

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA EN LA SUPERFICIE
DEL PAVIMENTO,
CARRETERA CAÑETE - CHUPACA
POLÍTICA DE MANTENIMIENTO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CLEVER FUSTAMANTE FUENTES

Lima- Perú

2011

El presente trabajo lo dedico a mis padres, Norma y Edilberto que son el motor que me permite seguir creciendo, a mis hermanos Nilsson, Sandra e Ivan por su apoyo y comprensión y a quienes siempre me han apoyado y valorado el esfuerzo y dedicación.

INDICE

| | |
|------------------------------------------------------------------------|----------|
| RESUMEN | 3 |
| LISTA DE CUADROS | 4 |
| LISTA DE FIGURAS | 5 |
| LISTA DE SIMBOLOS Y DE SIGLAS | 7 |
| | |
| INTRODUCCIÓN | 9 |
| | |
| CAPITULO I: MACROTEXTURA EN PAVIMENTOS | |
| 1.1 ASPECTOS GENERALES | 11 |
| 1.1.1 Antecedentes | 11 |
| 1.1.2 Características | 12 |
| 1.1.3 Ubicación | 13 |
| 1.1.4 Clima | 15 |
| 1.1.5 Aspectos Geológicos y Procesos Geodinámicas | 15 |
| 1.1.6 Estudio de Tráfico | 17 |
| 1.1.7 Estado Actual | 20 |
| 1.2 METODOS DE MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TEXTURA – MACROTEXTURA | 21 |
| 1.2.1 Métodos Volumétricos | 22 |
| 1.2.2 Perfilómetros | 23 |
| 1.2.3 Correlación entre los métodos | 28 |
| 1.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA ADHERENCIA DEL NEUMÁTICO AL PAVIMENTO | 28 |
| 1.3.1 Superficie del pavimento | 29 |
| 1.3.2 Tránsito | 34 |
| 1.3.3 Clima | 37 |
| 1.4 INDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL | 37 |
| 1.4.1 Calculo del índice de fricción internacional | 38 |
| 1.4.2 Equipos para evaluar el coeficiente de fricción | 43 |

**CAPITULO II: FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO DEL
PAVIMENTO**

| | |
|--------------------------------|----|
| 2.1. AUSENCIA DE MANTENIMIENTO | 46 |
| 2.2. SOLICITACION POR TRÁNSITO | 47 |
| 2.3. CLIMA | 47 |
| 2.4. CAPACIDAD ESTRUCTURAL | 48 |
| 2.5. SUELO DE FUNDACIÓN | 48 |

CAPITULO III: POLÍTICA DE MANTENIMIENTO

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 3.1. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO | 49 |
| 3.2. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO | 50 |
| 3.2.1 Mantenimiento rutinario | 50 |
| 3.2.2 Mantenimiento periódico | 51 |
| 3.2.3 Mantenimiento diferido o restauración | 52 |
| 3.3. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN Y DEFINICIÓN DE ESTANDARES | 52 |
| 3.3.1 Criterios de intervención | 53 |
| 3.3.2 Estándares y normas de calidad | 61 |

CONCLUSIONES 65

RECOMENDACIONES 67

BIBLIOGRAFIA 68

ANEXOS 70

Anexo 1: Método del Círculo de la Arena

Anexo 2: Video Láser RST

Anexo 3: Péndulo del TRRL

RESUMEN

El tema del presente Informe de Suficiencia consiste en realizar las políticas de mantenimiento enfocando y/o analizando, mediante el ensayo de la mancha de arena o círculo de arena, la macrotextura del pavimento.

Para determinar la resistencia al deslizamiento se requiere evaluar la textura superficial del pavimento. La textura superficial desde el estudio de la macrotextura. Para esto es necesario saber su significado, como debe ser evaluado y cuáles deben ser sus valores de tal manera que nos sirva para establecer políticas de mantenimiento a aplicar a la vía.

Al finalizar el presente informe se llegó a la conclusión de que los datos obtenidos por el ensayo del círculo de arena, realizados en el tramo de estudio, no eran lo suficiente para determinar una curva de deterioro y por lo tanto las políticas de mantenimiento establecidas en este informe son teóricas y que se debe realizar la toma de datos suficientes para un mejor mantenimiento. Además se puede concluir que el Perú se encuentra muy atrasado con respecto a este tema y es importante que se cree conciencia, ya que una de las mayores responsabilidades de los ingenieros y autoridades es proporcionar seguridad al usuario.

Finalmente, las políticas de mantenimiento que se proponen se basan en experiencias en otros países y/o estudios realizados como los de Chile, Colombia, Argentina, y estos nos deben servir para poder aplicarlo en nuestro país.

LISTA DE CUADROS

| Descripción | Pág. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Cuadro N°1.01 Tramos y longitudes de la carretera en estudio | 13 |
| Cuadro N°1.02 Clasificación del clima en la carretera | 15 |
| Cuadro N°1.03 Resumen por grupos de vehículos del IMD por estación de control | 17 |
| Cuadro N°1.04 Tráfico normal proyectado - Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos | 18 |
| Cuadro N°1.05 Tráfico generado - Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos | 19 |
| Cuadro N°1.06 Tráfico total (con proyecto) - Tramo: Zúñiga – Dv. Yauyos | 19 |
| Cuadro N°1.07 Estado actual de la carretera | 21 |
| Cuadro N°1.08 Escala de textura ensayada con el círculo de la arena | 24 |
| Cuadro N°1.09 Escala de textura ensayada con el marco portátil de textura | 25 |
| Cuadro N°1.10 Clasificación del perfil según el AIPCR | 30 |
| Cuadro N°1.11 Clasificación de textura superficial según AIPCR | 30 |
| Cuadro N°1.12 Regresión entre la Constante de velocidad y la constante de referencia | 41 |
| Cuadro N°1.13 Regresión entre la Constante de fricción | 42 |
| Cuadro N°3.01 Tratamientos típicos | 55 |
| Cuadro N°3.02 Vida útil estimada de los tratamientos | 56 |

LISTA DE FIGURAS

| Descripción | Pág. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figura N° 1.01: Estado Inicial de la Vía en el Km 98 | 11 |
| Figura N° 1.02: Mejoramiento de la subrasante, colocando una capa de material | 11 |
| Figura N° 1.03: Mapa de Ubicación del Corredor Vial N°13 | 13 |
| Figura N° 1.04: Plano Vial Proyecto Perú | 14 |
| Figura N° 1.05: Carretera Cañete - Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga – - Dv.Yauyos – Roncha | 14 |
| Figura N° 1.06: Mapa Geológico correspondiente a la provincia de Yauyos | 16 |
| Figura N° 1.07: Mapa Geológico correspondiente a la provincia de Huancayo | 16 |
| Figura N° 1.08: Mapa Geológico correspondiente a la provincia de Lunahuana | 17 |
| Figura N° 1.09: Área de Influencia Indirecta | 20 |
| Figura N° 1.10: Medición de Macrotextura | 24 |
| Figura N° 1.11: Círculo de Arena | 24 |
| Figura N° 1.12: Ejemplo de equipo Perfilómetro de alta frecuencia | 26 |
| Figura N° 1.13: Ejemplo de equipo CTM | 27 |
| Figura N° 1.14: Ejemplo de equipo LTS | 27 |
| Figura N° 1.15: Tipos de Textura de un pavimento | 30 |
| Figura N° 1.16: Definición de Macrotextura y Microtextura | 31 |
| Figura N° 1.17: Diagrama vectorial de fuerza de fricción | 33 |
| Figura N° 1.18: Contacto entre el neumático y el pavimento mojado | 33 |
| Figura N° 1.19: Inscripciones y características de los tipos de neumáticos | 35 |
| Figura N° 1.20: Curva Fricción – Deslizamiento para el IFI | 39 |
| Figura N° 1.21: Armonización de la curva Fricción – Deslizamiento | 39 |
| Figura N° 1.22: Equipo SCRIM | 43 |
| Figura N° 1.23: Equipo Mu-Meter | 43 |
| Figura N° 1.24: Equipo GRIPTESTER | 44 |
| Figura N° 1.25: Equipo Péndulo de Fricción | 45 |
| Figura N° 3.01: Priorizaciones de mantenimiento | 50 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura N° 3.02: Selección del tratamiento basada en la condición del Pavimento | 54 |
| Figura N° 3.03: Selección del tratamiento basada en el mínimo costo y tiempo óptimo | 54 |
| Figura N° 3.04: Diferencia de textura entre Otta Seal y Chip Seal | 61 |

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

Entidades

- AIPCR Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras.
ASTM Sociedad Americana Para Pruebas y Materiales. (American Society for Testing and Materials - EE.UU)
CGC Consorcio Gestión de Carreteras.
MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.

Términos de fricción

- BPN Coeficiente de fricción medido con el Péndulo Británico
BPT Péndulo Británico (también denominado SRT)
FR60 Valor de la fricción estimada, a la velocidad de deslizamiento de 60 km/h
FRS Fricción medida por un equipo a la velocidad de deslizamiento S.
F(S) «Curva de Referencia» estimada según el modelo AIPCR.
GF60 Valor de la fricción a una velocidad de deslizamiento de 60 km/h.
GRS0 Constante que representa la influencia de la velocidad en la «Curva de Referencia»
GS Constante que representa la influencia de la velocidad en la «Curva de Referencia»
IFI Índice de Fricción Internacional
S Velocidad de deslizamiento
Sp Constante que representa la influencia de la velocidad en la «Curva de Referencia» estimada
SCRIM Equipo de medida de fricción con rueda oblicua (Side Force Coefficient Road Inventory Machine)
SRT Equipo de medida de fricción, idéntico al BPT (Skid Resistance Tester).
TRRL Péndulo del Transport and Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester)
V Velocidad del Vehículo

Términos de textura

- ETD Profundidad estimada de la textura
MPD Profundidad media del perfil

| | |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MTD | Medida volumétrica de la profundidad media de la textura (círculo de arena) |
| RA | Media rectificadora del perfil de textura |
| RMS | Raíz media cuadrática del perfil de textura |
| RQ | Raíz cuadrada de la integral de los valores de la señal al cuadrado dividida por la longitud de la muestra |
| SMTD | Estimación de la MTD a partir de una medida con sensor |
| Tx | Textura |

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento vial en el Perú, no era (hasta hace algunos años) una actividad prioritaria para el Estado Peruano, lo cual, como era de esperarse, generó que el estado de las carreteras haya llegado al colapso general a finales de la década de los 80, donde se tuvo que rehabilitar el total de la red vial nacional a un costo 5 veces superior que haberla mantenido de manera preventiva. A pesar de la mala experiencia, por diferentes causas, se continuó con el círculo vicioso de construir – rehabilitar – reconstruir, hasta estos últimos años, lo cual ha venido afectando a la economía nacional, así como la economía de los usuarios de las carreteras.

