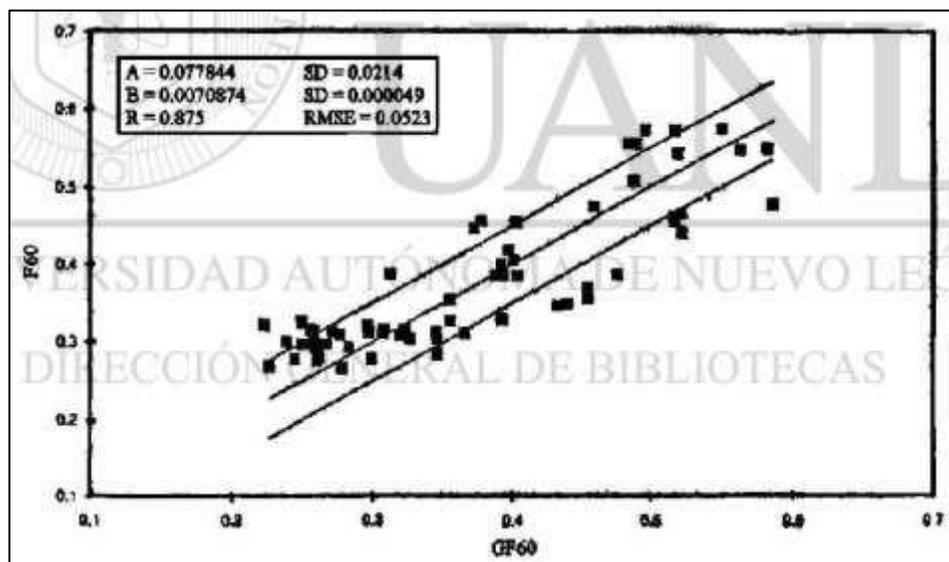
**A** y **B** son constantes armonizadas, según el equipo utilizado para medir la Fricción. En el caso de péndulo de fricción Ingles.

A = 0.078

B = 0.0071

FR60 es el valor obtenido en la ecuación anterior

**Figura 22. Valores de las constantes AyB basándose en la correlación de F60 (con equipo Al 4 como medida de microtextura) con GF60 usando el modelo PIARC y donde  $V_p$  se determinó usando MTD**



Fuente: Consideraciones sobre la aplicación del índice de fricción internacional IFI en las condiciones de seguridad en carreteras (Díaz & Eutiquio, 1999).

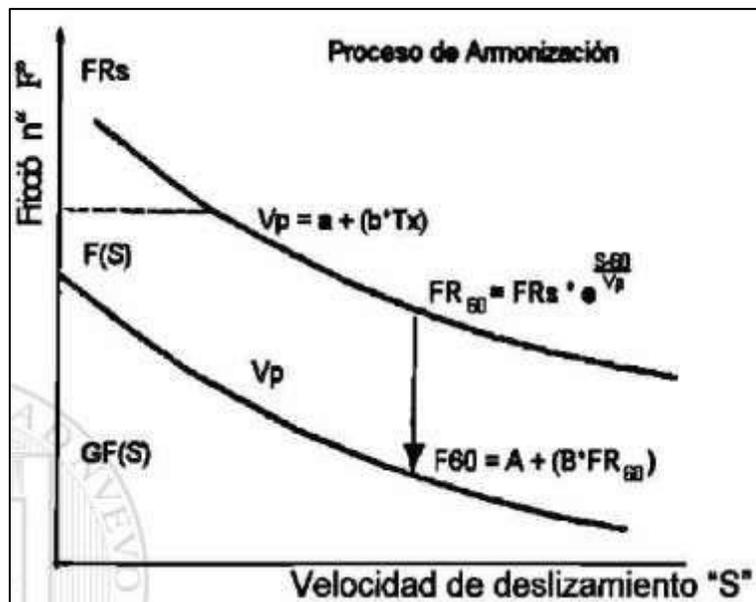
La notación IFI, es el resultado del experimento PIARC por comparar y armonizar los diferentes sistemas de medición y evaluación de la textura y la velocidad de deslizamiento (fricción).

El proceso de armonización permite establecer para cada equipo la fricción de referencia estimada, F60, que presumiblemente estará cerca del valor de “referencia o idealizado de GF60”.

Una vez calculados los parámetros idealizados (o estimados) de referencia “F60” y “Vp” se recomienda elaborar la gráfica de “fricción - velocidad de deslizamiento” mediante la siguiente ecuación y los puntos auscultados para concluir con el proceso.

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

**Figura 23. Curva de fricción - velocidad de deslizamiento (Proceso de Armonización)**



Fuente: Consideraciones sobre la aplicación del índice de fricción internacional IFI en las condiciones de seguridad en carreteras (Díaz & Eutiquio, 1999).

En la figura anterior se observa como una curva de fricción (FR60), de un equipo en particular, se ajusta o armoniza a la ideal de referencia "F60", utilizando los coeficientes de armonización (a, b y A, B) generados en el experimento PIARC.

La ventaja de este método es poder inferir cualquier valor obtenido en campo a un estándar de fricción y de ahí finalmente uno ideal de referencia que representa las características prevaecientes de fricción y textura, independientemente del equipo utilizado para su medición. Dicha armonización será válida siempre y cuando el proceso haya sido correcto y adecuado.

**Tabla 7. Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento.**

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

**Fuente: documento PIARC.**

### **3.3 Levantamiento de la información**

Es un proceso mediante el cual el analista recopila datos e información de la situación actual en este caso de las vías para establecer una relación entre dos parámetros, con el propósito de identificar oportunidades de mejora al problema que se encara. Para lo cual se establece el uso de dos metodologías que a continuación se explica su proceso.

#### **3.3.1 Método del círculo de arena**

**Figura 24. Realización de ensayo de círculo de arena.**



**Fuente: Fotografía propia.**

El procedimiento de levantamiento de datos es el siguiente:

1. Se eligen las zonas a ensayar, que se marcarán convenientemente en la calzada. En cada ensayo se realizarán un mínimo de cinco determinaciones, alineadas en dirección del eje de la vía y separadas 1 metro entre sí.
2. El volumen y granulometría de la arena a emplear se elegirá en función a la textura del pavimento, de tal forma que el radio del círculo de arena resultante esté comprendido entre 5 y 18 cm y el tamaño máximo del grano no sea superior a la profundidad media obtenida. De acuerdo al ábaco se señalan los campos de empleo para cada volumen y granulometría de arena
3. Si la superficie del pavimento está húmeda, se seca con la llama del calentador portátil de gas.
4. Se limpia la superficie de ensayo en un radio de unos 25 cm con el cepillo de pelo blanco.
5. Se llena de arena en exceso el recipiente cilíndrico elegido y se golpea ligeramente tres veces la base para asegurar la compactación; seguidamente se enrasa con la regla el exceso de arena.
6. Se vierte la totalidad de la arena del recipiente en el punto de ensayo en forma de superficie cónica y a continuación se la extiende con la ayuda de la cara plana con goma del tampón, mediante movimientos rotatorios, hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular en la que la arena rellene todas las depresiones. El movimiento del tampón debe ser suave, sin ejercer presión, y deslizando sobre la superficie del pavimento.
7. Finalmente, se mide con el compás de puntas el radio del círculo de arena, obteniéndose su valor con aproximación de 1 mm. con ayuda de la regla.

**Figura 25. Círculo de arena.**



**Fuente: Fotografía propia.**

### 3.3.2 Método del péndulo inglés

**Figura 26. Método del péndulo inglés.**



**Fuente: Fotografía propia.**

Para la obtención de los datos para la metodología del péndulo inglés se tiene establecido el siguiente procedimiento:

1. El péndulo y el resto del equipo se transporta siempre dentro de su caja.
2. Se comprueba que la zapata que se va a utilizar ha sido previamente acondicionada.
3. Se mide la temperatura de la superficie en cada zona de ensayo. Si se utiliza un pirómetro éste debe orientarse perpendicularmente a la superficie.
4. Se ajusta los tornillos niveladores de manera que la columna soporte del péndulo quede vertical. Se levanta el eje de suspensión del péndulo para que el brazo oscile libremente, y se ajusta la fricción en el mecanismo de la aguja de suerte que, cuando el brazo del péndulo y la aguja se liberan desde la posición horizontal a la derecha, la aguja se detenga en el cero de la escala.

Nota: El ajuste referido implica que el aparato funcione adecuadamente. Este ajuste es necesario cuando el aparato se utiliza en condiciones de temperaturas diferentes. Se puede presentar alguna dificultad con vientos fuertes, 10 m/s o más, en cuyo caso se suspenderá el ensayo. Puede ser necesario apantallar el péndulo para evitar las rachas de viento causados por el tráfico de vehículos.

5. Se ajusta la altura del brazo del péndulo de forma que la zapata en su contacto sobre la superficie de ensayo, recorra una longitud entre 120 y 127 mm.; para ello se deja

el brazo del péndulo (D) libre en su posición vertical y se coloca la galga (sujeta con una cadenilla a la base del aparato) bajo el tornillo de posición, (R), de la palanca de elevación (P) con lo que se elevará la zapata. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie de ensayo. Se fija ahora la cabeza del aparato en la posición por medio del tornillo (A) y se retira después la reglilla o galga. Se hace oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego a otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S' en el recorrido de la zapata sobre la superficie para el ensayo. La longitud de rozamiento correcta, se comprueba utilizando la reglilla. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto debe ser evitado mediante desplazamiento de la palanca de elevación de la longitud de rozamiento se efectuará con pequeños desplazamientos de elevación o descenso verticales de la cabeza del péndulo.

6. Una vez montado el aparato, comprobado el cero y ajustada la longitud de rozamiento de la zapata, como se ha descrito antes, se sitúa el brazo del péndulo y la aguja indicadora en posición de disparo.
7. Se humedecen abundantemente las superficies de ensayo y la zapata, evitando cualquier cambio de posición de la zapata.
8. Se procede entonces a realizar las medidas, liberando el péndulo y la aguja de su posición horizontal. Para ello se dispara el botón de sujeción, con lo que el péndulo efectúa una oscilación arrastrando a la aguja que marcará un valor sobre la escala K. Se recoge con la mano el brazo del péndulo en los comienzos de su oscilación de retorno y se anota el valor obtenido redondeando el número entero más próximo al señalado por la aguja en la escala. Se lleva el péndulo y la aguja a la posición original utilizando la palanca de elevación de la zapata.

Nota: Debe recoger el brazo oscilante del péndulo en su recorrido de regreso antes que pase por la posición vertical, al objeto de que no arrastre la aguja indicadora ni la zapata toque la superficie de ensayo, por lo que aquella debe pasar sin rozar a esta, para lo que se utiliza la palanca de elevación (P) de la zapata.

9. Se repite la medida cinco (5) veces sobre cada punto de ensayo efectuándose siempre las mismas condiciones, volviendo a mojar abundantemente la superficie, justamente antes de realizar cada medida. Si el valor numérico de las cinco medidas no difieren en más de tres (3) unidades, se anota el valor medio resultante como valor efectivo del CRD del punto de ensayo. Si la diferencia entre estas cinco medidas es mayor a tres (3) unidades, se continúa realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma esta última como valor efectivo del CRD en el punto ensayado.
10. Finalizado el ensayo se comprueba que el equipo se mantiene nivelado (burbuja de nivel) y que el cero del péndulo no ha variado. Además, en trabajo de campo se comprueba también el recorrido de la zapata sobre el pavimento y las temperaturas del agua de humectación y del punto de ensayo. Si en estas comprobaciones es aparente alguna desviación con respecto a las condiciones establecidas, se rechaza el ensayo y se repite.

### **3.3.3 Obtención de la distancia de frenado**

1. Identificamos la calle o avenida seleccionada para este estudio, donde procedemos a cerrarle el paso vehicular con conos de tránsito, para precautelar la seguridad de las pruebas de distancia de frenado a diferentes velocidades.
2. Verificaremos si existe elementos que den inseguridad sobre la superficie del pavimento asfáltico. De existir algunos elementos sobre la superficie deberán ser retirados de la misma.
3. Garantizando una distancia para alcanzar las velocidades establecidas para este estudio, se procede a demarcar el punto inicial a ser ensayado, seguidamente con la ayuda de una huincha se marcan los demás puntos a ser ensayados a cada 50 metros uno del otro hasta completar los 7 puntos por calle o avenida, completando una longitud de 300 metros a ser ensayados.
4. En cada punto de ensayo se procede a colocar conos en ambos lados de la vía, como referencial visual a momento de realizar el ensayo.
5. Revisamos el estado vehicular en general, como es nivel de aceite, de agua, presión de aire en los neumáticos, etc.

6. Con todos los anteriores pasos realizados se procede a llevar el vehículo al punto de partida, en el que antes de empezar con el ensayo nos colocamos los elementos de seguridad como es el casco, guantes y cinturón de seguridad.
7. Encendemos el vehículo e iniciamos a imprimir velocidad hasta alcanzar la velocidad de ensayo manteniéndola hasta llegar al punto de ensayo a dicha velocidad para inmediatamente estando el pico del auto a la altura de los conos se imprime los frenos de manera abrupta, hasta que el vehículo este completamente detenido. Aplicamos el freno de mano y descendemos del mismo.
8. Con la huincha medimos las huellas de frenado que quedaron marcadas en el asfalto, las cuales comprenden desde el punto que ubican los conos hasta el pico del vehículo detenido. La medida tomada se registra.

**Figura 27. Ejecución de la prueba en pavimento seco.**



**Fuente: Fotografía propia.**

9. Los pasos 7 y 8 se realizan tres veces, para tener una media de las 3 lecturas y podamos estar más seguros de la distancia producida bajo esas condiciones.

**Figura 28. Ejecución de la prueba en pavimento húmedo.**



**Fuente: Fotografía propia.**

10. Los pasos 7 y 8 se deben volver a repetir tres veces más, pero, a diferencia de lo anterior la superficie de la vía debe ser mojada con abundante agua. Una vez la superficie este mojada se repite el proceso una vez, se vuelve a mojar la superficie y se repite nuevamente hasta completar las tres lecturas. Las cuales son registradas.

**Figura 29. Verificación de la presión del neumático.**



**Fuente: Fotografía propia.**

**Figura 30. Verificación del testigo de fondo del neumático.**



**Fuente: Fotografía propia.**

#### **3.3.4 Obtención de las Características de la Vía.**

Para obtener las características de las vías, se realiza lo siguiente:

1. Velocidad.- Para obtener la velocidad de la vía (velocidad máxima regida por la Dirección Departamental de Transito de la Ciudad de Tarija). Acudimos a dicha institución en donde nos facilitaron esta información.
2. Ancho de la vía.- Este parámetro geométrico de cada una de las calles intervenidas fueron medidos en el sitio, utilizando una huincha.
3. Pendiente longitudinal.- Esta característica de las vías fueron medidas con la ayuda de la estación total, que nos facilita la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.
4. Ancho de carril.- Este parámetro al igual que el ancho de vía fue medido con ayuda de una huincha, y comprobamos que es la mitad del mismo.

La ventaja de este método es poder inferir cualquier valor obtenido en campo a un estándar de fricción y de ahí finalmente uno ideal de referencia que representa las características prevalecientes de fricción y textura, independientemente del equipo utilizado para su medición. Dicha armonización será válida siempre y cuando el proceso haya sido correcto y adecuado.