El tema del presente informe de suficiencia es establecer las políticas de mantenimiento para pavimentos de bajo volumen de tránsito, enfocando el deterioro del pavimento con el estudio de la macrotextura. Esto consiste en evaluar la textura superficial del pavimento para ver si cumple con las características de una buena adherencia entre el neumático y el pavimento. Como antecedentes se debe mencionar que en diferentes países, incluso en países de Sudamérica se ha investigado mucho acerca de este tema, sin embargo, en el Perú no se cuenta con investigaciones anteriores.

El principal interés que motivó esta investigación es la importancia de las vías de bajo volumen de tránsito para el desarrollo del país, los usuarios y todos los beneficiados por el funcionamiento de esta carretera, para lo cual se requiere establecer políticas de mantenimiento, adecuadas a las condiciones de la vía, y que los ingenieros encargados deben poner en práctica, para la seguridad de los usuarios de la carretera.

Actualmente, en las Especificaciones Generales de Carreteras en el Perú no se encuentra detalladamente especificado el tema de la macrotextura una vez concluida la construcción de un pavimento de bajo volumen de tránsito. Por este motivo es de vital importancia que exista una política de mantenimiento que se adecuen a las condiciones y/o características de la carretera producto de este informe.

Por este motivo el objetivo general es establecer las políticas de mantenimiento para mantener en condiciones óptimas durante periodos de tiempo lo más prolongados posible la operación y el funcionamiento de pavimentos de bajo volumen de tránsito del Perú.

Para justificar el problema se dividió el informe en tres capítulos. En el primero se identifican las características del proyecto, los métodos de medición de la profundidad de la textura del pavimento-macrotextura, los factores que afectan a la adherencia del pavimento, haciendo énfasis en la textura superficial y el índice de fricción internacional. En el segundo capítulo se identifican los factores que influyen en el deterioro del pavimento y que pueden acelerar dicho deterioro con la ausencia de mantenimiento, las variaciones del IMD, el clima variable de la zona, la capacidad estructural de la base de la vía y las características del suelo de fundación del que está conformado. Finalmente en el tercero se establecen las políticas de mantenimiento que se deben adoptar, las actividades de mantenimiento y también los criterios de intervención y definición de estándares.

Esta investigación presenta como principal alcance los primeros resultados de mediciones de textura superficial, con el ensayo del círculo de arena, en la carretera producto de este informe. Por otro lado, presenta los diferentes equipos existentes de medición, de tal manera que en el Perú, cuando se implemente este tema en las Especificaciones Generales, se tomen en cuenta equipos más sofisticados. Además, es necesario indicar que una limitación es que no se ha analizado el tipo de mezcla asfáltica que se ha utilizado en el tramo evaluado con el fin de analizar si se presenta alguna relación con los resultados de la macrotextura.

Se espera finalmente que este trabajo "inicial" no quede aquí y sirva como base para poder establecer, realizando la suficiente cantidad de ensayos tanto con los métodos volumétricos como los perfilométricos, las políticas de mantenimiento adecuadas y que se deben establecer para el mantenimiento de las carreteras de bajo volumen de tránsito, logrando como fin una mejor serviciabilidad y seguridad de la vía.

CAPÍTULO I.- MACROTEXTURA EN PAVIMENTOS

1.1 ASPECTOS GENERALES

El acuerdo del Convenio de Cooperación Interinstitucional 018-2008-MTC/20 efectuado entre EL PROYECTO ESPECIAL DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE NACIONAL – PROVIAS NACIONAL Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, busca implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio de la carretera Cañete - Lunahuaná - Pacarán - Chupaca y Rehabilitación del tramo Zúñiga - Dv Yauyos - Ronchas (N° 288-2007-MTC/20).

1.1.1 Antecedentes

La Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca es una vía de 271.73 km. que integra los centros poblados de las provincia de Lima y Junín, como también las zonas rurales que se encuentran a todo lo largo de ésta. El mantenimiento, conservación y mejora de esta vía ayuda a la integración de los poblados, eleva la calidad de vida, produce mejoras económicas y propicia el desarrollo sostenible de la zona.



Figura N°1.01 Estado Inicial de la Vía en el Km 98 (Fuente: Provias Nacional)



Figura N°1.02 Mejoramiento de la subrasante, colocando una capa de material en el Km 98 (Fuente: Provias Nacional)

Mediante Resolución Ministerial N°223-2007- MTC-02, modificada por Resolución Ministerial 408-2007-MTC/02, se crea el programa Proyecto Perú, que se encuentra bajo responsabilidad de Provias Nacional y el cual es un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración y en el cual está incluida la Carretera Cañete-Yauyos-Chupaca.

Con el fin de mantener en óptimas condiciones la carretera se realiza la convocatoria, para el concurso público N°034-2007-MTC/20 Servicio de Conservación vial por Niveles de servicio de la Carretera “Cañete-Lunahuana-Pacarán-Chupaca y rehabilitación del tramo Zuñiga- Dv. Yauyos-Ronchas”.

Esta convocatoria la gana el Consorcio Gestión de Carreteras (CGC), donde mediante el contrato N° 288-2007-MTC/20 del 27 de Diciembre del 2007 asume la responsabilidad de efectuar el “Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacarán-Dv. Yauyos-Ronchas” por un período de 5 años y un valor de S/. 131,589,139.71.

1.1.2 Características

Nombre de la Carretera: “CAÑETE-LUNAHUANA-PACARÁN-CHUPACA Y REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA- DV. YAUYOS-RONCHAS”.

Lugar de inicio: CAÑETE, Km.1+805.

Lugar de término: CHUPACA, Km.273+531.

Longitud: 271.73 Km.

Corredor Vial N°13. (Ver figura N° 1.3)

Ruta Nacional: 024.

Carretera de 3er Orden.



Figura N°1.03 Mapa de Ubicación del Corredor Vial N°13 (Fuente: Provias Nacional)

La carretera se encuentra dividida en cinco tramos, de los cuales dos se encuentran pavimentadas con una infraestructura vial apropiada, y los otros 4 tramos se encuentran con tratamiento superficial y nivel afirmado que cuenta con una infraestructura vial insuficiente e inadecuada. Esta tramificación se describe en el siguiente cuadr N° 1.01 antes y después de la intervención del mantenimiento.

| Tramo | Longitud (Km) | Tipo de superficie de rodadura (antes) | Tipo de superficie de rodadura (actual) |
|------------------------------------|---------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Cañete - Pacarán | 52.857 | Carpeta Asfáltica | Asfaltado – TSB |
| Pacarán - Catahuasi | 24.143 | Afirmado | Slurry Seal |
| Catahuasi-Tinco Yauricocha | 104.68 | Afirmado | Monocapa |
| Tinco Yauricocha-San José de Quero | 47.62 | Afirmado | Monocapa (Deteriorado) |
| San José de Quero -Chupaca | 42.426 | Afirmado | Monocapa (Deteriorado) |

CUADRO No 1.01 TRAMOS Y LONGITUDES DE LA CARRETERA EN ESTUDIO

(Fuente: Elaboración Propia)

1.1.3 Ubicación

El tramo en estudio está ubicado en las provincias de Cañete, Yauyos (departamento de Lima) y Chupaca (departamento de Junín). En la figura N°1.04 se indica la ubicación del proyecto en estudio y en la figura N°1.05 se muestra el trazo de la Carretera.

1.1.4 Clima

El clima que se presenta en la carretera en estudio es variable, pues el área comprometida en el estudio se ubica en diferentes regiones, según la clasificación del Dr. Javier Pulgar Vidal (expuesta en su "Geografía del Perú"). En el siguiente cuadro N° 1.02 se señalan las temperaturas típicas y precipitaciones que se dan en estas regiones.

| Región | Temperatura mínima | Temperatura media | Temperatura Máxima | Precipitación | Característica |
|----------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Yunga (500-2300 msnm) | | 20° a 27°C | | Pprom=100-150 mm | Sol dominante casi todo el año. |
| Quechua (2300-3500 msnm) | -4 a 7°C | 11° a 16°C | 22° a 29°C | Pprom=800-1200 mm | Clima templado |
| Suni o Jalca (3500-4000 msnm) | -1 a -16°C | 7° a 10°C | >20°C | Pprom.= 800 mm por año. | Clima frío |
| Puna (4000-4800msnm) | -25° a -9°C | 0° a 7°C | 22°C | Pprom entre 200 mm y 1000 mm al año. | Clima muy frío |

CUADRO N° 1.02. CLASIFICACIÓN DEL CLIMA EN LA CARRETERA

(Fuente: Recopilación del informe del cambio estándar y estudios de pre inversión a nivel de perfil para la rehabilitación y mejoramiento de la carretera)

1.1.5 Aspectos geológicos y procesos geodinámicas

La geomorfología de la zona de estudio se encuentra conformada sobre las unidades sedimentarias, volcánicas y metamórficas, en cuanto a las formaciones geológicas de la ruta se encuentran las formaciones de Cañete, Cerro Negro, Torán, Cocachacra y Pariatambo, de acuerdo a la clasificación realizada por el INGEMMET, se encuentran situados dentro de los cuadrantes N° 25-l (Yauyos), N° 25-m (Huancayo) y N° 26-k (Lunahuana), conforme se aprecia en las figuras N° 1.06, N° 1.07 y N° 1.08 respectivamente.

En cuanto a los fenómenos de flujos hídricos que son manifestaciones geodinámicas cuyo agente principal es el agua de escorrentía superficial, que según jerarquía se puede clasificar en cárcavas, huaycos y erosión de riberas.