**Tabla 8. Características de las vías.**

Nombre	Pendiente promedio	Velocidad	Ancho de carril
Costanera del Sur (desde la Av. Heriberto Trigo hasta pasaje Gustavo Ruiz)	0,6%, -2,1%	40 km/hr.	8 m.
Av. Víctor Paz Estensoro (carril del medio desde la calle España hasta la calle Padilla)	1,5%, -2,2%	40 km/hr.	6 m.
Av. La Banda (desde el Puente Bicentenario hasta Universidad Domingo Savio)	1,5%, -0,8%	40 km/hr.	8 m.
Av. Julio Delio Echazú (desde la Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz Zamora)	0,7%, 1,3%	40 km/hr.	6 m.
Barrio Luis de Fuentes Av. Oscar Vargas Molina (desde calle s/n hasta Av. Los Sauces)	4,3%, -5,2%	40 km/hr.	8 m.
Av. Héroes del Chaco (desde calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz)	1,6%, -1,6%	40 km/hr.	10 m.

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.4 Ubicación**

Las ubicaciones de las zonas a analizar serán:

Tramo 1: Costanera del Sur (desde la Av. Heriberto Trigo hasta calle Gustavo Ruiz).

Tramo 2: Av. Víctor Paz Estensoro (carril del medio desde la calle España hasta la calle Padilla).

Tramo 3: Av. La Banda (desde el Puente Bicentenario hasta Universidad Domingo Savio).

Tramo 4: Av. Julio Delio Echazú (desde la Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz Zamora).

Tramo 5: Barrio Luis de Fuentes Av. Oscar Vargas Molina (desde calle s/n hasta Av. Los Sauces).

Tramo 6: Av. Héroes del Chaco (desde calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).

### 3.4.1 Mapas

**Figura 31. Costanera del Sur (Av. Heriberto Trigo hasta calle Gustavo Ruiz).**



Fuente: Google Earth.

**Figura 32. Av. Víctor Paz (carril medio desde calle España hasta calle Padilla).**



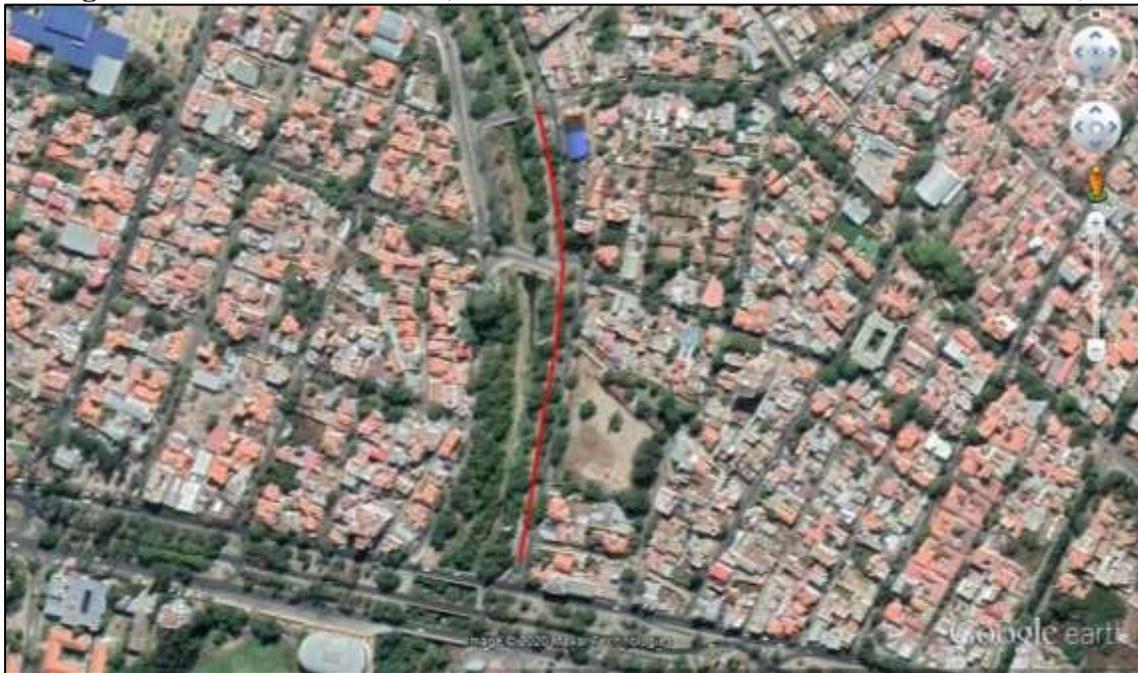
Fuente: Google Earth.

**Figura 33. Av. La Banda (puente Bicentenario hasta Univ. Domingo Savio).**



Fuente: Google Earth.

**Figura 34. Av. Julio Echazú (Av. Defensores del Chaco hasta Av. Jaime Paz).**



Fuente: Google Earth.

**Figura 35. B/ Luís de Fuentes Av. Oscar Vargas (calle s/n hasta Av. Los Sauces).**



**Fuente: Google Earth.**

**Figura 36. Av. Héroes del Chaco (calle Los Lapachos hasta Av. Electo Díaz).**



**Fuente: Google Earth.**

### **3.5 Control en el levantamiento de datos**

Para efectuar los procesos de levantamiento de datos se hace empleo de la información de las normativas aplicadas en las mediciones de la macrotextura, microtextura (fricción) y además algunas que se investigaron para las distancias de frenado.

Macrotextura, para realizar el levantamiento de datos se hace en base a la metodología del círculo de arena, que, enfatiza el realizar los procedimientos para las lecturas haciendo una previa limpieza minuciosa en la que se debe erradicar la presencia de suciedad que pudiera estar alterando la textura natural de la superficie de la calzada, para ello se utiliza un brocha y/o cepillo, y algún tipo de soplador, para eliminar todo elemento que pudiera contaminar la lectura y darnos alguna medida errónea.

Microtextura, para realizar estas mediciones de igual manera que con la macrotextura se realiza una limpieza superficial de la calzada para obtener resultados de las mediciones con mayor exactitud.

Distancia de frenado, para la lectura de las distancias de frenado primeramente hacemos una verificación visual de elementos en la superficie que pudieran estropear el resultado, en caso de existir arena, piedra o basura, se hace la limpieza de estos elementos para dar mayor seguridad en la ejecución del proceso y de los resultados a medir. Para el proceso de ejecución inicialmente marcamos con un cono el punto inicial para frenar el vehículo, y el punto final estaría donde el auto quede detenido, de esta manera podemos minimizar errores al momento de ejecución de las distancias de frenado.

Se podría tener un control más estricto a momento de la toma de las distancias de frenado, pero, dadas las circunstancias económicas y las condiciones que tiene un estudiante no permitieron dar más exactitud a momento de ejecutar el procedimiento para las mediciones.

### **3.6 Instrumentos empleados y materiales**

#### **3.6.1 Método círculo de arena**

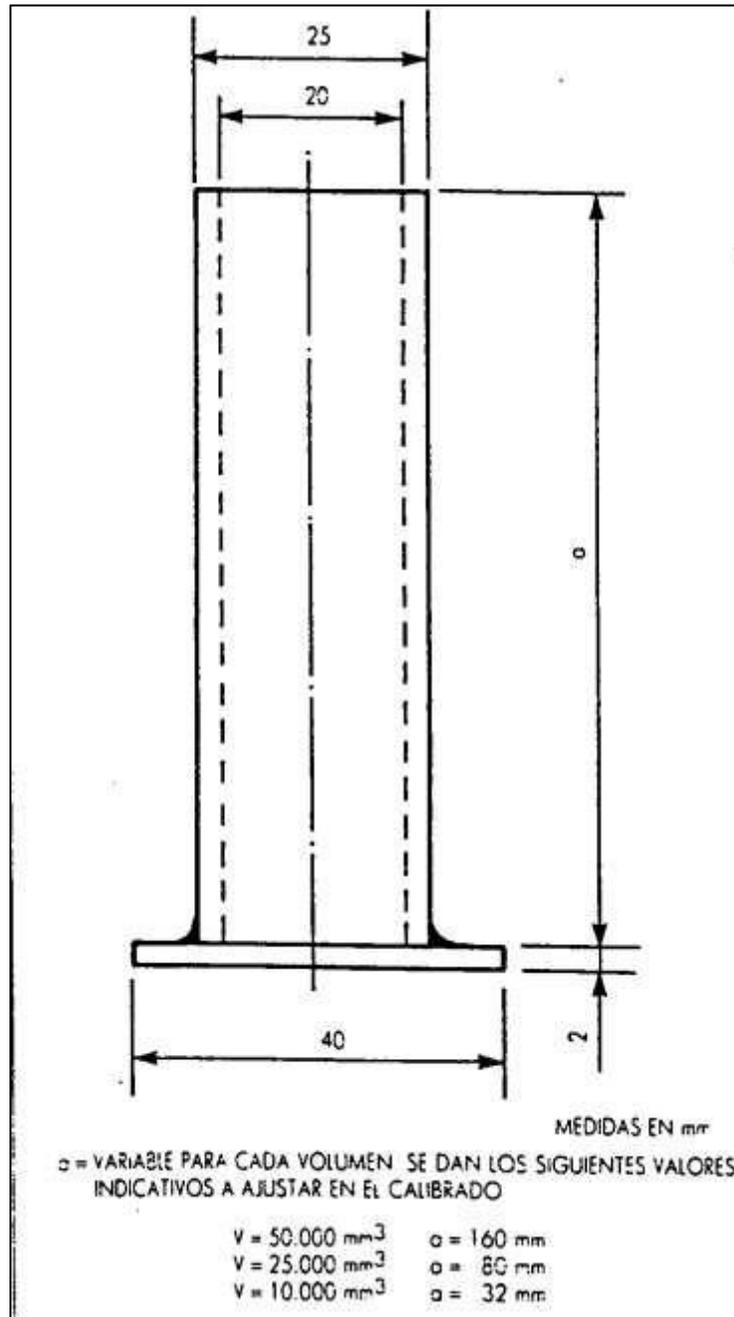
Para el levantamiento de datos para realizar esta metodología, se usó lo siguiente:

1. Tres recipientes, para tres medidas diferentes del volumen de arena, constituidos por un tubo cilíndrico de latón, plástico o vidrio cerrado por uno de sus extremos, de 20 mm de diámetro interior y con las alturas necesarias para sus volúmenes sean, respectivamente, de:

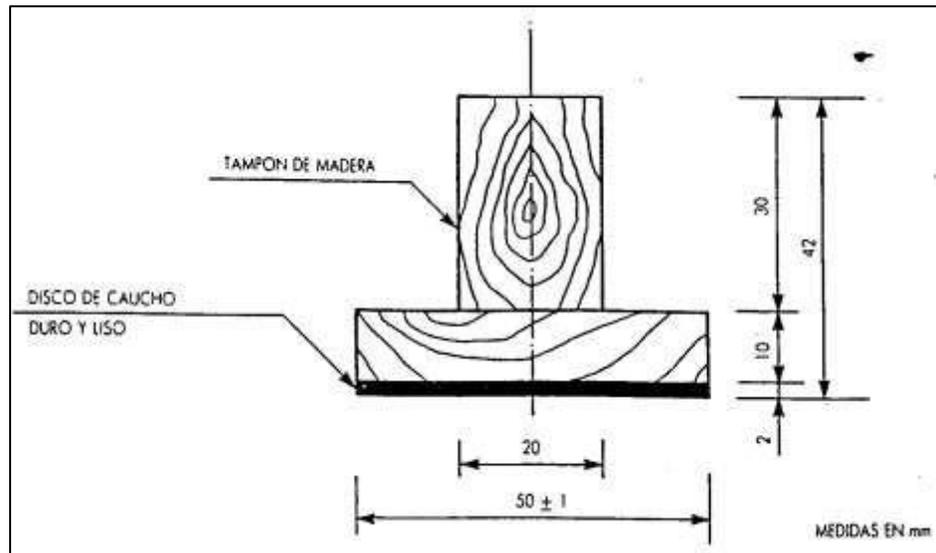
$$50.000 \pm 200 \text{ mm}^3$$

$$25.000 \pm 150 \text{ mm}^3$$

$$10.000 \pm 100 \text{ mm}^3$$



2. Un tampón para extender y enrasar la arena, formado por un disco de madera con mango con la forma y dimensiones de la siguiente figura, provisto en si cara inferior de un disco de goma dura.

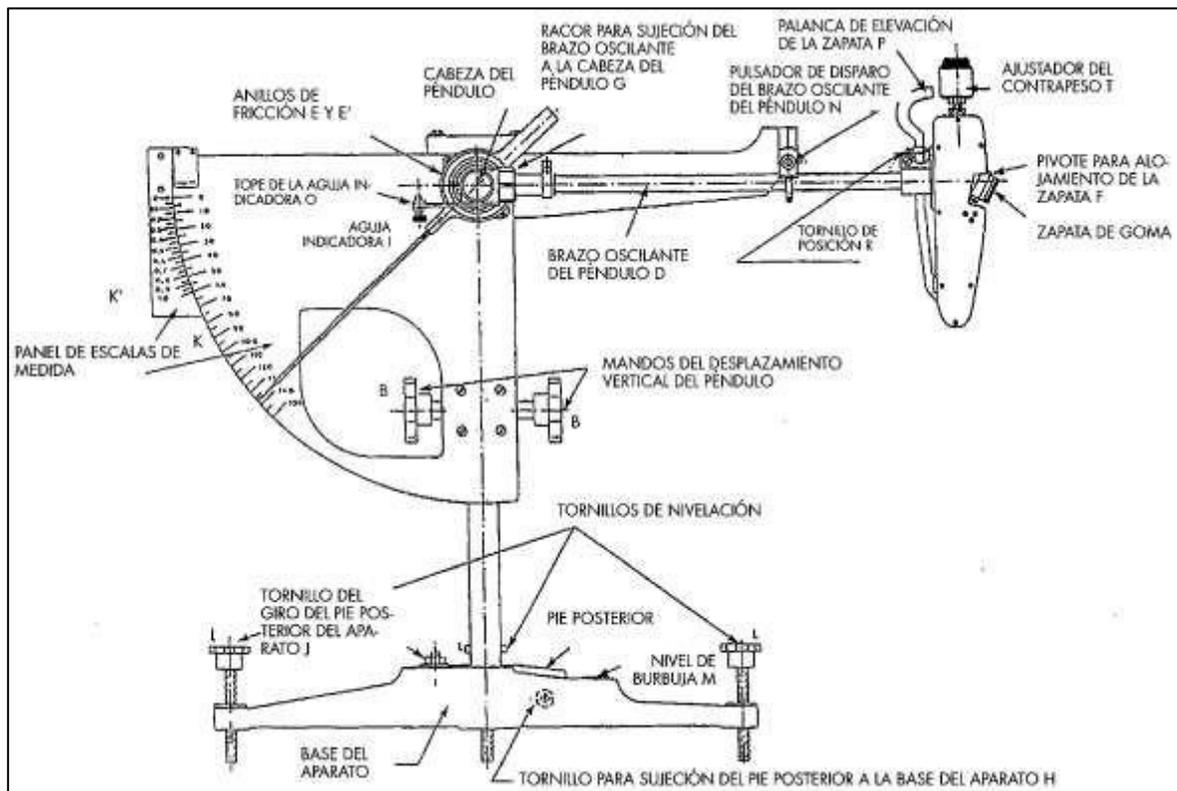


3. Un compás de puntas rígidas para medir radios hasta 40 cm.
4. Una regla metálica o de plástico de 400 mm de longitud como mínimo y graduada en milímetros.
5. Dos recipientes de plástico de boca ancha y tapón roscado para el transporte de la arena, de unos 2 litros de capacidad.
6. Un cepillo de pelo blanco.
7. Arenas para ensayo.- Se utilizaron dos tipos de arena silíceo de río, de grano redondeado, lavada y secado en estufa a temperatura entre 105 y 110 °C, y las siguientes granulometrías:
  - Arena tipo 50-80, que pasa el tamiz UNE 320  $\mu\text{m}$  y queda retenida en el tamiz UNE 160  $\mu\text{m}$ .
  - Arena tipo 80-200, que pasa el tamiz UNE 160  $\mu\text{m}$  y queda retenida en el tamiz UNE 80  $\mu\text{m}$ .
8. Dispositivo para proteger del viento la zona de medida, formado por varias chapas metálicas rectangulares unidas por argollas, capaces de formar una barrera circular alrededor del punto de ensayo que impida que el viento pueda arrastrar la arena. Si no se dispone de este útil, se puede recurrir a un neumático usado de camión.
9. Calentador portátil de gas, con bomba y boquilla.