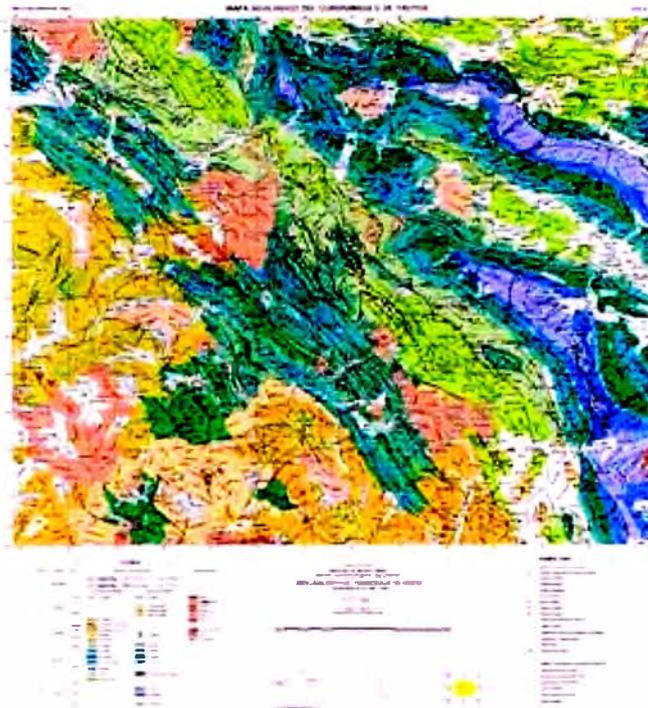


Figura N°1.06 Mapa Geologico correspondiente a la provincia de Yauyos
(Fuente: INGEMMET)

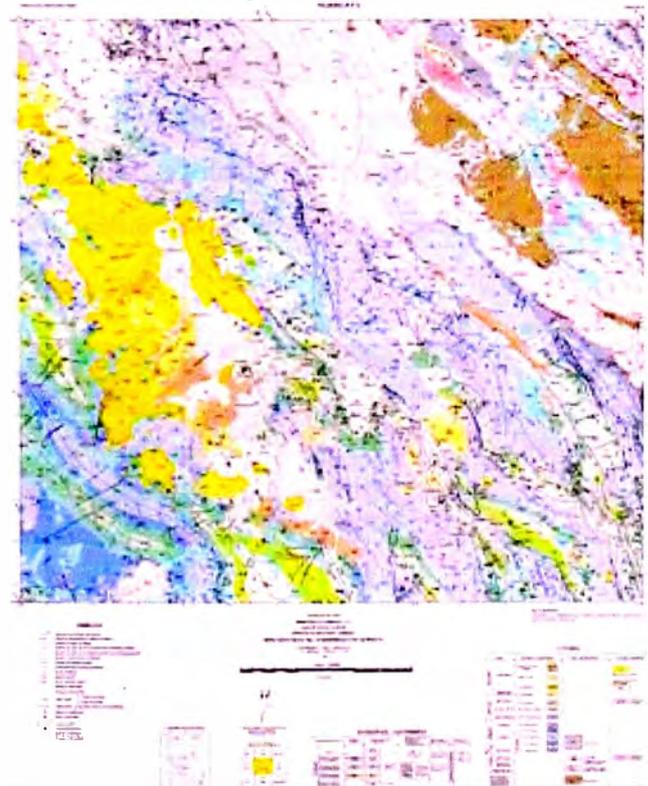


Figura N°1.07 Mapa Geologico correspondiente a la provincia de Huancayo
(Fuente: INGEMMET)

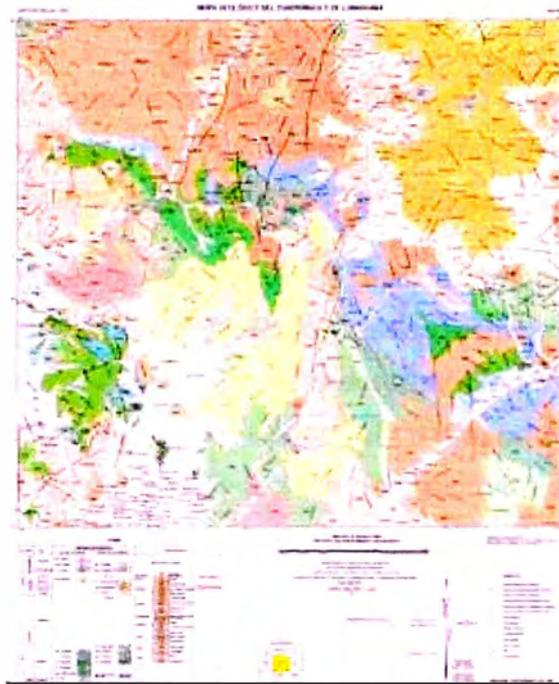


Figura N°1.08 Mapa Geológico correspondiente a la provincia de Lunahuana
(Fuente: INGEMMET)

1.1.6 Estudio de tráfico

Del “INVENTARIO VIAL Carretera: Cañete – Lunahuana – Pacaran – Zuñiga – Dv. Yauyos – Roncha – Chupaca”, hecho por el “Consortio Gestión de Carreteras” en 2008, los conteos fueron realizados durante una semana completa (7 días) en las estaciones E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6, E-7, E-8.

| Tramo | Cañete-Lunahuana | Lunahuana-Pacaran | Pacaran-Zuñiga | Zuñiga-Dv. Yauyos-San Jose de Quero | San Jose de Quero-Ronchas | Ronchas-Chupaca | Chichicay-Pueblo Nuevo | Pueblo Nuevo-San Juan | Chichicay-Capilluca |
|------------------------------|------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| Tipo Vehículo | E1 | E 2 | E 3 | E 4 | E5 | E6 | E7 | E 8 | E 7A |
| VL (Auto+SW+Camioneta) | 707 | 210 | 223 | 21 | 217 | 336 | 292 | 200 | 60 |
| Carreta Rural+Micro | 220 | 132 | 122 | 4 | 42 | 38 | 129 | 122 | 26 |
| Ómnibus | 11 | 10 | 8 | 8 | 8 | 9 | 14 | 16 | 14 |
| Camión Unitario (2,3,4 Ejes) | 53 | 49 | 46 | 20 | 44 | 41 | 48 | 57 | 34 |
| Camión Acoplado | 19 | 16 | 19 | 0 | 36 | 30 | 86 | 66 | 98 |
| IMDa (Veh/día) | 1010 | 417 | 418 | 53 | 347 | 454 | 569 | 461 | 232 |

CUADRO 1.03 RESUMEN POR GRUPOS DE VEHICULOS DEL IMD POR ESTACION DE CONTROL (veh/día) (Fuente: Estudio de Tráfico ICCGSA 2008)

a) Tasas de Proyección de Tráfico

Los parámetros socioeconómicos usados para el cálculo de las tasas de proyección del tráfico son: PBI, índice de población, ingreso per cápita, etc., considerando la región Lima, obteniéndose los siguientes resultados:

Debido a que la información existente de tráfico presenta variabilidad en el comportamiento por cada tipo de vehículo, tasas decrecientes y crecientes muy elevadas, se estimó razonable y conservador establecer el criterio económico para la tasa anual de crecimiento del tráfico, el cual asume el mismo crecimiento del PBI para los vehículos pesados y la tasa de crecimiento de la población para vehículos ligeros de los datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática, los cuales establecen 1.5% y 3.7% Para Vehículos ligeros y Pesados.

b) Demanda Proyectada con Tráfico Normal

La demanda proyectada es el tráfico existente sin haberse implementado el proyecto, el crecimiento del tráfico vehicular está dado por las tasas indicadas en el cuadro 1.04

| CRECIMIENTO NORMAL ANUAL DEL TRAFICO | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| AÑO | 2010 | Tasa | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| TIPO | T. Normal | | Tráfico Normal | | | | | |
| Auto | 28 | 1.022 | 28 | 29 | 29 | 30 | 31 | 31 |
| Pick up | 182 | 1.022 | 186 | 190 | 194 | 198 | 202 | 207 |
| Panel | 0 | 1.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Camioneta Rural | 78 | 1.022 | 79 | 81 | 83 | 85 | 86 | 88 |
| Microbus | 50 | 1.015 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 54 |
| Bus 2E | 15 | 1.015 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 |
| Bus 3E | 1 | 1.015 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Camión 2E | 66 | 1.037 | 69 | 71 | 74 | 77 | 80 | 83 |
| Camión 3E y 4E | 41 | 1.037 | 43 | 45 | 46 | 48 | 50 | 52 |
| Articulados | 22 | 1.037 | 23 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| Total | 471 | | 495 | 507 | 520 | 533 | 546 | 560 |

CUADRO N° 1.04 TRÁFICO NORMAL PROYECTADO - TRAMO: ZÚÑIGA – DV. YAUYOS

(Fuente: Estudio Programa de Conservación y Rehabilitación Tramo Cañete – Lunahuana – Pacaran - Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca, 2008, CGC.)

c) Demanda Proyectada con Tráfico Generado

En la situación con proyecto, la demanda además del tráfico normal proyectado esta dado por el tráfico generado, que es un porcentaje del IMD en situación sin proyecto.

El tramo monitoreado es un mejoramiento, por ende se tiene, según la normatividad del MEF, un incremento en el IMD de 15%, según lo mencionado se tiene el siguiente cuadro:

| CRECIMIENTO ANUAL DEL TRAFICO LUEGO DEL TRAFICO GENERADO | | | | | | | | | |
|----------------------------------------------------------|----------|-------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| AÑO | 2009 | Tasa | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| TIPO | | | Tráfico Generado | | | | | | |
| Auto | | 1.022 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| Pick up | | 1.022 | 27 | 27 | 28 | 28 | 29 | 30 | 30 |
| Panel | | 1.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Camioneta Rural | | 1.022 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 |
| Microbús | | 1.015 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Bus 2E | | 1.015 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Bus 3E | | 1.015 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Camión 2E | | 1.037 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| Camión 3E y 4E | | 1.037 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Articulados | | 1.037 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Total | 0 | | 64 | 65 | 67 | 68 | 70 | 72 | 73 |

CUADRO N° 1.05 TRAFICO GENERADO - TRAMO: ZUNIGA – DV. YAUYOS

(Fuente: Estudio Programa de Conservación y Rehabilitación Tramo Cañete – Lunahuana – Pacaran - Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca, 2008, CGC.)