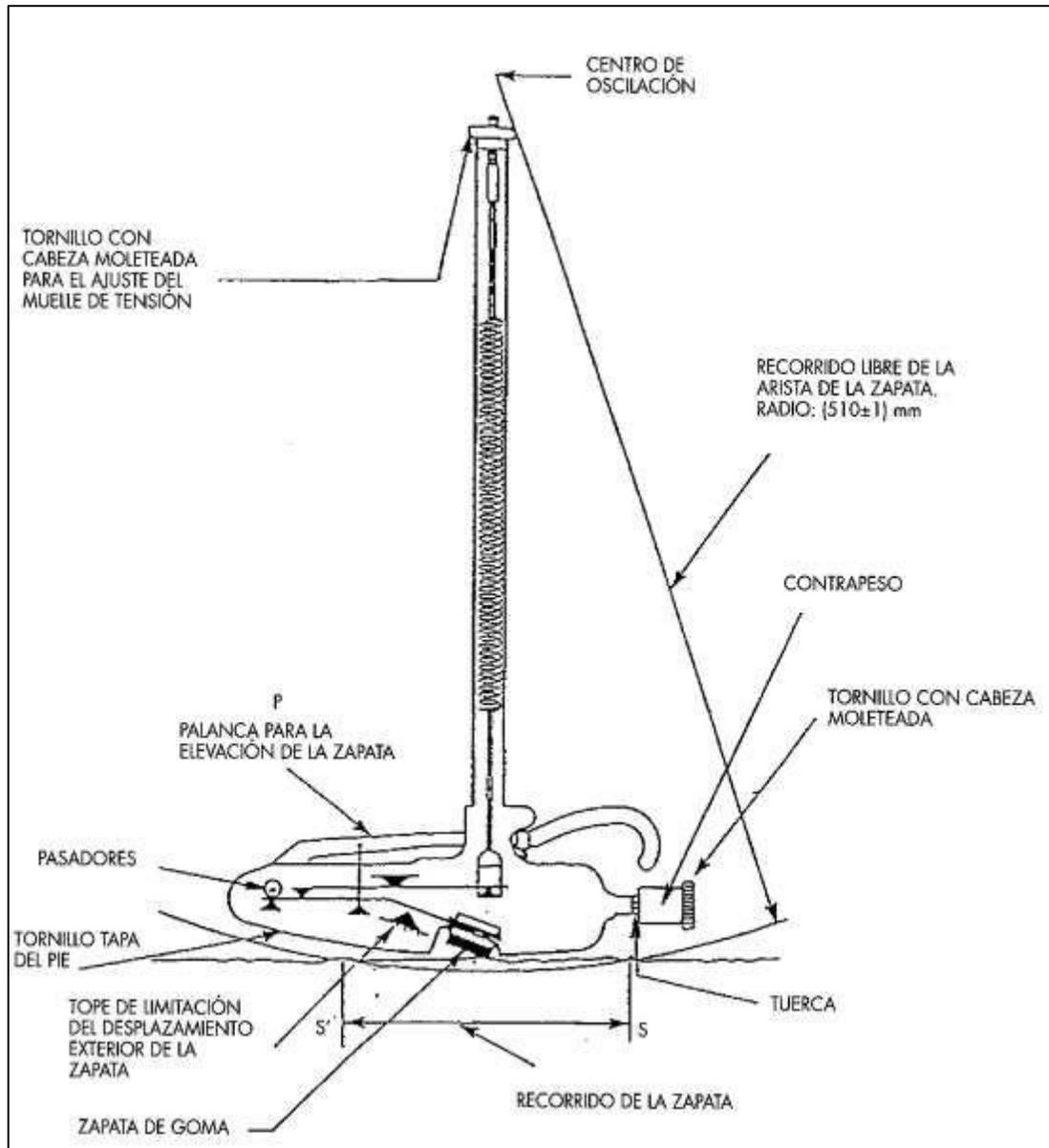
### 3.6.2 Método péndulo ingles

En el caso de los instrumentos utilizados para el levantamiento de datos de la metodología del péndulo ingles se empleó los siguiente:

1. Péndulo de fricción.- El péndulo presenta las siguiente características fundamentales:

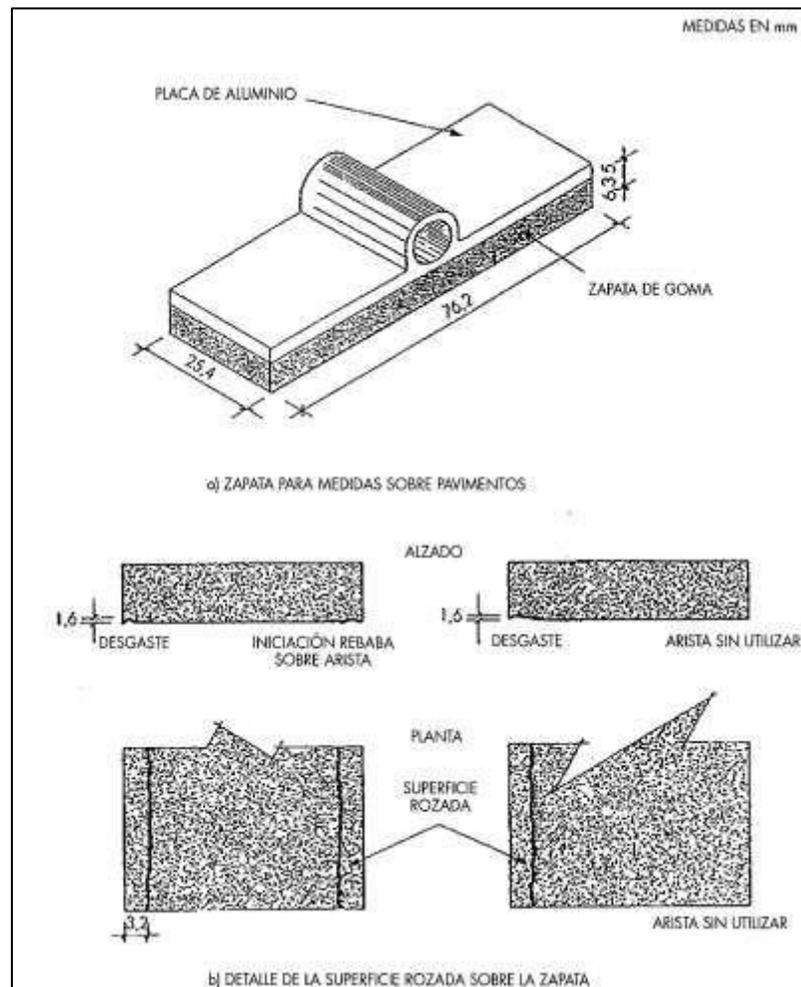


2. 1. El péndulo como tal, con la zapata y su placa soporte, debe tener una masa de  $(1500 \pm 30)$  gr su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de  $(410 \pm 5)$  mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por la arista de la zapata, con el centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de  $(510 \pm 1)$  mm. La zapata, instalada conforme al procedimiento de calibración, ejercerá una fuerza nominal de  $(22.2 \pm 0.5)$  N,  $(2.26 \pm 0.05)$  Kgf, sobre ña superficie de ensayo y su posición media de recorrido. La variación en la tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 0.2 N/mm, (20gr/mm).

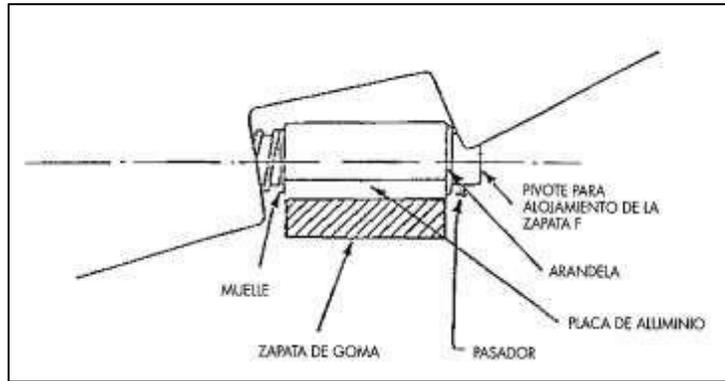


2. 2. Características de la zapata.- Las dimensiones de la zapata de goma para las medidas de resistencia al deslizamiento serán de  $(76.2 \pm 0.5)$  mm. de ancho,  $(25.4 \pm 1.0)$  mm. de longitud, (en la dirección de la oscilación) y  $(6.35 \pm 0.5)$  mm. de espesor. La masa del conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de  $(36 \pm 7)$  gr se pueden utilizar también zapatas de  $(31.75 \pm 0.5)$  mm. de ancho,  $(25.4 \pm 1.0)$  mm. de longitud y  $(6.35 \pm 0.50)$  mm. de espesor, siendo en este caso la masa del conjunto zapata y placa soporte de  $(20 \pm 5)$  gr. Las zapatas se obtendrán del corte de una plancha de goma de 6.5 mm. de grueso con una edad no mayor de seis meses desde la fecha de fabricación y cumplirá las propiedades que se muestran en la siguiente tabla:

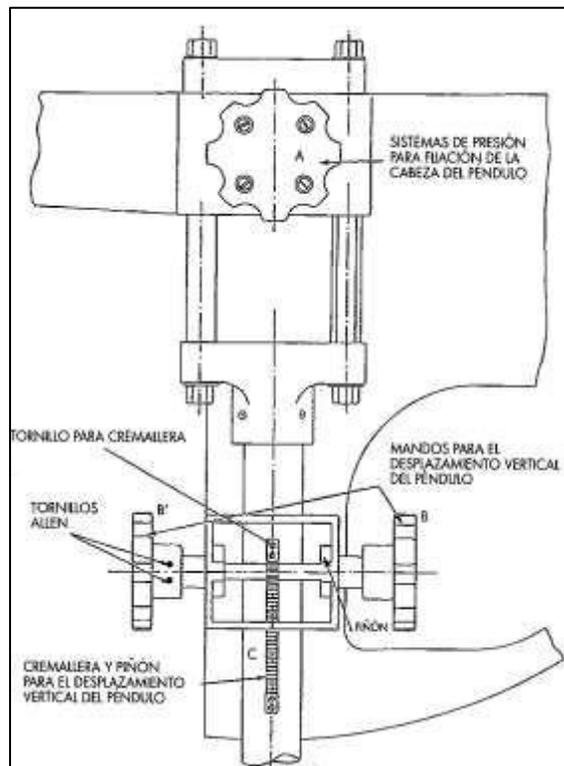
Propiedad	Temperatura (°C)				
	0	10	20	30	40
Resiliencia (%) (1)	43 - 49	58 - 65	66 - 73	71 - 77	74 - 79
Dureza (LRDH) (2)	55 ± 5				
(1) Normas: ISO 4662: 1986 o UNE 53.604					
(2) Normas: ISO 48 o UNE 53.549					
Nota. La composición de la goma de la zapata se refiere en el Anexo B de esta norma. Las zapatas de goma se almacenarán en la oscuridad a temperatura de (20 ± 5) °C					



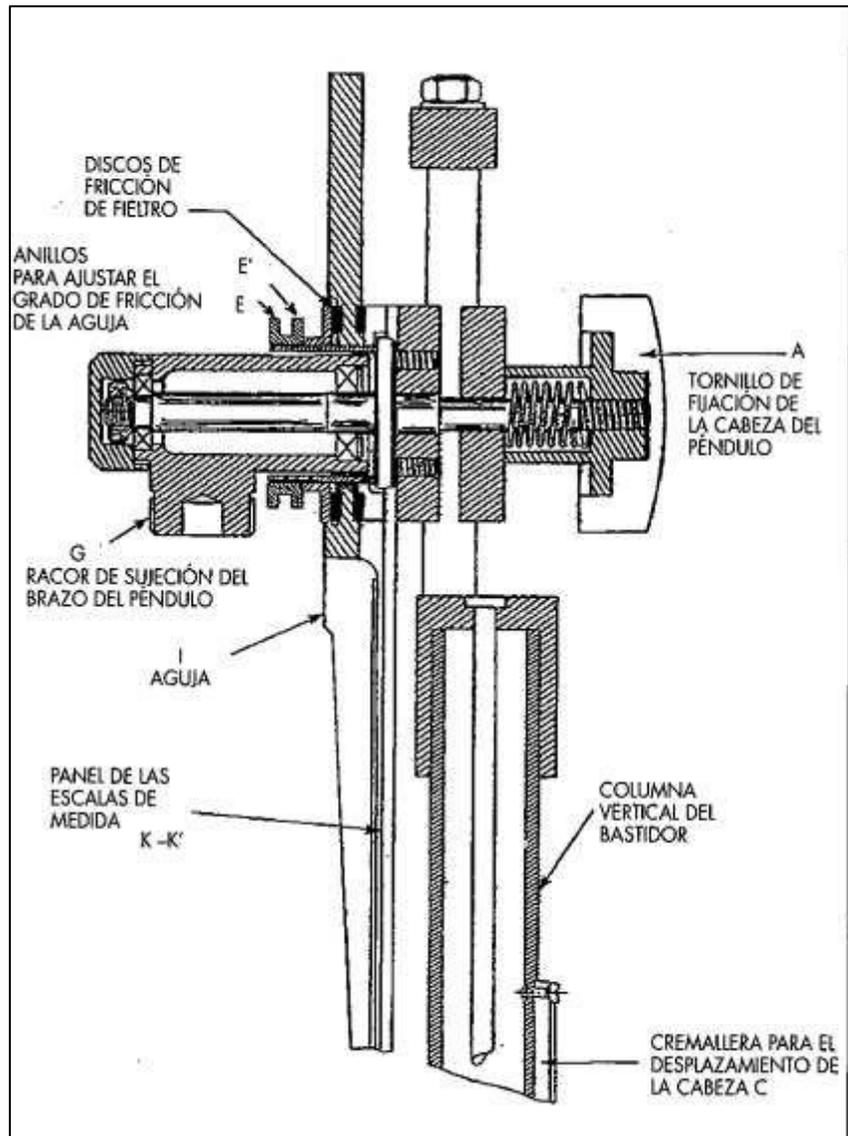
2. 3. La zapata de goma va pegada, con un adhesivo adecuado, a una placa soporte de aluminio que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de  $(26 \pm 3)$  grados con la horizontal y de tal manera que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie de ensayo, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo la superficie del ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.



2. 4. Dispositivo de nivelación.- El dispositivo de nivelación será de tipo tornillo (L) acoplado a cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, y con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del aparato en posición vertical.
2. 5. Dispositivo de desplazamiento vertical, que permita desplazar verticalmente el eje de suspensión del péndulo, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie de ensayo en una longitud de  $(126 \pm 1)$  mm. El desplazamiento vertical de la cabeza del aparato solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N) se efectuará por medio de una cremallera fijada a la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualesquiera de los mandos (B y B'). La cabeza quedará inmovilizada por medio del tornillo de presión (A).