Según los tráficos calculados se tiene un tráfico total con proyecto el cual se observa en el siguiente cuadro:

| CRECIMIENTO TOTAL ANUAL DEL TRAFICO | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------|-------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| AÑO | 2009 | Tasa | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
| TIPO | | | Tráfico Total | | | | | | |
| Auto | 27 | 1.022 | 32 | 32 | 33 | 34 | 34 | 35 | 36 |
| Pick up | 178 | 1.022 | 209 | 213 | 218 | 222 | 227 | 232 | 237 |
| Panel | 0 | 1.022 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Camioneta Rural | 76 | 1.022 | 89 | 91 | 93 | 95 | 97 | 99 | 101 |
| Microbús | 49 | 1.015 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 61 | 62 |
| Bus 2E | 15 | 1.015 | 17 | 17 | 17 | 17 | 18 | 18 | 18 |
| Bus 3E | 1 | 1.015 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Camión 2E | 64 | 1.037 | 73 | 75 | 78 | 81 | 84 | 87 | 90 |
| Camión 3E y 4E | 40 | 1.037 | 45 | 47 | 49 | 51 | 53 | 55 | 57 |
| Articulados | 21 | 1.037 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| Total | 471 | | 549 | 563 | 577 | 591 | 606 | 621 | 637 |

CUADRO N° 1.06 TRAFICO TOTAL (CON PROYECTO) - TRAMO: ZUNIGA – DV. YAUYOS

(Fuente: Estudio Programa de Conservación y Rehabilitación Tramo Cañete – Lunahuana – Pacaran - Dv. Yauyos – Ronchas – Chupaca, 2008, CGC.)

1.1.7 Estado actual

a) Diagnóstico de la Situación Actual

La población beneficiada está comprendida por los departamentos de Lima y Junín, quienes con el mejoramiento de esta vía, tendrán una ruta alternativa a la carretera central para realizar las actividades económicas, transporte, turismo, entre otros.



Figura N°1.09 Área de Influencia Indirecta (Fuente: MTC)

Características de la zona afectada y estimación de la población.

Región : Lima y Junín.

Provincias : Cañete, Yauyos, Chupaca, Concepción, Jauja, Huancayo.

La carretera en estudio tiene una longitud de 271.73 km y para un mejor análisis se ha dividido en cinco sectores de acuerdo al tipo de superficie de rodadura existente y a las condiciones geográficas. En el cuadro N°1.07 se muestra los detalles del tipo de superficie de rodadura existente y longitudes de los tramos.

| TRAMO | TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA | LONGITUD (km) |
|------------------------------------|--------------------------------|---------------|
| Cañete-Pacarán | Asfaltado -TSB | 52+857 |
| Pacarán-Catahuasi | Slurry Seal | 24+143 |
| Catahuasi-Tinco Yauricocha | Monocapa (regular estado) | 104+680 |
| Tinco Yauricocha-San José de Quero | Monocapa (deteriorado) | 47+620 |
| San José de Quero -Chupaca | Monocapa (deteriorado) | 42+426 |

CUADRO N°1.07 ESTADO ACTUAL DE LA CARRETERA (Fuente: Elaboración propia)

1.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE TEXTURA – MACROTEXTURA.

La macrotextura de la superficie del pavimento es un factor que influye de manera significativa en la fricción entre rueda y pavimento, en la emisión de ruido de la interfaz rueda-pavimento y en la pulverización de agua del tráfico en pavimentos húmedos.

Durante muchos años se ha descrito la textura de la superficie a partir del resultado del método del círculo de arena. El resultado del círculo de arena se obtiene depositando una determinada cantidad de arena sobre el pavimento y dividiendo el volumen (predeterminado) entre el área de pavimento (medida) cubierta por la arena; el valor que representa la profundidad media de arena se define como la macrotextura.

La norma ISO 13473 describe cómo determinar la Profundidad de Medida de Perfil (MPD) como la profundidad media de la macrotextura de la superficie del pavimento con la medición de una curva de perfil. La definición de macrotextura que da la norma ISO es la siguiente: **“Macrotextura:** La desviación de la superficie de un pavimento de una superficie totalmente plana con dimensiones características a lo largo de la superficie de 0.5 mm a 50 mm (correspondientes a longitudes de onda de textura con bandas de tres octavos incluyendo variación de 0.5 mm a 50 mm de longitudes de onda centrales)”.

Además de la definición de macrotextura, la ISO 13473 explica detalladamente el procedimiento de medición y tratamiento de datos. El filtrado de paso alto debería eliminar longitudes de onda mayores de 100 mm y el filtrado de paso bajo aquellas por debajo de 2.5 mm.

Los resultados tratados a partir de medición de macrotextura se calculan para intervalos de longitud de onda de 2.5 - 100 mm y 0.5 - 5 mm.

La textura es una cualidad conferida por el proyectista al decidir el tipo de capa de rodadura a construir, aunque en muchas ocasiones el proyecto no llega a realizar una especificación expresa del valor de textura a conseguir.

El funcionamiento del pavimento está ligado en muchos aspectos a su característica de textura. La capacidad de suministrar un buen nivel de adherencia con los neumáticos de los vehículos y de evacuar el agua de la interfase neumático/pavimento es misión de la textura.

1.2.1 Métodos Volumétricos.

Son procedimientos basados en la determinación de un volumen asociado a un área y a la respectiva altura.

La altura en este volumen corresponde a la profundidad media de la textura. A este grupo de técnicas pertenece el ensayo de la mancha de arena y otros métodos similares que usan esferas de vidrio o grasa de lubricación en lugar de arena.

La forma más antigua y conocida de cuantificar la macrotextura es el ensayo del Círculo de Arena (ASTM E-965). Se trata de un ensayo puntual que determina la Profundidad de Textura (PT) en milímetros y se cuantifica como el cociente entre un volumen conocido de arena de granulometría normalizada y el área sensiblemente circular de la arena esparcida, aplicada con un accesorio de caucho sobre la superficie del pavimento.

i) Círculo de Arena (MTC E 1005 – 2000).

a) Aparatos y Materiales.

➤ Cilindro de bronce de 10, 25 y 50 cm³ de capacidad.

- Recipiente plástico para guardar arena, de unos 250 cm³ de capacidad.
- Disco de madera de 15 cm de diámetro con vástago de madera que sirva de mango y con base de goma aproximadamente de 1 ½ mm de espesor.
- Una regla marcada en mm.
- Una brocha.
- Arena pasante el tamiz de 300 mm (N° 50) y retenido en el de 150 mm (N° 100). Se puede emplear arena natural con partículas redondeadas.

b) Procedimiento de Ensayo.

- Limpiar cuidadosamente con brocha el área de pavimento debiendo amenas estar seca.
- Llenar con arena el cilindro de bronce para el ensayo y golpeándose unas tres veces para acomodar la arena, la cual debe enrasarse posteriormente para garantizar el volumen adecuado.
- Se vierte la arena sobre la superficie del pavimento que se va a ensayar.
- Con el disco de madera se distribuye la arena sobre la superficie formando un círculo, el cual debe extenderse de manera que llene las asperezas del pavimento hasta el instante en que se advierte visualmente los picos de estas asperezas.
- Se determina, con base en tres medidas, el diámetro medio del círculo de arena.

c) Cálculos.

Para calcular la profundidad de penetración de la arena dentro de las asperezas o “profundidad de textura” (PT), se calcula mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

PT = Profundidad de Textura

V = Volumen Conocido de arena empleado para el ensayo.

D = Diámetro medio del círculo originado al esparcir la arena.



Figura N° 1.10 Medición de Macrotextura (Fuente: Elaboración Propia)

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



Figura N° 1.11: Círculo de Arena (Fuente: Elaboración Propia)

Internacional AIPCR (1995)

Este ensayo es útil para valores de textura superiores a los 0.25mm y se debe hacer en un pavimento seco, limpio y sin viento. Se debe también indicar la escala de textura de la superficie ensayada con el siguiente cuadro:

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

Cuadro N° 1.08: Escala de textura ensayada con el círculo de la arena

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

- a) Funciona en tramos específicos, y no a nivel de red.

- b) Se debe cortar el tránsito en una carretera abierta.
- c) Es difícil garantizar la homogeneidad de la arena o de las esferas de vidrio por lo que se puede producir errores.

Por otro lado, en Cuba se ha elaborado un método similar al círculo de arena, cuyo procedimiento es el siguiente:

El Marco Portátil de Textura:

Este ensayo consiste en:

- Un marco de madera de 70 x 20 x 1 cm. sin fondo ni tapa
- A todo lo largo, por ambos bordes longitudinales hay una escala graduada en centímetros.
- Una banda metálica de 200 x 50 x 1cm. favorece en los primeros 5 cm. El inicio del ensayo coincidiendo con el cifrado de cero.
- 25cm³ de arena granulada que pasa por el tamiz 50 y retiene el tamiz 100.
- Paleta de madera fina de 3mm de espesor y 19mm de ancho para extender y enrasar la arena.
- La altura de la macrotextura (HAm.) se determina de la siguiente forma:

$$HA \text{ mm} = \frac{12.5}{La \text{ (cm)}}$$

La(cm) = longitud de la mancha de arena

| La (cm) | TIPO DE TEXTURA |
|---------|-----------------|
| > 66 | Muy Fina |
| 45 - 66 | Fina |
| 30 - 45 | Media |
| 15 - 30 | Gruesa |
| < 15 | Muy Gruesa |

Cuadro N° 1.09: Escala de textura ensayada con el marco portátil de textura

Como se puede observar, este ensayo está basado en el círculo de la arena teniendo la ventaja que es aún más económico.

1.2.2 Perfilómetros:

El valor que se obtiene de la mancha de arena se ha correlacionado empíricamente con mediciones directas del perfil. A estas mediciones directas del perfil se les ha llamado MPD (Profundidad Media del Perfil).

El MPD se calcula de acuerdo al método ASTM E-1845(ASTM 2005a) a partir del promedio de las profundidades medias en las dos mitades de un segmento base.

Existen tres tipos en general: láser, fotoseccionamiento y aguja de contacto. Los tres obtienen un perfil digital de la macrotextura.

El más común es el del tipo láser. Estos equipos miden la altura de un punto sobre el pavimento. Normalmente van instalados en otros equipos pudiendo ser desplazados para su medida hasta una velocidad de 72Km/h.

Perfilómetro Láser RST

La evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de alta intensidad de muestreo ha originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura.

Con este equipo se determina un valor de la Media Cuadrática de Textura (RMS) de las amplitudes del perfil filtrado de determinadas bandas de longitud de onda.

Se obtienen valores medios cada 20m y para cada uno de los tres rangos de medidas, es decir, evalúa la megatextura, la macrotextura gruesa y la macrotextura fina.