2. 6. Dispositivo de sujeción y disparo o liberación del brazo del péndulo, que permita sujetar o liberar el brazo del péndulo (N) de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

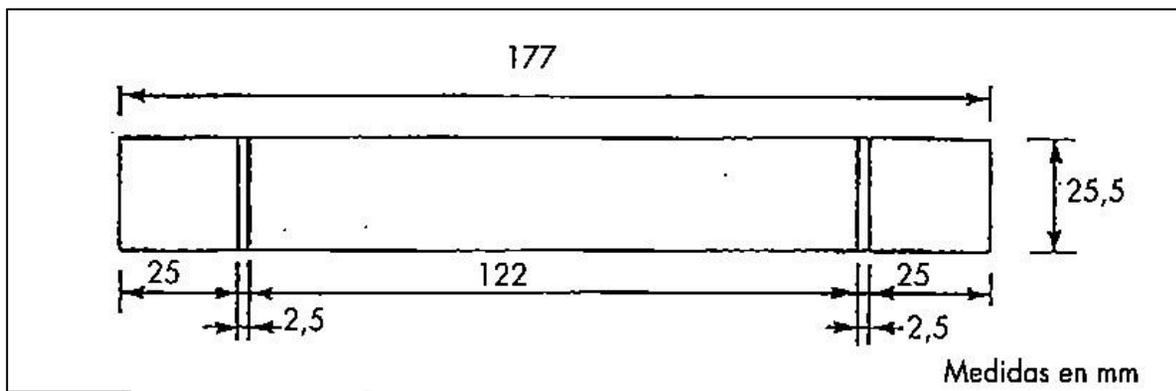


2. 7. Dispositivo de medida, consiste en una aguja (I) con una masa no mayor a 85 gr y longitud de 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, que indicará al final de su recorrido, durante el ensayo, la posición del brazo del péndulo, en una escala circular (K) grabada sobre un papen, o en otra escala (K') auxiliar que se utiliza en el ensayo de coeficiente de pulimento acelerado de los áridos (NLT-174). Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E') de manera que, con el brazo del péndulo horizontal, la aguja sea

arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto, punto “cero”, de la escala de medidas, situado a  $(10 \pm 1)$  mm. por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación. La escala (K) estará calibrada para una longitud o recorrido de deslizamiento de la zapata de 126 mm., en una superficie plana, marcada desde 0 hasta 150 en intervalos de 5 unidades. Esta escala es la que se empleará en las medidas de campo y laboratorio y proporciona el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento.

Nota. La escala K' se utiliza para la determinación del coeficiente de pulimento acelerado de los áridos, CPA, (norma NLT-174) y está calibrada para un recorrido de deslizamiento de 76 mm, sobre probetas planas o curvadas.

3. Reglilla graduada. Una reglilla graduada cuyas marcas exteriores estén separadas 127 mm. y las interiores 122 mm. siendo, por tanto, de 2.5 mm. la separación entre cada par de marcas exterior e interior próximas.



4. Termómetro convencional o electrónico. Escala de  $(-10$  a  $80)$  °C y lectura de 1 °C.
5. Recipientes para agua, dos, uno con capacidad de 10 litros y el otro de 0.5 litros. Este último dispondrá en el tapón de un tubo de salida con un orificio de unos 3 mm. de diámetro, que permita rociar copiosamente con agua la superficie de ensayo y la zapata.
6. Cepillo, de cerdas de goma dura de longitud no menos de 2 cm. que pueda abarcar un área de barrido de unos  $16 \text{ cm}^3$ , de la superficie de ensayo.
7. Cinta métrica, de longitud igual o superior a 15 m, para situar los puntos de medida en el pavimento.
8. Caja de herramientas, para el transporte de las herramientas, zapatas, termómetros, reglilla, tiza. Etc., elementos necesarios para realizar medidas en el campo.
9. Caja de transporte, especial para transportar el equipo de medida (péndulo inglés).

10. Banqueta, para asiento del operario durante la realización de las medidas en el campo.

### 3.7 Especificaciones técnicas del vehículo utilizado

Número de puertas		5	
Motor		Gasolina	
		1.2L VVT	
Sistema de tracción		2WD	
<b>DIMENSIONES</b>			
Largo	mm	3,85	
Ancho	mm	1,695	
Alto	mm	1,53	
Distancia entre ejes	mm	2,43	
Ancho de vía	Delantera	mm	1,490(15inch) / 1,480(16inch)
	Trasera	mm	1,495(15inch) / 1,485(16inch)
Giro mínimo de radio*	mm	4.8(15inch)	
Altura mínima del suelo	mm	170	
<b>CAPACIDADES</b>			
Capacidad de personas		personas	5
Capacidad de cajuela*	Max. volumen (sin / con techo corredizo)		litros 900/870
	Asientos inclinados traseros(VDA method)		litros 533
	Asientos normales (VDA method)		litros 210
Capacidad del tanque		litros	42
<b>MOTOR</b>			
Tipo		K12M	
Número de cilindros		4	
Número de valvulas		16	
Cilindraje	cm <sup>3</sup>	1,197	
Diámetro x carrera	mm	73.0×71.5	
Relación de Compresión		10.0	
Máxima potencia		kW/rpm	64/6,000
Máximo torque		N·m/rpm	114/4,000
Sistema de distribución		Inyección Multipunto	
<b>TRANSMISIÓN</b>			
Tipo		5MT	4AT
Giro de radio	1ra	3.545	2.875
	2da	1.904	1.568

	3ra	1.310	1.000
	4ta	0.969	0.697
	5ta	0.769	-
	Reversa	3.250	2.300
Final gear ratio		4.105	4.375
<b>CHASIS</b>			
Dirección		Rack & piñón	
Frenos		Disco Ventilado	
			r / Disc
Suspensión	Delantero	MacPherson con muelles helicoidales	
	Trasero	Barra de torsión con muelles helicoidales	
Llantas		165/80R14	
<b>PESO</b>			
Peso vacío (min./with full options)	kg	1,005/1,025	1,025/1,055
Peso bruto	kg	1480	
<b>RENDIMIENTO</b>			
Máxima velocidad	km/hr	170	165
0-100 km/hr*	secs	10.9	12.3

**CAPÍTULO IV**  
**INVESTIGACIÓN DE LA**  
**CORRELACIÓN DEL IFI Y**  
**DISTANCIA DE FRENADO**

## CAPÍTULO IV

### Investigación de la correlación del IFI con distancia de frenado

#### 4.1 Determinación de la correlación del IFI y la distancia de frenado

##### 4.1.1 Medidas de tendencia central

**Tabla 9. Medidas de tendencia central (distancia de frenado en seco).**

40			50			60			70		
Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)	Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)	Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)	Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)
2,5	1	1	4,3	2	2	5,5	1	1	6,9	1	1
3,0	1	2	4,5	2	4	5,7	1	2	7,1	1	2
3,5	1	3	4,6	1	5	5,8	1	3	7,4	1	3
3,7	1	4	4,8	1	6	6,5	1	4	7,6	1	4
3,9	1	5	5,2	1	7	6,6	1	5	7,8	1	5
4,2	1	6	6,2	1	8	6,7	1	6	8,1	1	6
4,5	1	7	6,5	1	9	7,2	1	7	8,2	1	7
4,6	1	8	6,6	2	11	9,5	1	8	13,5	1	8
4,7	1	9	6,7	1	12	9,8	1	9	13,6	1	9
5,0	2	11	7,2	2	14	10,3	1	10	15,3	1	10
5,1	1	12	7,3	1	15	10,4	2	12	15,4	2	12
5,2	3	15	7,4	3	18	10,5	1	13	15,7	1	13
5,3	2	17	7,5	1	19	10,6	1	14	16,2	2	15
5,4	3	20	7,6	1	20	10,8	3	17	16,5	1	16
5,5	2	22	7,8	1	21	10,9	1	18	16,8	1	17
5,6	1	23	9,9	1	22	11,1	1	19	17,0	2	19
5,7	3	26	11,1	2	24	11,2	1	20	17,1	1	20
6,0	1	27	11,2	1	25	12,3	1	21	17,3	1	21
6,1	1	28	11,3	1	26	12,7	1	22	18,3	1	22
8,2	1	29	11,4	2	28	13,5	2	24	18,5	2	24
8,4	1	30	11,5	1	29	13,6	2	26	18,6	1	25
8,6	2	32	11,7	1	30	13,7	1	27	19,2	1	26
8,7	1	33	12,1	1	31	14,0	1	28	19,5	1	27
9,0	1	34	12,2	1	32	15,2	1	29	19,6	2	29
9,1	1	35	12,5	2	34	15,3	1	30	19,9	2	31
13,5	2	37	12,6	1	35	15,7	1	31	20,5	2	33
13,6	1	38	19,2	1	36	15,8	1	32	20,7	1	34
13,8	1	39	19,3	1	37	15,9	1	33	20,9	1	35
14,0	1	40	19,4	1	38	16,1	2	35	46,2	1	36
14,2	1	41	19,5	1	39	25,0	1	36	47,7	1	37
14,3	1	42	20,2	1	40	25,3	1	37	47,8	1	38
			20,4	1	41	25,4	1	38	49,0	1	39
			21,4	1	42	26,2	1	39	49,7	1	40
						26,4	1	40	50,4	1	41
						26,5	1	41	52,7	1	42
						26,6	1	42			

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 10. Medidas de tendencia central (distancia de frenado húmedo).**

40			50			60			70		
Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)	Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)	Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)	Distancia de frenado (Df)	Frecuencia (f)	Frecuencia acumulada (F)
4,3	1	1	5,2	1	1	6,3	1	1	9,1	1	1
4,6	1	2	5,5	1	2	6,5	1	2	9,3	1	2
4,8	2	4	6,0	1	3	6,6	1	3	9,5	1	3
4,9	1	5	6,2	1	4	6,8	1	4	9,7	1	4
5,3	1	6	6,3	1	5	7,2	1	5	10,1	1	5
5,4	1	7	6,4	1	6	7,4	1	6	10,6	2	7
7,2	2	9	6,8	1	7	7,5	1	7	17,0	1	8
7,4	2	11	11,4	1	8	13,7	1	8	17,5	3	11
7,5	2	13	11,7	1	9	15,2	1	9	18,3	1	12
7,6	4	17	12,1	1	10	15,6	2	11	18,5	1	13
7,7	2	19	12,3	1	11	15,7	2	13	18,7	1	14
8,1	1	20	12,5	1	12	16,1	2	15	19,0	1	15
8,2	1	21	12,6	1	13	16,2	1	16	19,1	1	16
8,3	1	22	12,7	2	15	16,3	2	18	19,2	2	18
8,4	2	24	12,8	1	16	16,5	1	19	20,2	2	20
8,5	2	26	13,0	2	18	16,6	1	20	20,3	1	21
8,6	1	27	13,2	2	20	16,8	1	21	20,4	1	22
8,7	1	28	13,3	1	21	16,9	2	23	20,6	1	23
9,2	1	29	13,4	2	23	17,4	3	26	20,7	3	26
9,4	1	30	13,5	2	25	17,5	2	28	21,3	2	28
9,5	1	31	13,6	1	26	17,6	1	29	21,5	3	31
9,8	1	32	13,8	1	27	17,8	1	30	21,8	1	32
10,0	1	33	14,0	1	28	17,9	1	31	22,0	1	33
10,3	1	34	15,0	1	29	18,0	1	32	22,1	1	34
10,4	1	35	15,2	1	30	18,1	2	34	22,2	1	35
14,2	1	36	15,3	1	31	18,8	1	35			
15,5	1	37	15,5	1	32	29,8	1	36			
16,1	1	38	15,9	1	33	30,6	1	37			
16,4	1	39	16,2	1	34	30,8	1	38			
16,7	2	41	16,5	1	35	31,1	2	40			
17,0	1	42	23,0	1	36	31,3	1	41			
			23,1	1	37	31,4	1	42			
			23,3	1	38						
			23,5	1	39						
			23,6	1	40						
			24,7	1	41						
			25,4	1	42						

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2 Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{x_1 f_1 + x_2 f_2 + \dots + x_m f_m}{n} = \frac{\sum_i x_i f_i}{n}$$

<b>Media</b>		
<b>Vel. (km/hrr.)</b>	<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>
40	7,02	9,05
50	10,31	14,04
60	13,79	17,47
70	21,26	17,97

#### 4.1.3 Mediana

La mediana es el valor central de la muestra de datos

$$Me = \frac{x_{\frac{n}{2}} + x_{(\frac{n}{2}+1)}}{2}$$

O dependiendo de los datos puede ser mediana de tabulación discreta y se estima con la siguiente ecuación:

$$\frac{n}{2} < F_j \quad \frac{40}{2} = 20 < 21$$

<b>Mediana</b>		
<b>Vel. (km/hrr.)</b>	<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>
40	5,6	8,5
50	11,1	13,4
60	12,5	16,7
70	17,3	19,1

#### 4.1.4 Moda

La moda es el valor que ocurre con mayor frecuencia. De tal manera tenemos:

<b>Moda</b>		
<b>Vel. (km/hrr.)</b>	<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>
40	∅	7,6
50	7,4	∅
60	10,8	∅
70	∅	∅

#### 4.1.5 Rango

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

$$R = 2,360 - 2,352 = 0,008$$

<b>Rango</b>						
<b>Vel. (km/hrr.)</b>	<b>Seco</b>			<b>Húmedo</b>		
	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Δ</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Δ</b>
40	2,5	14,3	11,8	4,3	17,0	12,7
50	7,3	21,4	17,1	5,2	25,4	20,2
60	5,5	26,6	21,1	6,3	31,4	25,1
70	5,9	52,7	45,8	9,1	22,2	13,1

Al observar el resultado de la diferencia de los datos máximos y mínimos, se puede observar que existe dispersión entre los datos, para que los datos sean homogéneos los valores extremos deben ser similares, cercanos. La distancia de frenado a 40 km/hr en superficie seca es un parámetro que no tiene mucha dispersión de sus datos, las otras distancias de frenado cuentan con más dispersión, siendo la 70 km/hr en suelo seco con el valor con más dispersión.

#### 4.1.6 Desviación media

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n}$$

<b>Vel. (km/hrr.)</b>	<b>Desviación media (DM)</b>	
	<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>
40	0,17	0,21
50	0,49	0,11
60	0,18	0,17
70	0,52	1,83

#### 4.1.7 Varianza

##### 4.1.7.1 Poblacional

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 f_i}{n}$$

<b>Vel. (km/hrr.)</b>	<b>Varianza poblacional (S<sup>2</sup>)</b>	
	<b>Seco</b>	<b>Húmedo</b>
40	56,46	61,23
50	181,94	246,33
60	382,51	542,07
70	4112,09	114,13

##### 4.1.7.2 Muestral

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 f_i}{n-1}$$

Vel. (km/hrr.)	Varianza muestral ( $\sigma^2$ )	
	Seco	Húmedo
40	57,84	62,24
50	186,37	252,34
60	391,84	555,29
70	4212,38	117,49

La varianza se interpreta como una medida de cuán diversos son los datos obtenidos

#### 4.1.8 Desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

Vel. (km/hrr.)	Desviación estándar muestral ( $\sigma$ )	
	Seco	Húmedo
40	7,60	7,92
50	13,65	15,88
60	19,79	23,56
70	64,90	10,83

Por tanto, el error estándar es como se muestra en el cuadro anterior respectivamente, estos valores permiten conocer la ubicación de nuestros datos con respecto a la media, cuándo no se explica que varianza se utiliza, se toma el valor de la varianza muestral.