La textura se mide usando cámaras láser de 32 kHz. para cada rodada, pudiéndose configurar para cada usuario.

Una vez registrado el perfil tomado, se calcula el valor del RMS en mm siguiendo las recomendaciones de la norma ASTM E 1845-01.



Figura N° 1.12: Ejemplo de equipo Perfilómetro de alta frecuencia.

Equipo CTM

El Circular Texture Meter (CTM) es un Perfilometro para medir la macrotextura de pavimentos, que existe en el mercado desde aproximadamente 1,999. Tiene un sensor laser que recorre una circunferencia de 142mm de radio. El sensor laser se ubica a unos 30mm de la superficie. El aparato demora aproximadamente 45 segundos en terminar de medir una circunferencia, y entrega como resultado un perfil con 1024 puntos a intervalos de 0.87mm.

Para el caso de las mediciones del perfil empleando el Circular Track Meter, la expresión que la norma ASTM E-2157 (ASTM 2005b) acepta para relacionar el MTD y el MPD expresada en milímetros es:

$$\text{MTD} = 0.947 \text{ MPD} + 0.069$$



Figura N° 1.13: Ejemplo de equipo CTM.

Equipo LTS

El Laser Texture Scanner (LTS) es un equipo que existe en el mercado desde el año 2,007. A diferencia del CTM, este puede medir una superficie puesto que el sensor laser recorre un número predeterminado de líneas en un área máxima de 75 por 100mm.

Este equipo pesa considerablemente menos que el CTM, lo que lo hace más portátil. La distancia del sensor laser a la superficie del pavimento es 42mm. El tiempo que tarda una medición depende del número de líneas de escanear (10 líneas tarda 90 segundos).

El equipo entrega las elevaciones del perfil a intervalos de 0.15mm y entrega los resultados de MPD y otros varios índices.



Figura N° 1.14: Ejemplo de equipo LTS.

1.2.3 Correlación entre los métodos.

Algunos investigadores han reportado excelente correlación entre los resultados de la mancha de arena y el MPD. Flintsch et al (2003) encontró excelente correlación con el CTM, y una correlación “buena” con un Perfilometro de alta velocidad con laser de alta frecuencia.

El Departamento de Transporte de Ohio (ODOT 2008) encontró buena correlación con el LTS y un Perfilometro de alta velocidad con laser de alta frecuencia, y concluyo que aunque la correlación con el LTS era mejor, un Perfilometro de alta velocidad con laser de alta frecuencia es más práctico pues no requiere control de tráfico y mide de manera continua.

Para la normalización internacional es importante encontrar una medida no estacionaria que sustituya a la «antigua» medida del círculo de arena, de forma que con un valor único se tenga representada la macrotextura del pavimento. Mientras no se disponga de esta medida, las comparaciones se realizan con los datos tomados por el método volumétrico tradicional. Con este objeto, los valores de MPD han servido de referencia y con ellos se han obtenido las correlaciones con los demás métodos.

1.3 FACTORES QUE AFECTAN A LA ADHERENCIA DEL NEUMÁTICO AL PAVIMENTO

Cuando uno se pregunta cuáles deben ser las propiedades principales para que un pavimento sea considerado seguro, una de las primeras ideas es que posea una buena adherencia con los neumáticos.

Esto es importante a lo largo de toda la superficie del pavimento, sobretodo en zonas de frenado, curvas o donde exista presencia de agua. Sin embargo esta adherencia no depende únicamente del pavimento, sino también de las características del tránsito y del clima.

Los factores más importantes que afectan la adherencia entre el neumático y el pavimento son los siguientes:

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

En el presente capítulo se hará una breve descripción de la influencia de cada una de estos factores en la adherencia, sin embargo lo que se evaluará a lo largo del trabajo será únicamente la textura superficial.

1.3.1 Superficie del pavimento

i) Condición geométrica

La fricción de un pavimento está distribuida en sentido longitudinal y transversal. Por tal motivo se debe tener cuidado con la adherencia en muchos puntos de la superficie del pavimento.

Al momento del diseño geométrico de la vía se toma en cuenta este problema, asumiendo un factor de fricción admisible que representa a la fuerza de fricción con respecto a la velocidad.

ii) Naturaleza del árido

El desgaste y el pulimento que afectan directamente a la adherencia entre el neumático y el pavimento se deben a la naturaleza y forma del árido.

Los agregados que tienen superficies lisas pueden ser recubiertos con una película de asfalto, pero la película se adherirá de modo más efectivo a superficies rugosas.

Las gravas naturales, tales como las de río, generalmente tienen una textura superficial lisa, partículas redondeadas y generalmente tienen baja resistencia al pulido.

Las gravas trituradas producen frecuentemente una textura superficial rugosa al cambiar la forma de las partículas.

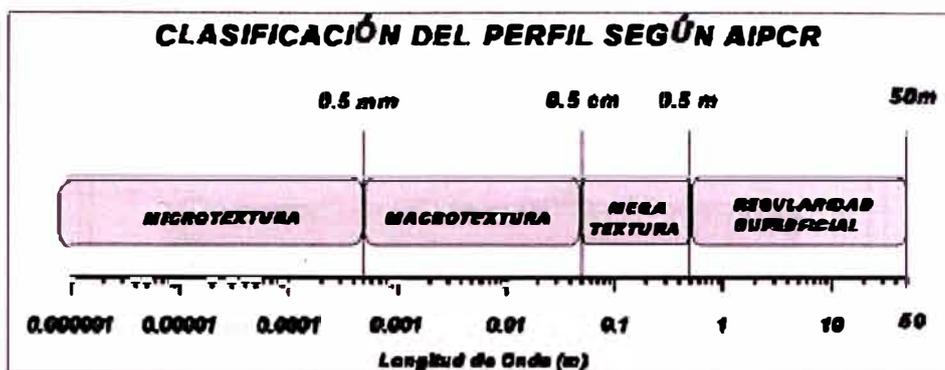
La resistencia al desgaste de un agregado depende de la rigidez, debiendo estar constituida por minerales de cierta dureza. Una mezcla de componentes duros con suaves es lo más adecuado.

iii) Textura Superficial

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

Es una característica que debe tener la carpeta de rodadura para alcanzar un nivel de seguridad en su resistencia al patinaje ya sea al momento del frenado, controlando al vehículo en zona de curvas o en distintas maniobras que el conductor se vea obligado a realizar.

Según la AIPCR (1995) la textura superficial se clasifica en Megatextura, Macrotextura y Microtextura, que dependen de la longitud de onda.



Cuadro Nº 1.10: Clasificación del perfil según el AIPCR.

| Textura | Longitud de Onda |
|---------------|------------------|
| Mega Textura | 50 - 500 mm |
| Macro Textura | 0.5 - 50 mm |
| Micro Textura | 0.0 - 0.5 mm |

Cuadro Nº 1.11 Clasificación de textura superficial según AIPCR

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

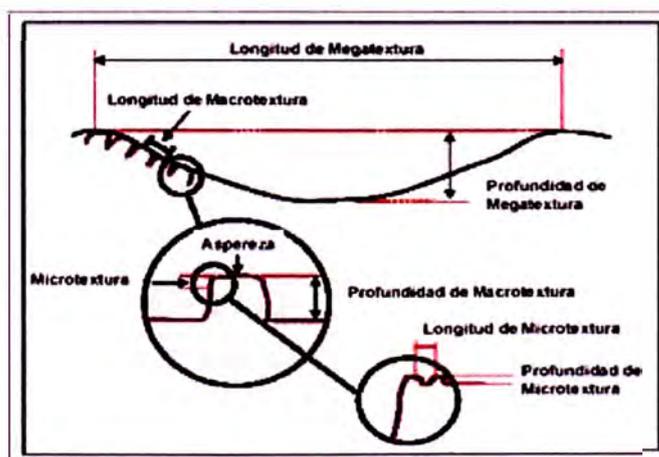


Figura Nº 1.15: Tipos de Textura de un pavimento (AIPCR, 1995)

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

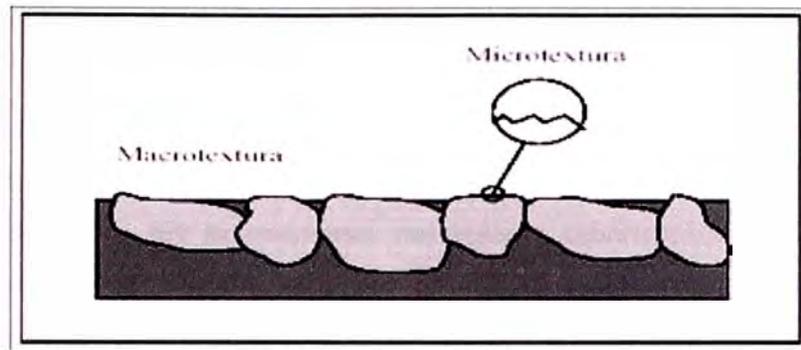


Figura N° 1.16: Definición de Macrotextura y Microtextura

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

a) Megatextura

Es la que corresponde a la mayor longitud de onda. Se encuentra más cercana a la rugosidad. Los baches son un ejemplo de megatextura elevada. Como se dijo anteriormente, no se tiene en cuenta como variable de seguridad de adherencia en los pavimentos.

b) Macrotextura

La macrotextura es la textura superficial del propio pavimento. Son el conjunto de partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie.

Esta es importante ya que permite evacuar el agua de la superficie, de tal manera que ésta se pueda quedar en las depresiones. Es así como existirá mayor contacto entre el neumático y el pavimento.

Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una macrotextura gruesa.

c) Microtextura

Es la textura superficial de los agregados pétreos. Una forma indirecta de medir la microtextura es mediante el coeficiente de fricción. La microtextura siempre es necesaria, hasta en una carretera seca. Es por este motivo que está directamente asociada con la resistencia al deslizamiento.

Se dice que para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad se debe tener una microtextura áspera.

Es importante considerar a la textura superficial al término de la construcción de la vía, ya que es sabido que la adherencia va disminuyendo conforme pasa el

tiempo debido a que ocurre un pulimento de los agregados causado por el paso del tránsito.

d) Limitantes en la macrotextura y la microtextura

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura, mejor será la capacidad de evacuación de agua en la interfase neumático pavimento, sin embargo esta elevada capacidad de drenaje hace que exista un mayor nivel de ruido.