#### 4.1.9 Coeficiente de variación

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100\%$$

Vel. (km/hrr.)	Coeficiente de variación (CV)	
	Seco	Húmedo
40	108,27	87,54
50	132,42	113,15
60	143,56	134,91
70	305,24	60,31

## 4.2 Dispersión de puntos

**Tabla 11. Puntos levantados (superficie seca).**

Nro.	IFI	Distancia de Frenado a partir de la velocidad en km/hr			
		40	50	60	70
1	0,32	5,2	7,2	9,8	13,6
2	0,38	5,6	7,5	9,5	13,5
3	0,37	5,7	7,4	10,8	15,4
4	0,35	5,5	7,4	10,6	15,3
5	0,36	5,7	6,5	11,1	16,5
6	0,39	5,5	6,6	10,8	16,2
7	0,32	6,1	7,8	12,3	15,7
8	0,36	5,3	9,9	15,9	19,9
9	0,47	5,2	11,1	15,8	19,6
10	0,46	4,7	11,4	16,1	19,9
11	0,37	4,6	11,5	15,2	20,5
12	0,45	5,0	11,3	15,7	20,9
13	0,47	5,1	11,1	15,3	20,5
14	0,37	5,4	11,4	16,1	20,7
15	0,25	5,2	6,2	10,4	18,5
16	0,23	5,4	7,4	10,5	18,6
17	0,25	5,0	6,6	10,3	18,5
18	0,24	5,4	7,3	10,9	19,2
19	0,24	5,7	7,6	10,4	18,3
20	0,25	5,3	7,2	10,8	19,5
21	0,25	6,0	6,7	11,2	19,6
22	0,44	8,2	12,1	13,6	17,0
23	0,30	8,4	12,5	13,5	16,2
24	0,33	9,0	12,5	13,6	17,1
25	0,39	8,6	11,7	13,5	15,4
26	0,32	8,6	11,2	12,7	16,8
27	0,32	9,1	12,6	13,7	17,0
28	0,39	8,7	12,2	14,0	17,3
29	0,40	14,3	21,4	26,6	52,7
30	0,43	13,8	20,4	25,3	50,4
31	0,39	13,6	20,2	25,4	49,7
32	0,40	14,2	19,3	26,2	47,8
33	0,41	14,0	19,5	25,0	49,0
34	0,41	13,5	19,2	26,5	47,7
35	0,38	13,5	19,4	26,4	46,2
36	0,55	2,5	4,3	5,5	6,9
37	0,66	3,0	4,6	5,8	7,4
38	0,72	3,5	5,2	6,7	8,1
39	0,58	4,2	4,8	7,2	7,8
40	0,58	3,7	4,5	6,6	7,1
41	0,59	3,9	4,3	5,7	8,2
42	0,61	4,5	4,5	6,5	7,6

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 12. Puntos levantados (superficie húmeda).**

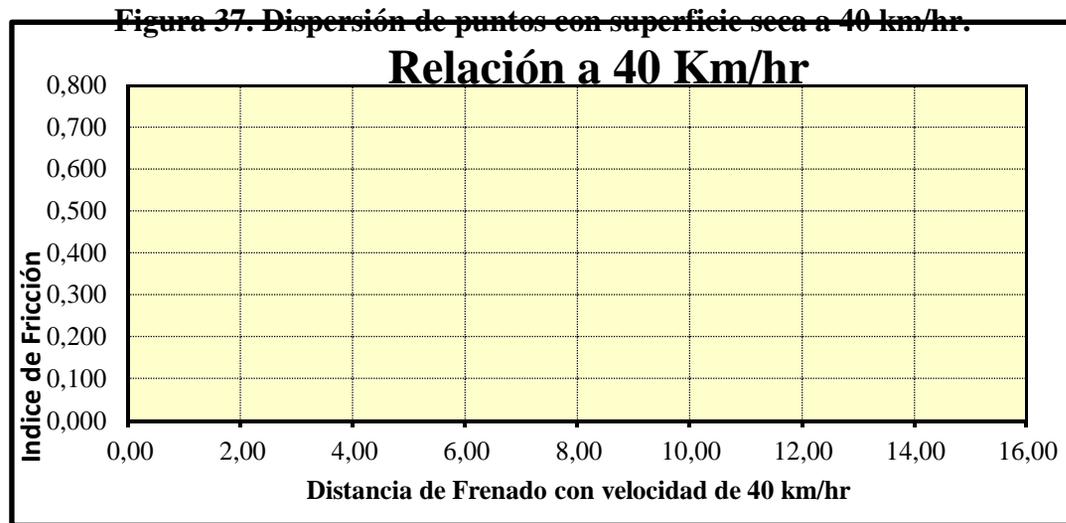
Nro.	IFI	Distancia de Frenado a partir de la velocidad en km/hr			
		40	50	60	70
1	0,32	7,6	12,3	16,8	17,5
2	0,38	7,6	11,7	16,2	17,5
3	0,37	7,7	13,5	17,9	19,2
4	0,35	7,6	13,4	18,0	18,7
5	0,36	8,2	12,8	18,1	20,4
6	0,39	8,4	13,2	18,8	20,2
7	0,32	7,4	11,4	16,3	20,2
8	0,36	7,3	15,0	17,6	21,5
9	0,47	7,3	15,2	17,5	21,8
10	0,46	7,4	15,9	16,9	22,2
11	0,37	7,5	15,3	16,3	22,1
12	0,45	7,5	15,5	16,6	22,0
13	0,47	7,7	16,5	15,6	21,3
14	0,37	7,6	16,2	16,1	21,5
15	0,25	8,4	13,0	17,8	20,7
16	0,23	8,7	12,1	17,5	21,5
17	0,25	8,1	12,7	17,4	20,7
18	0,24	8,3	13,0	16,9	20,3
19	0,24	8,5	13,4	17,4	20,7
20	0,25	9,2	12,7	18,1	20,6
21	0,25	8,5	12,5	17,4	21,3
22	0,44	9,8	13,8	16,1	17,5
23	0,30	9,5	13,6	15,6	18,3
24	0,33	9,4	14,0	15,7	19,2
25	0,39	8,6	13,5	16,5	18,5
26	0,32	10,3	13,3	15,7	19,1
27	0,32	10,0	12,6	13,7	17,0
28	0,39	10,4	13,2	15,2	19,0
29	0,40	16,7	23,0	31,4	-
30	0,43	16,1	23,1	31,1	-
31	0,39	14,2	23,5	30,8	-
32	0,40	15,5	23,6	31,3	-
33	0,41	16,4	24,7	31,1	-
34	0,41	16,7	23,3	30,6	-
35	0,38	17,0	25,4	29,8	-
36	0,55	4,3	5,2	6,6	9,1
37	0,66	4,8	6,0	7,4	9,7
38	0,72	5,3	6,2	7,2	10,1
39	0,58	4,8	6,3	6,5	9,3
40	0,58	4,9	5,5	6,3	9,5
41	0,59	4,6	6,4	6,8	10,6
42	0,61	5,4	6,8	7,5	10,6

**Fuente: Elaboración propia.**

En la gráfica de dispersión de datos se debe ordenar la variable independiente (distancia de frenado en seco y húmedo) en el eje x o eje de abscisas, y la variable dependiente (IFI) en el eje y o eje de las ordenadas.

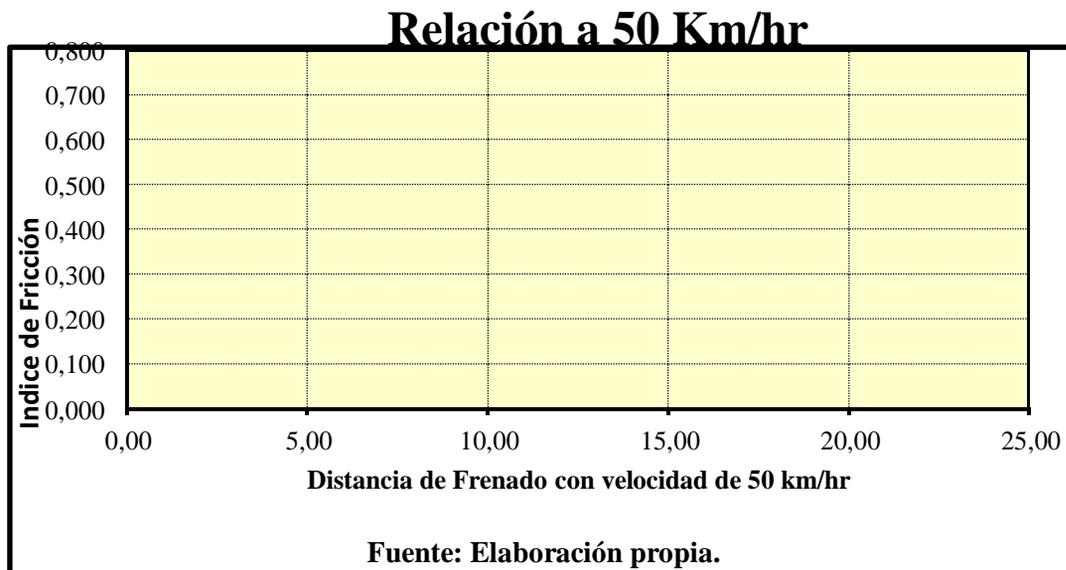
Al conjunto de puntos que se forman se lo llama nube de puntos.

En la nube de puntos formada con los datos de la distancia de frenado y el índice de fricción internacional (IFI) se puede ver que tiene una forma de arco invertido, lo que quiere decir que a medida que X es mayor, Y va de mayor a menor y nuevamente a mayor. A continuación, mostramos las gráficas con las nubes de puntos:



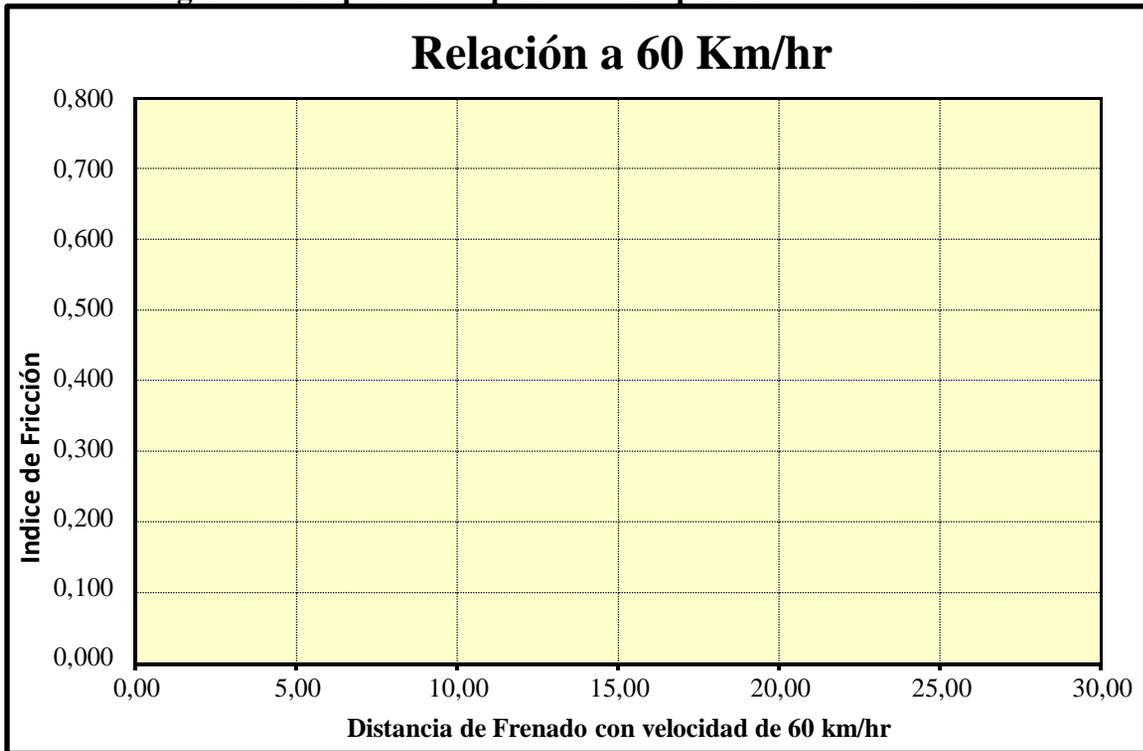
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 38. Dispersión de puntos con superficie seca a 50 km/hr.**



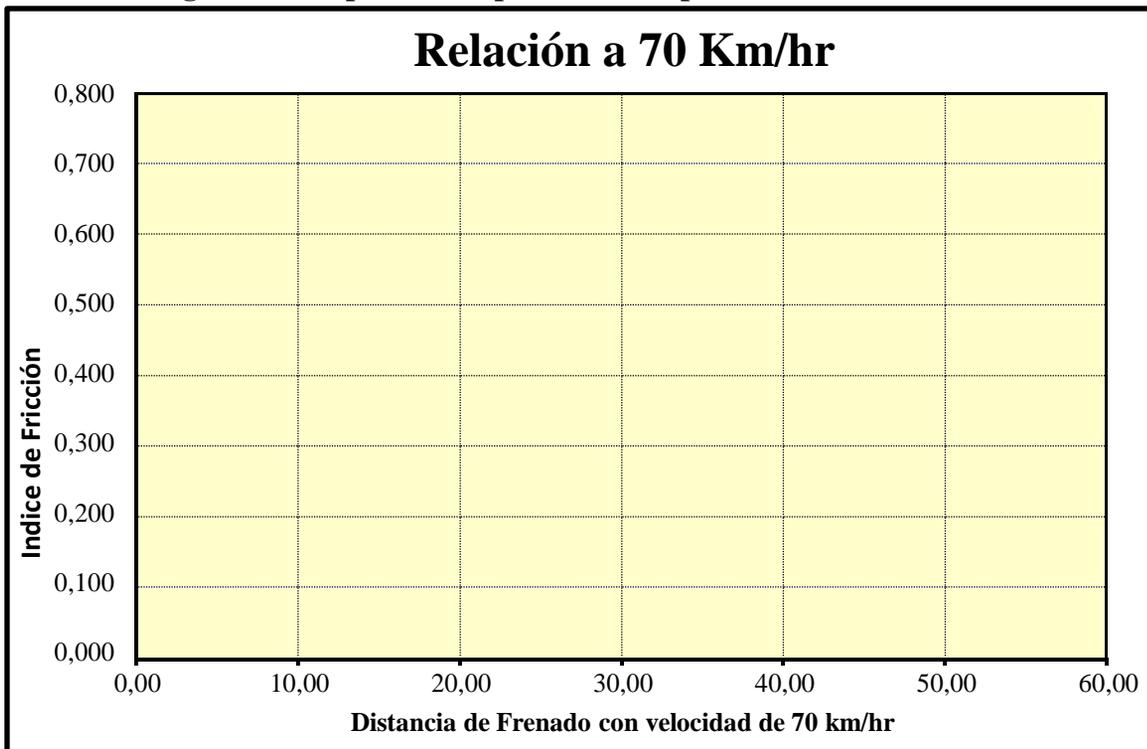
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39. Dispersión de puntos con superficie seca a 60 km/hr.**



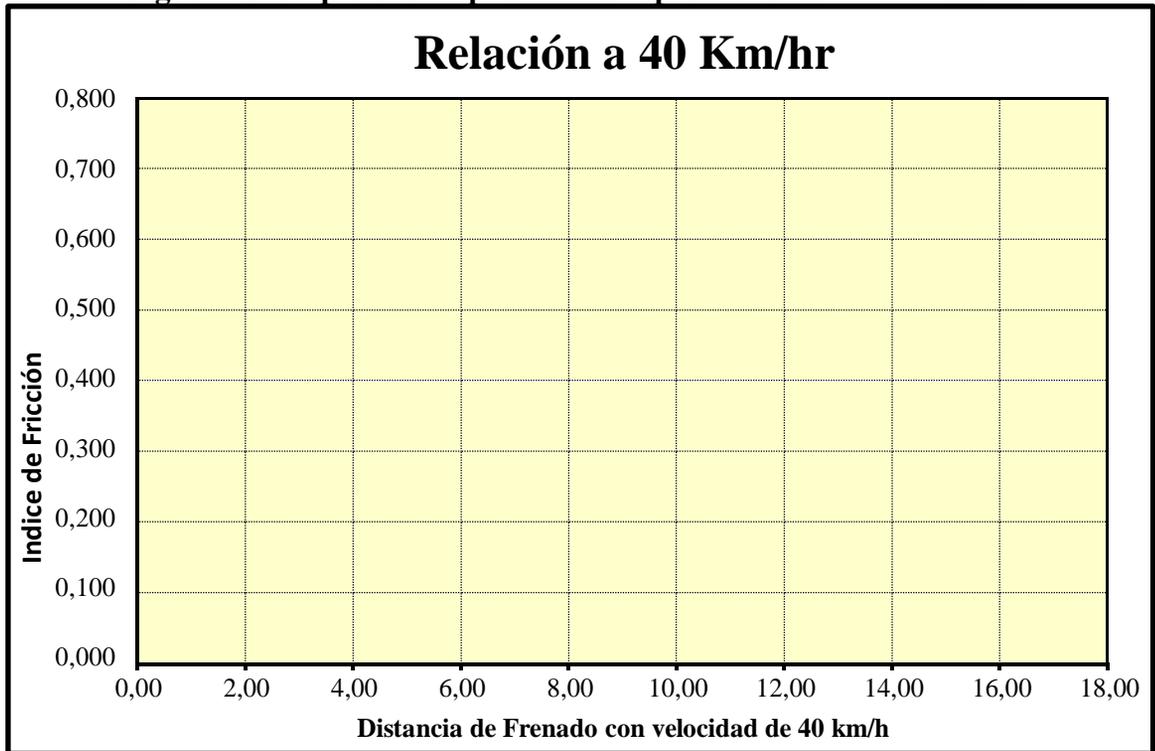
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 40. Dispersión de puntos con superficie seca a 70 km/hr.**



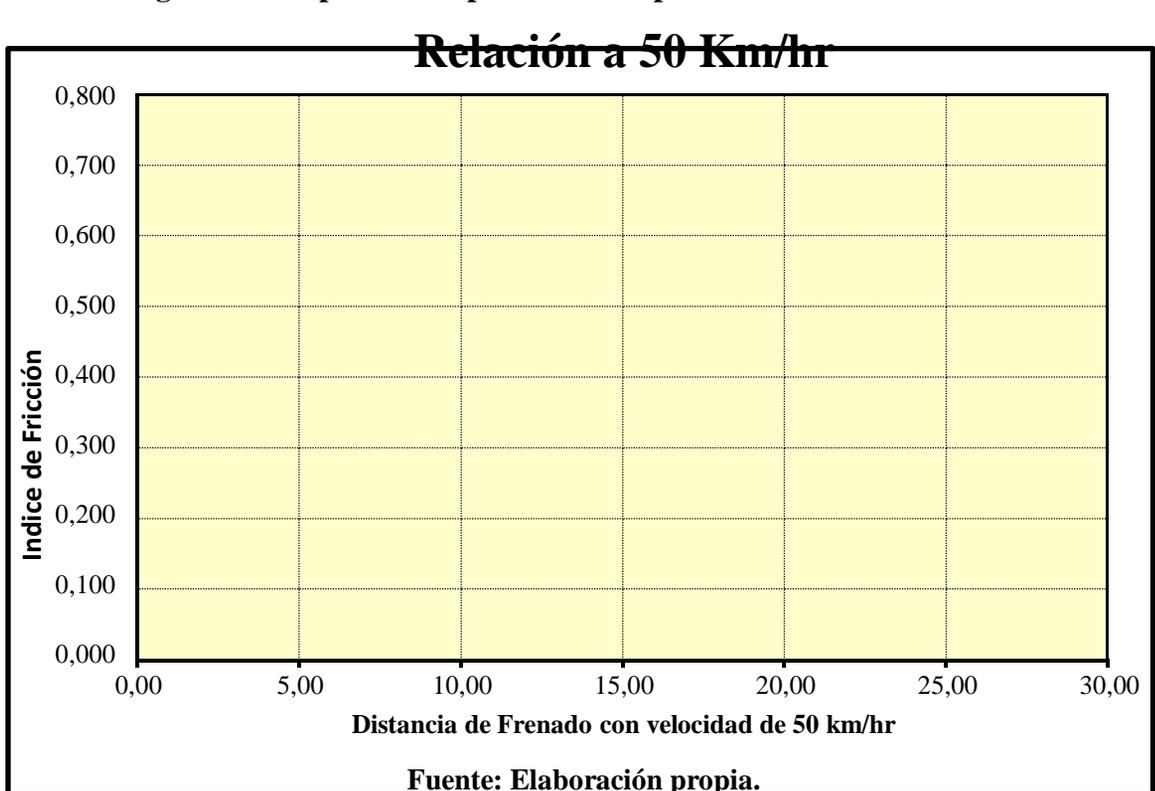
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 41. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 40 km/hr.**



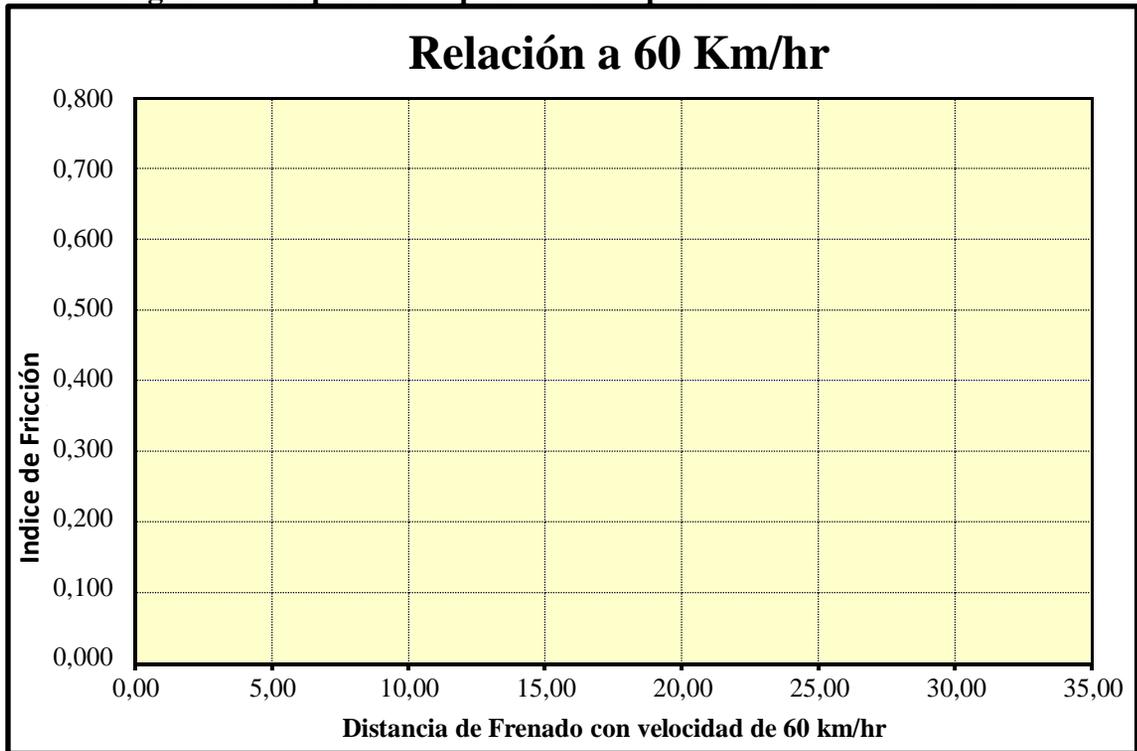
**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 42. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 50 km/hr.**



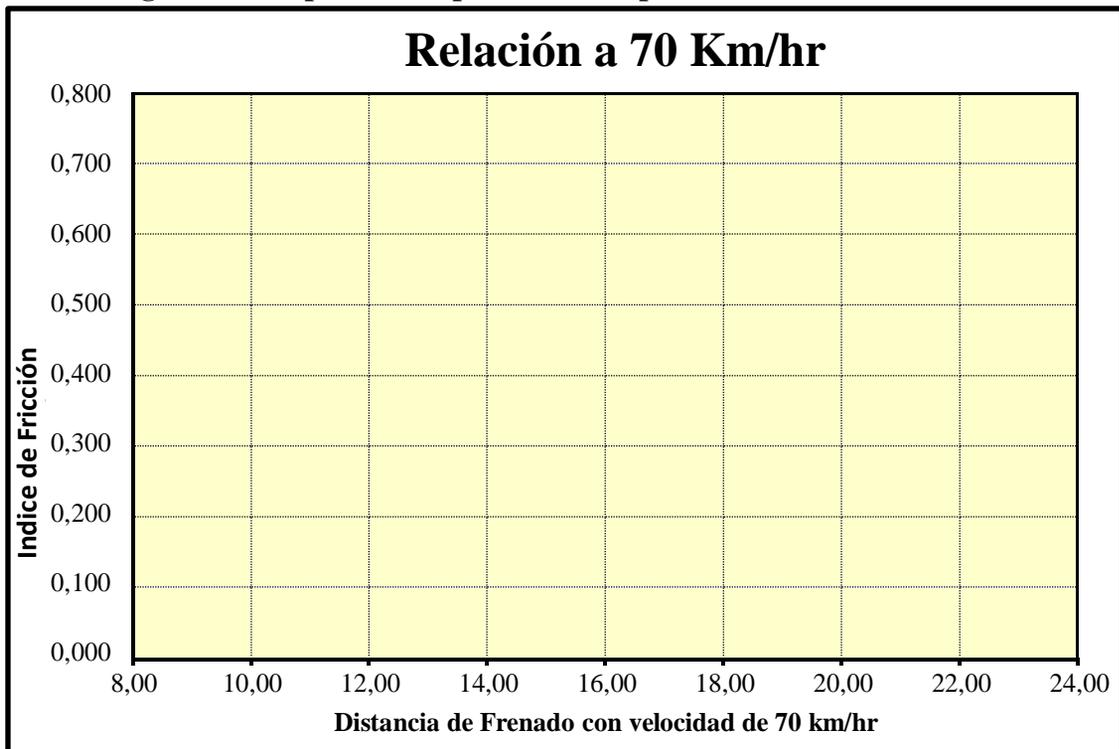
**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura 43. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 60 km/hr.**



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 44. Dispersión de puntos con superficie húmeda a 70 km/hr.**



Fuente: Elaboración propia.

### 4.3 Elección del modelo de mayor ajuste

Un modelo de regresión, es una manera de expresar dos ingredientes esenciales de una relación estadística:

Una tendencia de la variable dependiente Y a variar conjuntamente con la variación de la o las X de una manera sistemática.

Una dispersión de las observaciones alrededor de la curva de relación estadística.

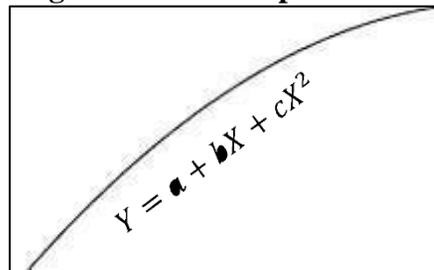
Estas dos características están implícitas en un modelo de regresión, postulando que:

En la población de observaciones asociadas con el proceso que fue muestreado, hay una distribución de probabilidades de Y para cada nivel de X.

Las medias de estas distribuciones varían de manera sistemática al variar X.

Suele suceder que al dibujar la nube de puntos correspondiente a  $n$  observaciones, se observa una tendencia no rectilínea, pero a la cual se le puede ajustar un modelo teórico conocido. Dentro de la familia de modelos, es de aplicación común el ajuste regresivo polinómico de grado  $S$  «  $S \geq 2$  »

**Figura 45. Modelo polinómico.**



**Fuente: Statgraphics.**

Al fijarse en nuestra nube de puntos se puede notar que se debe realizar un ajuste no lineal. Para nuestros datos se procede a realizar el ajuste a un modelo de regresión como es el polinómico, por medio del método de mínimos cuadrados, en donde la ecuación será la siguiente:

$$Y = a + bX + cX^2$$

De la aplicación del programa computacional statgraphics, tenemos los siguientes resultados:

**Tabla 13. Constantes de las ecuaciones correlacionadas.**

Vel. (Km/hrr.)	Valores de las constantes de las ecuaciones					
	Superficie seca			Superficie húmeda		
	a	b	c	a	b	c
40	0,910384	-0,135048	0,00716756	1,1908	-0,156536	0,0066475
50	0,70456	-0,0565916	0,00211388	0,947061	-0,0732074	0,00213157
60	0,839453	-0,0597206	0,0016782	0,94201	-0,0572445	0,00128744
70	0,83001	-0,0373653	0,000582597	1,44371	-0,113608	0,00291681

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics.

Las ecuaciones resultantes de la regresión polinómica se muestran en el cuadro a continuación:

**Tabla 14. Ecuaciones correlacionadas.**

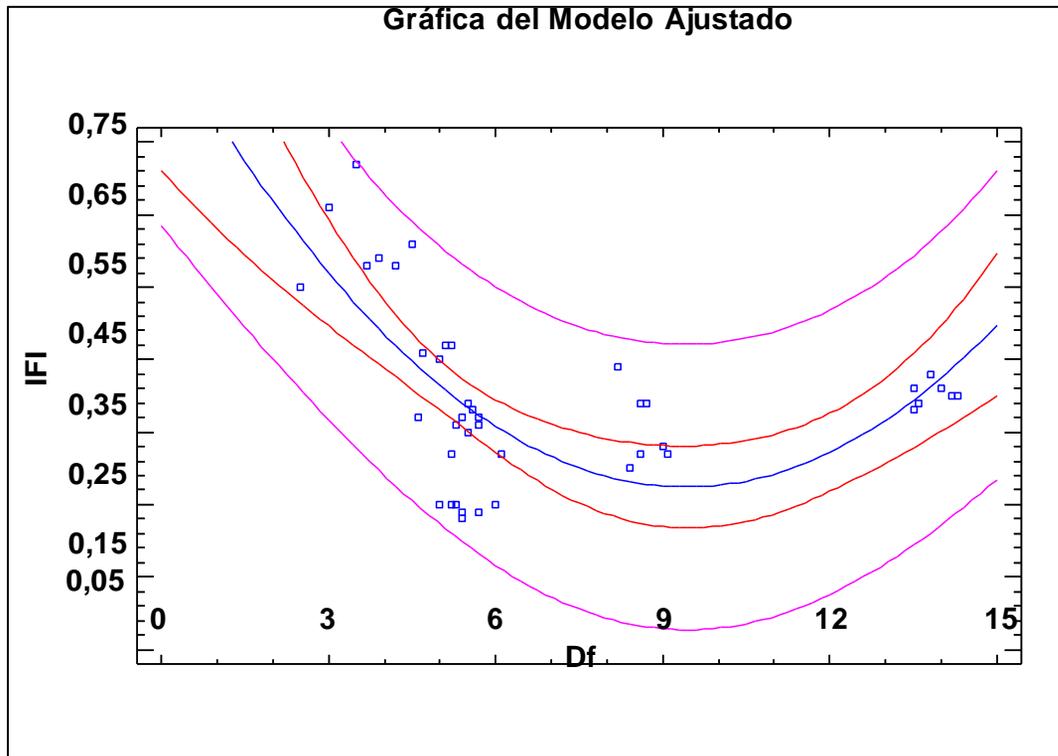
Vel. (Km/hrr.)	Valores de las constantes de las ecuaciones	
	Superficie seca	Superficie húmeda
40	$IFI = 0,910384 - 0,135048 * Df + 0,00716756 * Df^2$	$IFI = 1,1908 - 0,156536 * Df + 0,0066475 * Df^2$
50	$IFI = 0,70456 - 0,0565916 * Df + 0,00211388 * Df^2$	$IFI = 0,947061 - 0,0732074 * Df + 0,00213157 * Df^2$
60	$IFI = 0,839453 - 0,0597206 * Df + 0,0016782 * Df^2$	$IFI = 0,94201 - 0,0572445 * Df + 0,00128744 * Df^2$
70	$IFI = 0,83001 - 0,0373653 * Df + 0,000582597 * Df^2$	$IFI = 1,44371 - 0,113608 * Df + 0,00291681 * Df^2$

Fuente: Elaboración propia, Statgraphics.