También, cuanto mayor sea el valor de la microtextura habrá mejor adherencia entre el neumático y el pavimento; sin embargo, esto produce un mayor desgaste de los neumáticos.

Es importante entonces, encontrar un punto en que ambas se compensen.

Por otro lado, como se ha podido apreciar, la textura superficial de un pavimento está directamente relacionada con la resistencia al deslizamiento y la fricción.

e) Resistencia al deslizamiento y fricción

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

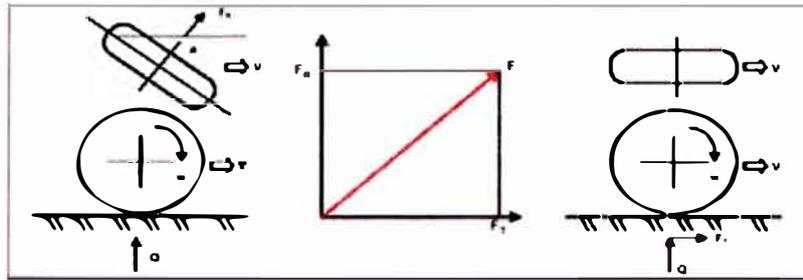
- Resistencia al Deslizamiento

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

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

- Fricción

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



**Figura N° 1.17: Diagrama vectorial de fuerza de fricción
(Fuente: Adaptación de la OCDE, 1984)**

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

iv) Presencia de agua en el Pavimento

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

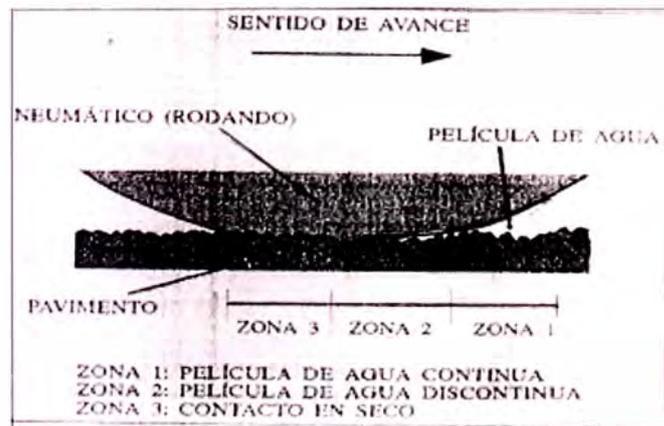


Figura N° 1.18: Contacto entre el neumático y el pavimento mojado (Fuente: Tesis (Ing.) Díaz, Eutiquio. La Habana: Facultad de Ingeniería Civil)

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

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

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

Zona 3: El neumático está en contacto seco, la adherencia está desarrollada en esta verdadera zona de contacto.

Al aumentar el espesor de la película de agua, la zona 3 se vería disminuida, aumenta la zona 1 y por tanto se reduce la adherencia.

Para que el agua se pueda eliminar con una mayor rapidez que la que podría evacuar el dibujo del neumático se requiere de una macrotextura gruesa.

En la zona 3 y parte de la zona 2 se requiere de una microtextura áspera de tal manera que logre atravesar la película delgada de agua y produzca puntos secos de contacto.

El hidroplaneo es conocido como la pérdida de control de un conductor debido al espesor de la película de agua que se encuentra sobre la calzada debido a que los neumáticos pierden contacto con la superficie del pavimento. Esto se debe principalmente a la presencia de texturas muy finas que no dan tiempo de evacuar el pavimento. El hidroplaneo es una de las características que más pueden afectar a los usuarios, ésta depende principalmente de:

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

v) Presencia de contaminantes

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

1.3.2 Tránsito

Velocidad del vehículo

A medida que la velocidad aumenta existe la tendencia a una disminución del rozamiento debido a que disminuye el área de contacto entre el neumático y el pavimento.

Clasificación de la vía y peso del vehículo

Esto está relacionado con la categoría de la vía. El tipo y volumen de tráfico que circule por la vía influirá en el desgaste del pavimento. Mientras mayor sea la

carga, mayor será el desgaste del pavimento y por ende, las características adecuadas para una textura superficial correcta, disminuirán.

Neumáticos

Los neumáticos de un automóvil, y el aire que los llena constituyen el único contacto con el pavimento. Dado que el tipo de neumático es un aspecto asociado a la tecnología del automóvil.

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

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

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

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

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

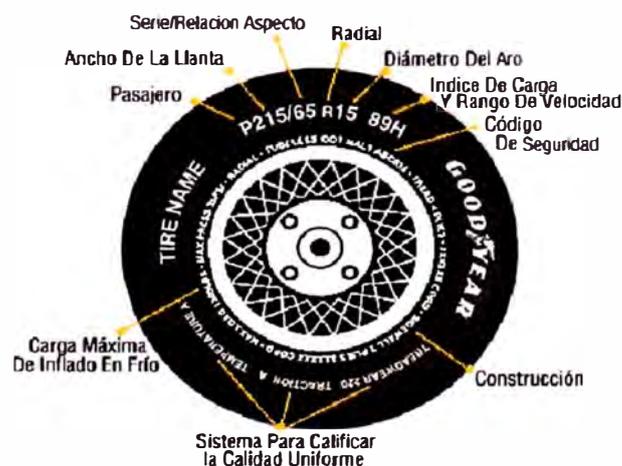


Figura N° 1.19: Inscripciones y características de los tipos de neumáticos (Fuente: CONASET Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito – Chile)

P: Pasajero (automóvil de turismo). Si aparece LT se trata de un vehículo de carga ligero (light truck).

215: Ancho del neumático (mm). Se mide con la presión máxima de inflado y sin carga alguna.

65: Neumático radial. Si aparece B significa que está construido con capas circulares. Si aparece D está construido en forma diagonal.

15: Diámetro de la llanta (pulg.)

Para tener una idea de cómo deben ser los dibujos adecuados para una buena adherencia de los neumáticos con el pavimento a continuación se presentarán los tipos de neumáticos de la empresa Goodyear diseñados específicamente para obtener esta característica:

a) Llantas para automóvil convencional y radial:

GPS2

Neumático con gran poder de agarre y reducción de hidroplaneo en pistas mojadas. Su construcción sistema "envelope" fortalece el costado y ofrece resistencia a impactos.

GPS3 SPORT

Neumático radial con un agresivo diseño de tres canales longitudinales formando 4 ribs ligados radialmente con bloques orientados a la zona de los hombros cuyos canales terminan en la zona alta de los costados, incorpora además el nuevo concepto exclusivo de Goodyear denominado BUBBLE BLADE, que permite vía las burbujas cóncavas y convexas conectar los bloques para un mejor agarre.

GT70

Neumático que permite mayor confort y agarre con las pistas, de buen desempeño en superficies mojadas, debido a la conexión de los canales centrales y los bloques direccionados en la zona de los hombros.

b) Llantas High Performance:

EAGLE F1 GSD3

Excelente diseño Ultra High Performance que combina su alto desempeño a un exclusivo estilo de neumático para los vehículos más modernos y deportivos del mundo automovilístico. El diseño unidireccional con canales alargados en forma de "V" garantiza un drenaje eficaz de agua, excelente frenada en piso mojado.

EAGLE NCT5

Las nervaduras transversales mejoradas y hombros en forma de bloques dan un mejor agarre a la pista para un mejor control. Las nervaduras longitudinales dispersan el agua, previniendo el hidroneo.

EAGLE NCT3

Sus amplios surcos circunferenciales le otorgan una excelente resistencia al hidroneo y una rápida respuesta al volante debido a sus canales centrales en su banda de rodamiento.

c) Llantas para camión:

G358/LHS

Su banda de rodamiento con láminas (siping) da una mejor tracción en pisos mojados y su diseño con surcos profundos permite un mayor kilometraje y menor costo por kilómetro.

TRAILERA CT-217

Las barras transversales de gran profundidad dan un gran agarre e inmejorable tracción. Tiene un diseño mixto de surcos longitudinales, para uso en cualquier posición y es apropiado para ser usado en carretera.

Estado del neumático:

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

1.3.3 Clima: Variación de la temperatura

Con respecto a los neumáticos, como el caucho es un material visco – elástico, esta elasticidad es fuertemente afectada por la temperatura, por lo que la fricción entre los neumáticos y el pavimento estará influenciada por ella.

Por otro lado, estudios realizados han determinado que existe muy poca influencia de la temperatura y la fricción del propio pavimento. No obstante, los equipos que miden este parámetro cuentan con un factor de corrección por temperatura, para lo cual es aconsejable usar siempre un factor de 1.

1.4 INDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL.

“El IFI se describe como una escala de referencia, de aplicación internacional, de la fricción y de la textura del pavimento” (Crespo Ramón 2003: 1)

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 carreteras en distintos países.
- Poder calcular el grado de fricción que se tendrá a la velocidad deseada.

En el estudio realizado por la AIPCR (Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras) 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/h

Sp: Constante de velocidad. Se sabe que las medidas de macrotextura predicen bien el Sp.

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.

1.4.1 Cálculo del Índice de Fricción Internacional

Como se mencionó anteriormente, el IFI relaciona la fricción de un pavimento con la velocidad de deslizamiento de un vehículo. Para esto se estima una constante de referencia de velocidad (Sp) y la fricción a una velocidad de 60 Km/h donde finalmente se obtiene una curva fricción – velocidad de deslizamiento.

El grado de fricción de un pavimento es función de su velocidad. En la figura que se muestra a continuación se representa en forma genérica la curva del modelo:

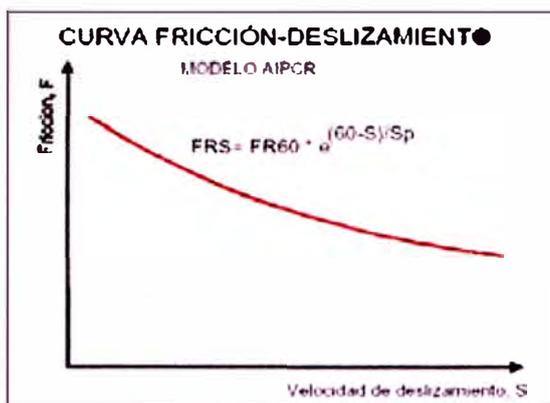


Figura Nº 1.20: Curva Fricción – Deslizamiento para el IFI (Fuente: Ramón Crespo del Rio-IFI)

Suponiendo que se evaluara este mismo pavimento con diferentes equipos se obtendrían curvas más alejadas o más próximas a esta.