Para el tipo de información como es el del DCa versus D, E y F, se aplica este tipo de modelo:

**Graficas de modelo ajustado para superficie seca.**

**Figura 46. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 40 km/hr.**



Fuente: Elaboración propia. STATGRAPHICS.

Figura 47. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 50 km/hr.

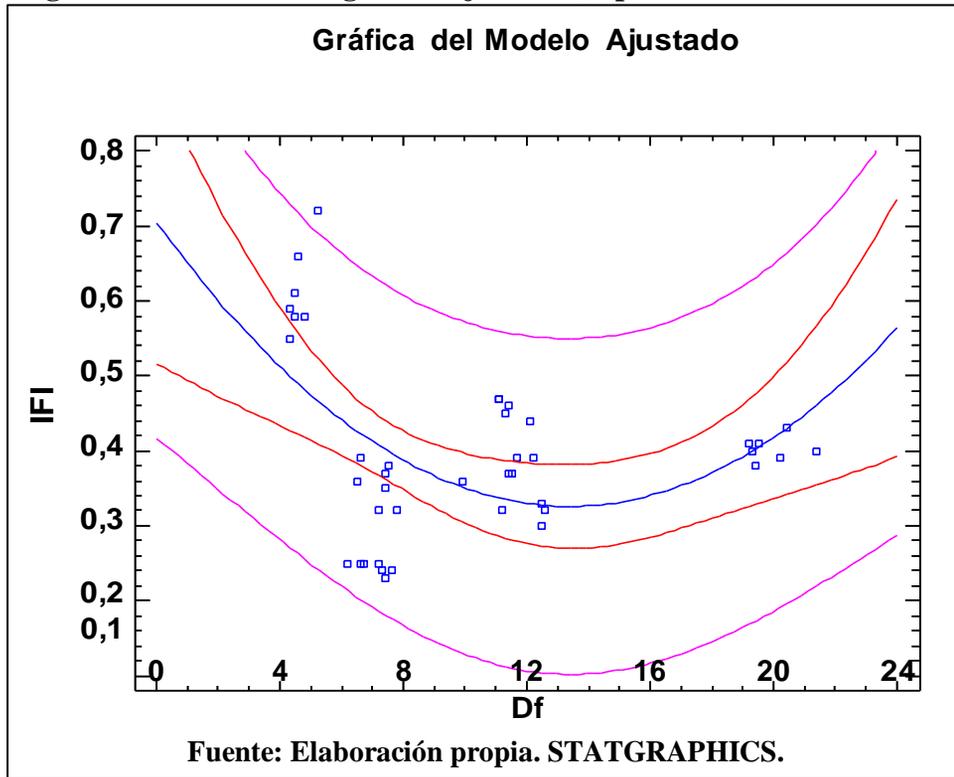


Figura 48. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 60 km/hr.

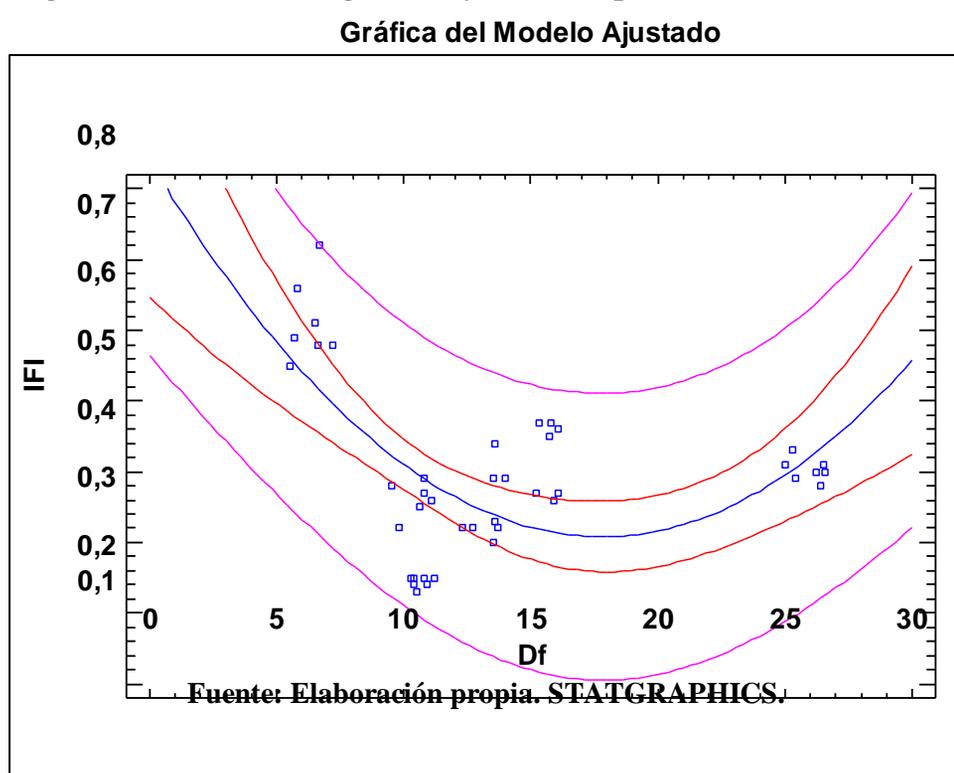
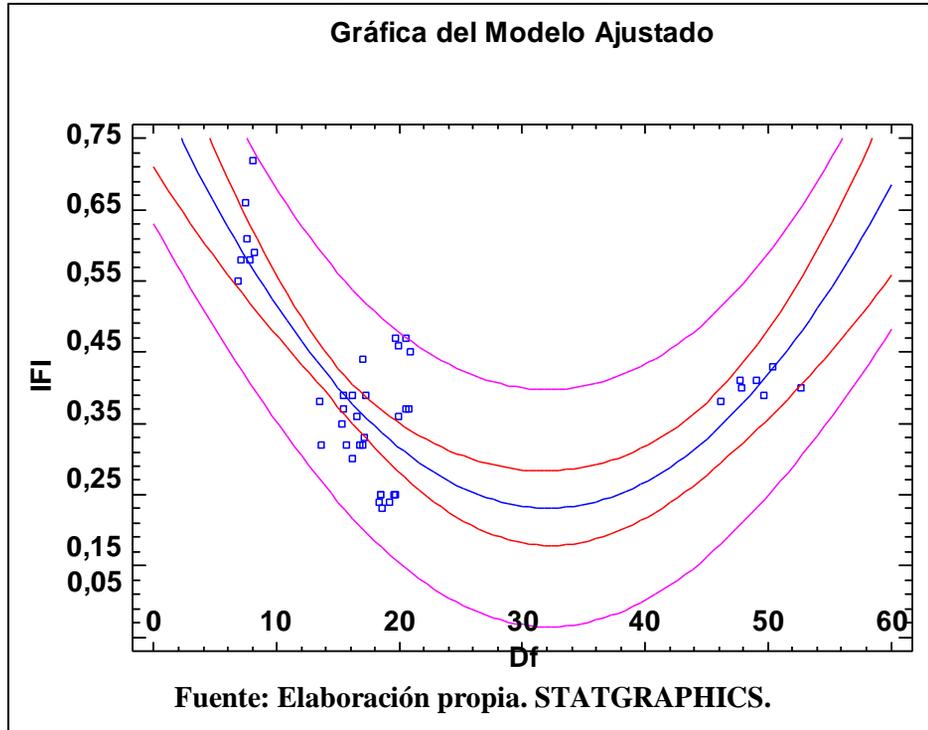


Figura 49. Modelo de regresión ajustado (superficie seca) a 70 km/hr.



Graficas de modelo ajustado para superficie húmeda.

Figura 50. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 40 km/hr.

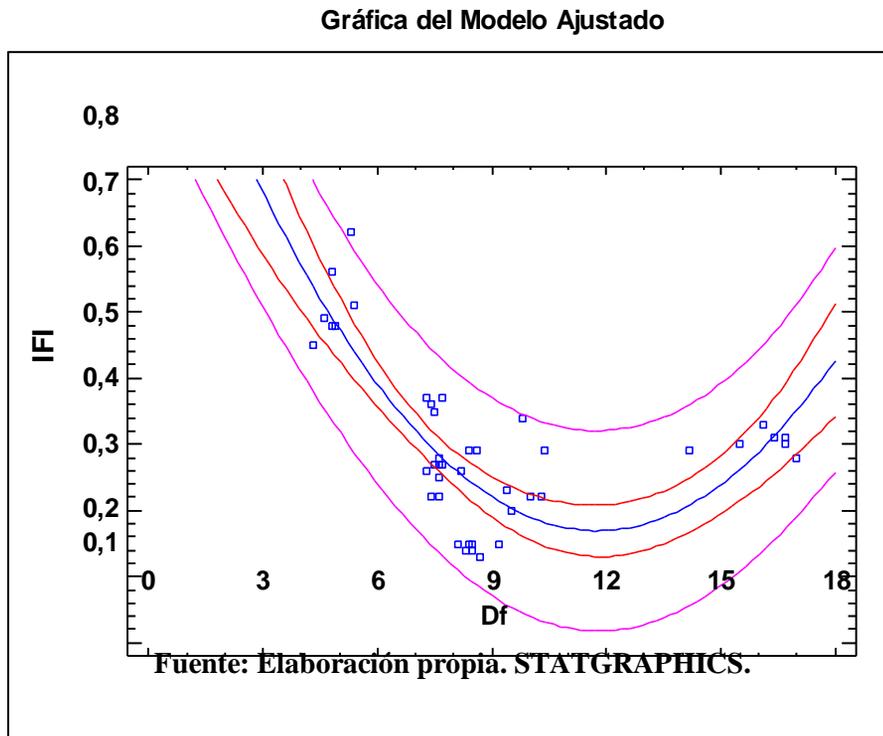


Figura 51. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 50 km/hr.

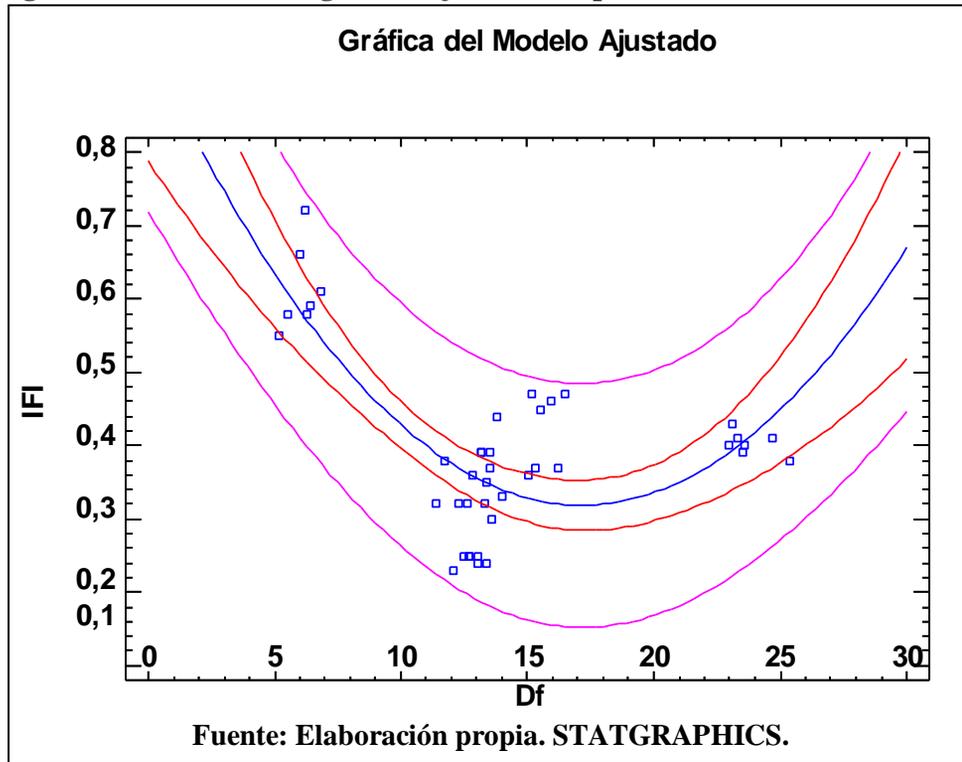
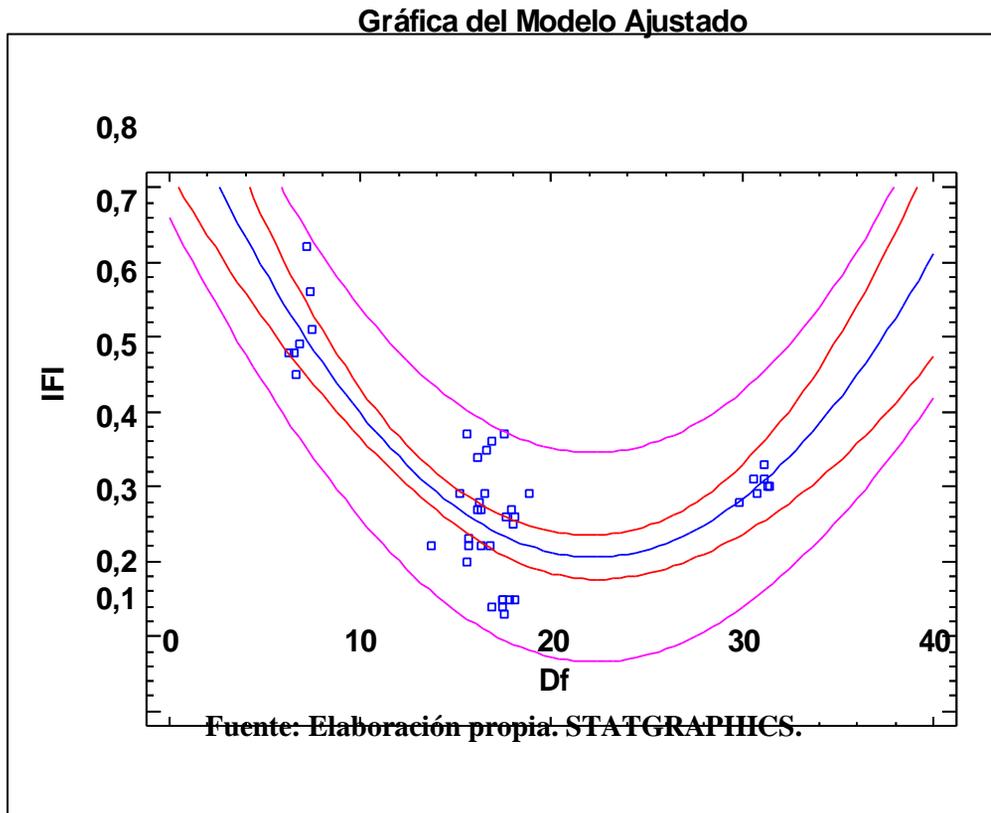
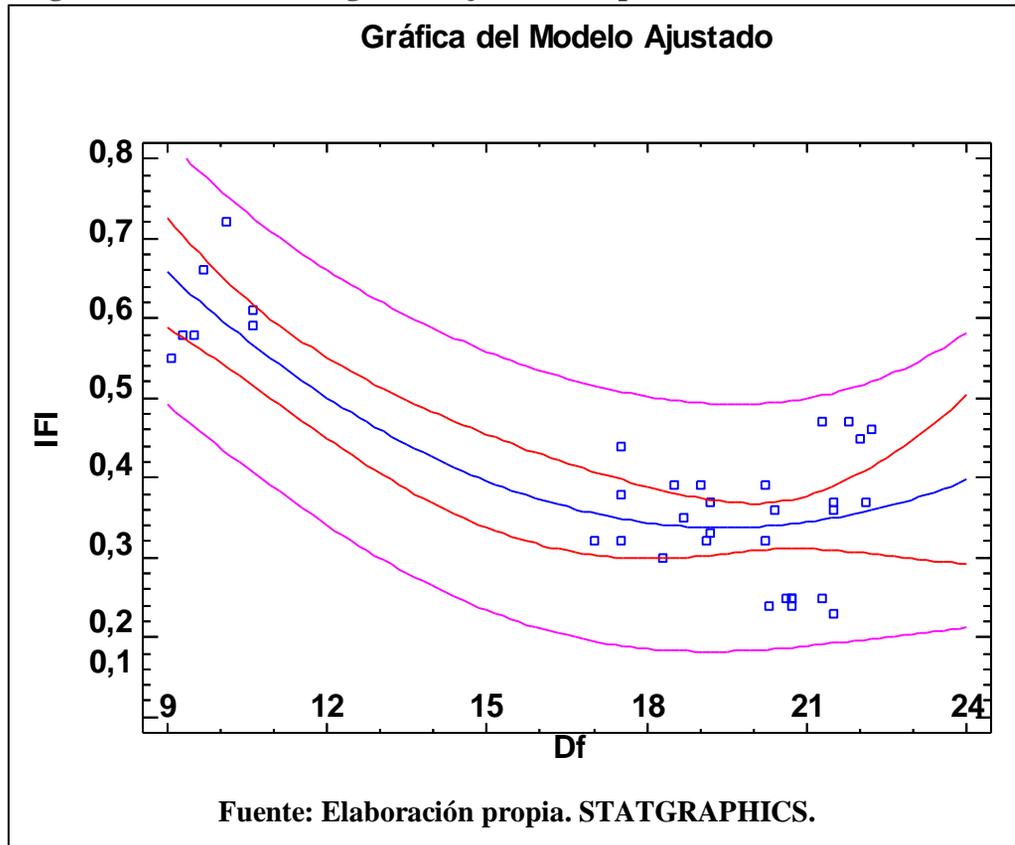


Figura 52. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 60 km/hr.