Por tal motivo, para poder comparar uno o varios pavimentos la evaluación está restringida a un único equipo de medición.

Para poder armonizar los equipos se ideó la curva de referencia o también llamado "Golden Value".

La Curva de Referencia: Esta curva representa la función fricción – velocidad de deslizamiento "real" en un pavimento, de tal manera que con los diferentes valores dados por distintos equipos proporcionen como resultado diferentes curvas que luego se ajusten a ésta.

A este procedimiento se le conoce como el proceso de armonización.

Si el proceso de armonización ha sido eficaz, en un solo pavimento, las curvas con diferentes equipos estarán muy próximas unas de otras y también lo estarán a la curva de referencia.

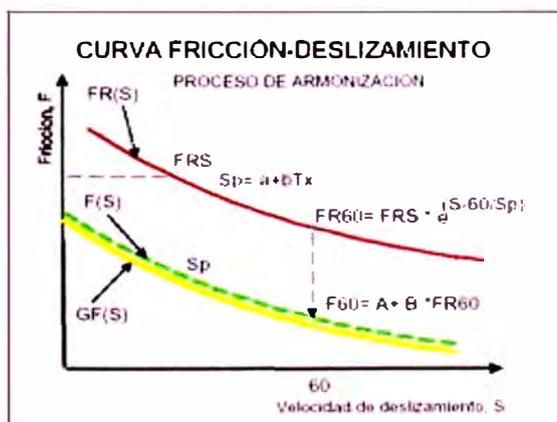


Figura Nº 1.21: Armonización de la curva Fricción – Deslizamiento (Fuente: Ramón Crespo del Rio-IFI)

La curva GF(S) tiene la siguiente ecuación:

$$GF(S) = GF60 \times e^{(60-S) / GS}$$

S = velocidad de medición

GF(S)=fricción de la curva de referencia a la velocidad S

GF60=fricción "real" de la curva de referencia que le corresponde la velocidad de 60 Km/h.

GS=constante que representa la influencia de la velocidad en la curva de referencia en Km/h.

A continuación se explicará cómo se obtiene el IFI según los criterios establecidos por el Experimento Internacional:

1º) Realizar los dos tipos de medidas sobre el pavimento a evaluar con los equipos disponibles:

- Fricción (FR).
- Textura (Tx).

2º) Designación de la pareja de valores:

La pareja de valores (F60, Sp) se designa como el IFI de un pavimento.

Estos valores permitirán dibujar la curva de referencia estimada de fricción – velocidad de deslizamiento del pavimento a ensayar.

a) Determinación de la constante de velocidad, Sp:

$$Sp = a + (b \times Tx)$$

Tx = Medida de la macrotextura con el equipo utilizado

a, b = Constantes de calibración, que dependen del equipo, tomadas de la Tabla N° 24 del estudio de la AIPCR, donde en la presente investigación es el Cuadro N° 1.12.

Esta tabla se muestra a continuación:

International PIARC Experiment
Expérimentation Internationale AIPCR
Experimento Internacional AIPCR

TABLE 24. REGRESSIONS OF THE PREDICTED SPEED CONSTANT S_p WITH THE GOLD SPEED CONSTANT G_S.
TABLEAU 24. RÉGRESSIONS SERVANT À PRÉDIRE LA CONSTANCE S_p À PARTIR DE LA CONSTANCE DE VITESSE D'OR G_S.
TABLA 24. REGRESIÓN ENTRE LA CONSTANTE DE VELOCIDAD S_p Y LA CONSTANTE DE VELOCIDAD DE REFERENCIA G_S.

| METHOD | DEVICE | V | N | σ | σ | Max E | Ave E | RUSE | R |
|--------|--------|----|----|----------|-----------|--------|-------|-------|-------|
| MFD | A2 | 34 | 60 | 14.235 | 69.719746 | 77.80 | 14.78 | 21.33 | 0.958 |
| ETD | A2 | 34 | 69 | 37.3855 | 78.0768 | 78.27 | 14.79 | 21.42 | 0.950 |
| MFD | A5 | 0 | 65 | 8.74005 | 81.67568 | 77.19 | 16.94 | 23.10 | 0.941 |
| TDMA | A2 | 34 | 69 | 17.3401 | 94.29098 | 69.42 | 17.75 | 21.59 | 0.939 |
| MTD | A8 | 0 | 69 | -11.5981 | 113.63248 | 85.38 | 17.95 | 25.42 | 0.930 |
| MTD | A2M | 60 | 25 | -12.0729 | 118.709 | 57.90 | 18.70 | 25.39 | 0.920 |
| ASC | D3 | 60 | 67 | 17.628 | 142.9884 | 129.73 | 18.54 | 28.02 | 0.915 |
| PD | D3 | 60 | 67 | 14.1414 | 180.6588 | 130.17 | 19.33 | 28.71 | 0.911 |
| MFD | A4 | 18 | 69 | 11.5017 | 69.13345 | 56.95 | 20.00 | 29.14 | 0.906 |
| FMS | A2 | 34 | 69 | 18.7192 | 170.08937 | 96.47 | 20.14 | 28.97 | 0.906 |
| FA | D3 | 60 | 64 | 16.395 | 225.4159 | 126.00 | 19.07 | 28.56 | 0.906 |
| FMS | A1 | 30 | 69 | 22.6763 | 285.61917 | 86.20 | 23.48 | 29.31 | 0.902 |
| MFD | A4 | 38 | 64 | 9.22889 | 111.79903 | 108.41 | 21.89 | 30.34 | 0.897 |
| MTD | A38 | 30 | 25 | 3.4267 | 116.55418 | 79.22 | 21.48 | 29.27 | 0.892 |
| UMS | A38 | 60 | 25 | 13.9824 | 195.7008 | 71.52 | 23.41 | 30.97 | 0.878 |
| TIME | B11E | 60 | 33 | 40.1798 | 129.9821 | 68.37 | 15.45 | 24.20 | 0.877 |
| MTD | A58 | 60 | 25 | 3.05123 | 108.202 | 72.05 | 24.69 | 31.06 | 0.870 |
| FMS | A5 | 0 | 66 | 21.1784 | 159.69943 | 90.14 | 24.67 | 35.10 | 0.868 |
| CSMTD | B4 | 30 | 38 | 30.6807 | 148.4869 | 141.45 | 23.44 | 34.48 | 0.854 |
| MTD | D2 | 60 | 62 | -34.9881 | 142.6474 | 128.78 | 29.01 | 37.21 | 0.808 |
| FMS | A38 | 60 | 25 | 21.4705 | 172.5365 | 95.43 | 29.92 | 39.02 | 0.798 |
| SMTD | D5 | 30 | 63 | 25.8322 | 129.6801 | 151.73 | 24.60 | 36.48 | 0.793 |
| FMS | A58 | 30 | 25 | 38.2133 | 154.6841 | 114.56 | 29.29 | 45.48 | 0.781 |
| ROUGH | A5E | 30 | 33 | 9.87855 | 215.1516 | 71.81 | 21.62 | 31.61 | 0.779 |
| MRGA | A3E | 30 | 33 | 32.535 | 247.3318 | 90.98 | 21.96 | 32.78 | 0.759 |
| MFD | A4 | 72 | 69 | -42.256 | 139.2028 | 145.97 | 35.23 | 48.18 | 0.714 |
| FINE | A5E | 30 | 33 | 21.2145 | 317.0124 | 115.30 | 20.81 | 43.74 | 0.496 |
| RFN | A14 | 0 | 68 | -130.262 | 3.70656 | 177.74 | 48.60 | 61.44 | 0.431 |
| RFN | B7 | 0 | 62 | -44.4114 | 2.82675 | 162.51 | 50.41 | 60.65 | 0.397 |

Version: 1.0.0.0
Device: Apollo 1.0.0.0
Date: 2010-08-08 10:00:00
Data: 2010-08-08 10:00:00
File: 2010-08-08 10:00:00
Path: C:\Program Files\Microsoft Office\Office12\Excel\Excel12.exe
Size: 1048576 bytes
Type: Microsoft Excel 12.0 spreadsheet
Version: 12.0.0.1052
Platform: x86
Architecture: x86

Cuadro N° 1.12: Regresión entre la Constante de velocidad y la constante de referencia

b) Determinación de la constante FR60

La constante FR60 se determina con la siguiente ecuación:

$$FR60 = FR(S) \times e^{(S - 60) / Sp}$$

FR60 = fricción a una velocidad de 60 Km/h

FR (S) = fricción a la velocidad de la medición del equipo

Sp = constante de velocidad

S = velocidad de medición o velocidad relativa de deslizamiento

Según las características propias de la rueda del equipo que mide la fricción, se determina la velocidad relativa de deslizamiento S de la siguiente manera:

S = velocidad del equipo durante el ensayo (V), para equipos con rueda bloqueada.

S = velocidad del equipo durante el ensayo (V), multiplicada por el tanto por uno de deslizamiento para equipo con rueda parcialmente bloqueada.