**Figura 53. Modelo de regresión ajustado (superficie húmeda) a 70 km/hr.**



#### 4.4 Análisis de correlación

Un análisis de correlación trata de establecer el grado de relación entre dos variables, decir trata de medir cuán dependiente es una variable de la otra.

Se asume que existe correlación entre dos variables, cuando es evidente que al variar una de ellas, también se produce variación de la otra.

##### 4.4.1 Coeficiente de correlación

Es un número que varía entre -1 y +1, se usa para medir el grado de relación existente entre las variables.

Vel. (Km/hrr.)	Coeficiente de correlación "r" (%)	
	Seco	Húmedo
40	64,01	80.36
50	47,05	74,99
60	60,04	83.08
70	76,56	83,18

Lo que nos indica que la relación existente entre las variables es buena, porque una correlación excelente esta entre 0,6 – 1,0. Aunque una de las mediciones está por debajo de 60, con solo 47.05 siendo de poca relación.

#### 4.4.2 Coeficiente de determinación

Es el cuadrado del coeficiente de correlación, es un número positivo que varía entre 0 y 1, permite indicar el grado de certeza con que una variable depende de la otra, este coeficiente multiplicado por 100 y redondeado, es la certeza de en qué porcentaje los valores de Y dependen de los valores de X.

Para nuestro estudio se tiene un coeficiente de determinación:

Vel. (Km/hrr.)	Coeficiente de determinación “R <sup>2</sup> ”	
	Seco	Húmedo
40	0,4109	0,6459
50	0,2214	0,5624
60	0,3606	0,6903
70	0,5862	0,781

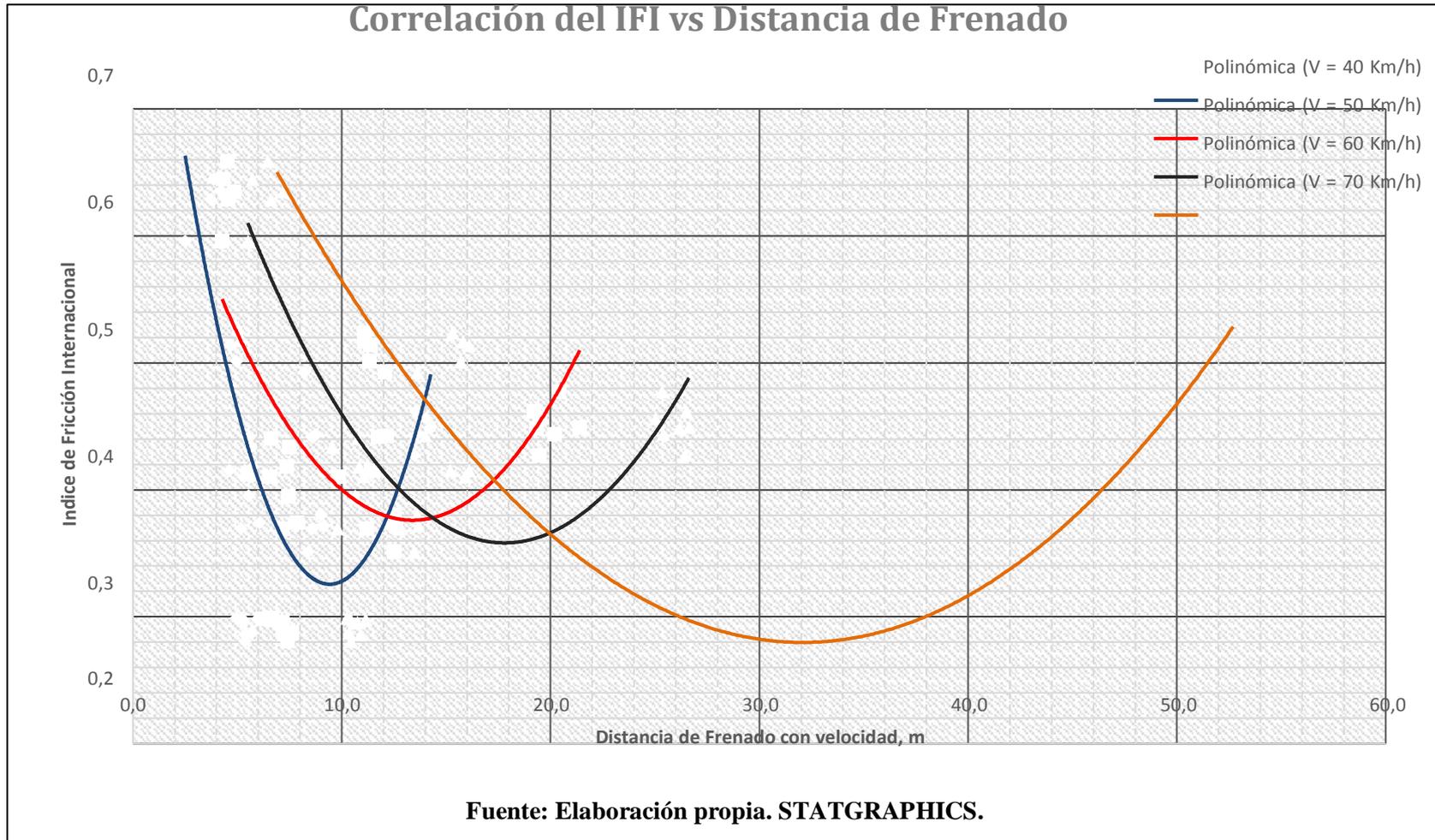
Que en porcentaje nos da:

Vel. (Km/hrr.)	Coeficiente de determinación “R <sup>2</sup> ” (%)	
	Seco	Húmedo
40	41,0919	64,5945
50	22,1416	54,2441
60	36,0624	69,0349
70	58,6219	78,09

Lo que nos indica que el valor Y (índice de fricción internacional) depende en un 41,0919 % respectivamente de la variable X (distancia de frenado). Para el caso de la superficie seca y velocidad de 40 Km/hrr., así mismo de los otros resultados como se muestra en el cuadro anterior.

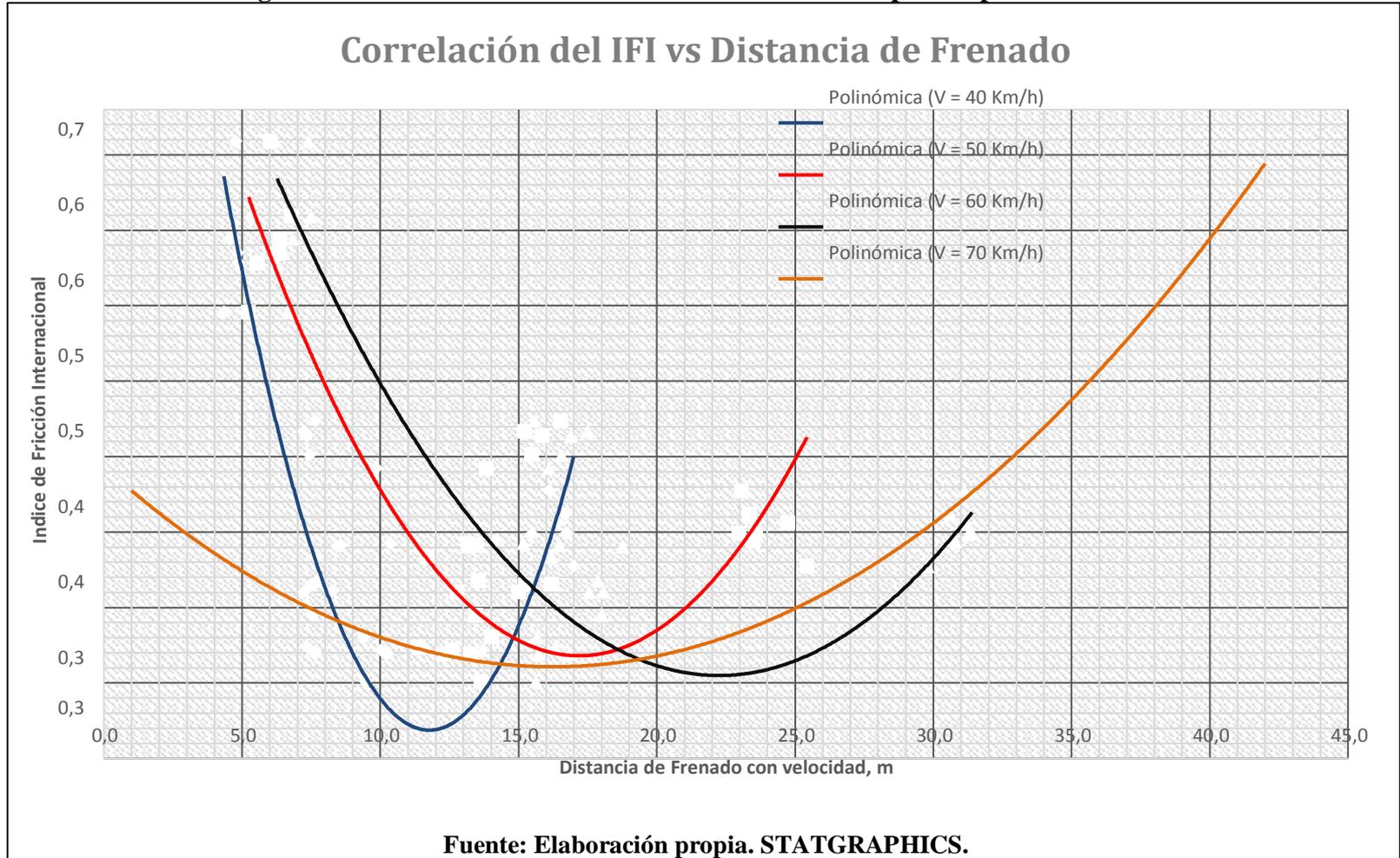
#### 4.4.3 Gráfica de resultados superficie seca

Figura 54. Correlación del IFI vs. distancia de frenado para superficie seca.



#### 4.4.4 Gráfica de resultados superficie húmeda

Figura 55. Correlación del IFI vs. distancia de frenado para superficie húmeda.



**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

La principal ventaja es que se tendrá una escala común de valores de fricción y textura, denominado IFI, en la que se engloben los resultados de medidas de fricción en pavimentos de carreteras y aeropuertos con una precisión aceptable.

Este índice puede ser utilizado como parámetro de evaluación superficial para incrementar la seguridad de la operación vehicular.

Las constantes pueden variar con respecto al tiempo, así que será necesario hacer una calibración anual (como mínimo) con alguno de los equipos participantes.

El ajuste de las lecturas realizadas (textura, densidad) a una curva se encontró que la curva polinómica de segundo grado es la que mejor se ajusta a la nube de puntos graficados en un eje de coordenadas en la que el eje y u ordenada (eje vertical) se encuentra la variable dependiente (velocidad y distancia de frenado) y en el eje X o abscisa (eje horizontal) se encuentra la variable independiente (IFI).

Se comprueba la correlación existente entre el índice de fricción internacional y la distancia de frenado. Se obtuvo un ajuste a la curva del tipo polinómica de segundo grado, con la que se cuenta con coeficiente de correlación regulares (0,4 – 0,8).

En tanto para los objetivos específicos se tiene:

Se realizó los ensayos de fricción con método del péndulo inglés en todas las vías que forman parte de este proyecto, de acuerdo a la norma.

Se realizó los ensayos de medición de la macro-textura, en las calles y avenidas en cuestión bajo la norma correspondiente (ASTM D 965).

Se midió la distancia de frenado de un vehículo liviano con neumáticos en buenas condiciones (semi-nuevo).

Se midió la distancia de frenado de un vehículo liviano generada sobre una superficie seca y húmeda, a diferentes velocidades.

Se determinó el rango de rugosidades en qué estado se encuentran los pavimentos flexibles de las vías en estudio.

Se hizo un análisis de los resultados obtenidos a partir de las mediciones a realizar de los diferentes ensayos de laboratorio.

Se estableció graficas de correlación entre IFI y distancia de frenado.

## **5.2 Recomendaciones**

Realizar más investigación para adquirir la sensibilidad en cuanto al criterio de interpretación de los datos, y así también establecer diversos umbrales de intervención dependiendo del tipo o clase de carretera que estemos evaluando.

Debería estudiarse como afecta la forma de la textura a la fricción, para conocer que propiedades de la textura se relacionan mejor con la fricción. La profundidad de la textura podría no ser la mejor medida para los modelos de fricción.

Estudiar los equipos de medida de fricción y textura para conocer su grado de sensibilidad a la velocidad.

Realizar un estudio con diversas superficies de rodamiento (con diferentes materiales o texturas), tales como: concreto asfáltico, concreto hidráulico y diversos tipos de tratamientos superficiales que se aplican en el país.

Las aplicaciones de las ecuaciones generadas en esta investigación son restringidas a un cierto periodo de tiempo, que podrían ser entre 3 – 5 años e incluso tal vez un poco más, mucho dependerá de las cargas de tráfico a la que ésta se someta, a los agentes atmosféricos, etcétera que podrían dañar la su estructura y por consiguiente alterar sus características mecánicas y textura superficial.

Para la aplicabilidad de estas ecuaciones se debe seguir con las especificaciones de la metodología del círculo de arena, es decir, a momento de las mediciones del diámetro del círculo de arena, basándose estrictamente en dicho método.

Por otro parte se tiene las siguientes recomendaciones de seguridad durante la recolección de datos.

Realizar una buena recolección de información para que el tema de investigación se encuentre sustentado.

Usar la protección necesaria para realizar los trabajos de medición de distancia de frenado, círculo de arena y péndulo inglés.