S = Velocidad del equipo durante el ensayo (V), multiplicada por el seno del ángulo de deriva de la rueda para equipos con rueda oblicua.

c) Determinación de la fricción de referencia F60

$$F60 = A + (B \times FR60) + (C \times Tx)$$

F60 = Fricción de referencia a 60Km/h

A, B, C = Constantes de calibración, propias de un equipo. Valores tomados de la tabla N° 25 del informe de la AIPCR, donde en la presente investigación es el cuadro N° 1.13. En la mayoría de los casos se encontró que C es prácticamente nulo (neumáticos lisos)

FR60 = Fricción a una velocidad de 60 Km/h

Es así como la pareja de valores F60 y Sp forman el Índice de Fricción Internacional (IFI): (F60, Sp)

International PIARC Experiment
Essai International AIPCR
Experimento Internacional AIPCR

TABLE 25. REGRESSIONS TO PREDICT GF60 USING THE PIARC MODEL $F60 = A + B \cdot FR60 + C \cdot EXP [(S-60)/S]$ WHERE S WAS DETERMINED USING MPD
TABLEAU 25. REGRESSIONS SERVANT A PREDIRE GF60 EN METTANT EN OEUVRE LE MODELE AIPCR $F60 = A + B \cdot FR60 + C \cdot EXP [(S-60)/S]$, DANS LEQUEL S A ETE
CALCULE A PARTIR DE LA MPD
TABLA 25. REGRESIONES PARA OBTENER GF60 UTILIZANDO EL MODELO AIPCR $F60 = A + B \cdot FR60 + C \cdot EXP [(S-60)/S]$, DONDE S SE HA DETERMINADO
UTILIZANDO MPD

| BLANK TYPE | S | n | A | B | C | Max E | Ave E | RMS E | R |
|-------------|----------|------|----------|---------|----------|-------|-------|--------|--------|
| LKD | B4524 | 45 | 0.04651 | 0.00942 | 0 | 0.025 | 0.020 | 0.0287 | 0.993 |
| | C6 | 45 | 0.00726 | 1.00767 | 0 | 0.050 | 0.016 | 0.0243 | 0.991 |
| SLP | B45.P.02 | 22 | 0.03033 | 0.66311 | 0 | 0.038 | 0.021 | 0.0267 | 0.98 |
| | B45.P.25 | 12 | 0.11917 | 0.64312 | 0 | 0.085 | 0.031 | 0.0411 | 0.915 |
| | Ca | 10 | 0.04195 | 0.64663 | 0 | 0.041 | 0.031 | 0.0394 | 0.936 |
| | C5 | 43 | 0.01083 | 0.0873 | 0 | 0.023 | 0.043 | 0.0584 | 0.61 |
| | D0 | 84 | 0.02829 | 0.9104 | 0 | 0.036 | 0.027 | 0.0246 | 0.917 |
| BFC | C8 | 12.5 | 0.05192 | 0.7702 | 0 | 0.091 | 0.029 | 0.0362 | 0.911 |
| | C9 | 12.9 | 0.1134 | 0.7291 | 0 | 0.081 | 0.024 | 0.0301 | 0.956 |
| | C10 | 20.5 | 0.1132 | 0.74581 | 0 | 0.085 | 0.025 | 0.0311 | 0.962 |
| | C3B | 20.5 | 0.04712 | 0.98726 | 0 | 0.074 | 0.023 | 0.032 | 0.935 |
| | C3E | 20.5 | 0.0188 | 0.8127 | 0 | 0.051 | 0.043 | 0.0508 | 0.838 |
| | C6E | 20.5 | 0.0319 | 0.8734 | 0 | 0.063 | 0.020 | 0.0267 | 0.939 |
| | D1E | 20.5 | 0.0191 | 0.8495 | 0 | 0.027 | 0.018 | 0.028 | 0.927 |
| | D2 | 20.5 | 0.02122 | 0.9272 | 0 | 0.113 | 0.029 | 0.0316 | 0.876 |
| | D3 | 20.5 | -0.00254 | 0.86211 | 0 | 0.066 | 0.029 | 0.0342 | 0.948 |
| | D4 | 20.5 | 0.00125 | 0.9827 | 0 | 0.094 | 0.031 | 0.0373 | 0.936 |
| | D5 | 17.1 | 0.03258 | 0.8717 | 0 | 0.112 | 0.030 | 0.0385 | 0.933 |
| RUBBER TIRE | | | | | | | | | |
| LKD | B1LKD | 60 | 0.02754 | 0.90525 | 0.042156 | 0.065 | 0.033 | 0.0419 | 0.922 |
| | B2LKD | 60 | 0.02234 | 0.9042 | 0.092196 | 0.114 | 0.037 | 0.0491 | 0.825 |
| | B3LKD | 60 | -0.07215 | 0.76744 | 0.085505 | 0.124 | 0.028 | 0.048 | 0.904 |
| | B6-501 | 60 | 0.02263 | 0.90662 | 0.092589 | 0.115 | 0.033 | 0.043 | 0.916 |
| | C1 | 60 | -0.02594 | 0.80665 | 0.067754 | 0.011 | 0.033 | 0.0414 | 0.827 |
| SLP | B1SLP | 12 | 0.14107 | 0.32256 | 0.07386 | 0.126 | 0.052 | 0.0624 | 0.8365 |
| | B2SLP | 12 | 0.02968 | 0.91648 | 0.01342 | 0.073 | 0.028 | 0.035 | 0.9496 |
| | B3 | 12 | 0.01664 | 0.85618 | -0.01589 | 0.064 | 0.029 | 0.0385 | 0.9415 |
| | B6SLP | 12 | 0.01662 | 0.8672 | -0.00589 | 0.110 | 0.033 | 0.0414 | 0.8179 |
| SLCRA | | | | | | | | | |
| A1360 | A1360 | 60 | 0.03565 | 0.77089 | 0 | 0.062 | 0.027 | 0.048 | 0.9 |
| | A1020 | 20 | 0.08114 | 0.74188 | 0 | 0.069 | 0.026 | 0.0307 | 0.9 |
| | A14-BPT | 10 | 0.05426 | 0.00756 | 0 | 0.109 | 0.043 | 0.0525 | 0.674 |
| | Q1-SRT | 10 | 0.0426 | 0.00663 | 0 | 0.173 | 0.030 | 0.0454 | 0.813 |

Blank E = Maximum absolute error. This value represents the maximum error.
Rubber E = Maximum absolute error. This value represents the maximum error.
Slip E = Maximum absolute error. This value represents the maximum error.
Slcra E = Maximum absolute error. This value represents the maximum error.

Max E = Maximum absolute error. This value represents the maximum error.
Ave E = Average absolute error. This value represents the average error.
RMS E = Root mean square of the residuals. This value represents the root mean square error.
R = Regression coefficient. This value represents the correlation coefficient.

Cuadro N° 1.13: Regresión entre la Constante de fricción

3º) Obtención de la curva fricción – deslizamiento

Se obtiene con los valores calculados IFI de un pavimento. Con esta curva se permite calcular el valor de la fricción F(S) a cualquier velocidad de deslizamiento S según la expresión siguiente:

$$F(S) = F60 \times e^{(60-S) / Sp}$$

1.4.2 Equipos para evaluar el Coeficiente de Fricción

Existen diferentes tipos de ensayo que evalúan la resistencia al deslizamiento. Entre estos están: SCRIM, Mu Meter, Griptester y el Péndulo TRRL. Debido a la importante influencia del agua en esta propiedad es que estos métodos han optado por normalizar los ensayos en condiciones de pavimento mojado. Sin embargo no existen a nivel internacional desarrollos homogéneos en la evaluación del coeficiente de fricción, siendo éstas diferencias las siguientes:

a) Tipo de Medida (Rueda)

- Rueda Oblicua

En estos equipos la rueda se mantiene formando un ángulo con respecto al sentido del movimiento sin aplicársele ninguna otra condición al frenado. Con estos equipos se mide el esfuerzo lateral, perpendicular al plano de rotación.

La velocidad relativa entre el neumático y el pavimento de estos equipos es equivalente a la velocidad del vehículo (V) por el seno del ángulo de deriva (α).

Esto quiere decir que es un equipo que mide a velocidades bajas, a pesar que la velocidad del vehículo sea alta.

Los equipos más usados con rueda oblicua son el SCRIM y el Mu-Meter.

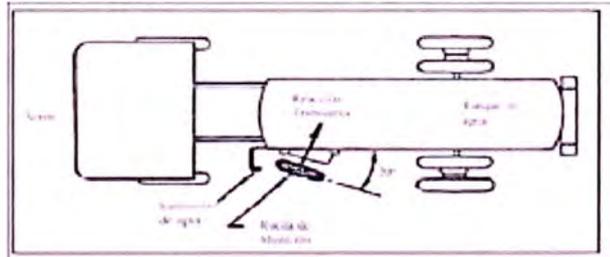


Figura N° 1.22: Equipo SCRIM



Figura N° 1.23: Equipo Mu-Meter

- Rueda bloqueada

Estos equipos producen un bloqueo del 100%, por lo que la velocidad relativa entre el neumático y el pavimento es igual a la del vehículo.

La fuerza se mide durante un segundo al aplicar el freno con la rueda completamente inmovilizada, por lo que detectan la fricción máxima.

El equipo más usado es el Trailer ASTM y el GRIPTESTER



Figura N° 1.24: Equipo GRIPTESTER

- Rueda parcialmente bloqueada (con grado de deslizamiento fijo)

Normalmente operan con un grado de deslizamiento del 10 al 20%. Tienen la ventaja de medir en forma continua, a diferencia de los equipos con rueda bloqueada.

La velocidad relativa entre el neumático y el pavimento de estos equipos es la velocidad de deslizamiento propio del equipo multiplicada por el tanto por uno de grado de deslizamiento.

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

- Rueda parcialmente bloqueada (con grado de deslizamiento variable)

Estos equipos permiten hacer un barrido dentro de una escala de valores, como también pueden encontrar la fricción máxima. Por lo que con estos equipos se obtiene la mayor información sobre las características de fricción.

Uno de los pocos equipos diseñados de esta manera es el Norsemeter.

- Zapata

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

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



Figura N° 1.25: Equipo Péndulo de Fricción

b) La velocidad de medida

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

c) El espesor de la película de agua

La mayoría de estos equipos al avanzar van dejando una película de agua. El espesor de ésta película será diferente de acuerdo a cada equipo, por ejemplo, 0.5mm ó 1mm de espesor.

En el caso de otros equipos es necesario rociar agua antes de evaluar el pavimento, como es el caso del Péndulo Británico.

CAPITULO II: FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO

Desde la etapa de pre-inversión, se incorpora en las evaluaciones técnico-económicas el aspecto del mantenimiento vial por estar íntimamente ligado a la ecuación total del costo del transporte para la sociedad en su conjunto (costo social). Así, un buen proyecto será el que minimice el costo social del proyecto, cumpliendo con los parámetros de calidad de servicio fijados en las metas programadas y/o planificadas en un proyecto vial.

El proyecto vial, entonces, considera desde el comienzo los factores que condicionan el comportamiento de los componentes de la infraestructura vial a lo largo de su vida útil de operación.

En lo que concierne a los estudios de pre-inversión, el objetivo concretamente es determinar las características técnicas que deberá tener la carretera para satisfacer, en términos técnico-económicos, la demanda durante ese periodo, bajo las condiciones prevalecientes y proyectadas previsiblemente, de las características de esa demanda de usuarios. Pero, con mayor razón en el Perú, dadas las características de la agreste morfología del terreno, las condiciones inclementes que impone el medio ambiente natural, y, lamentablemente, la acción humana sobre la carretera y su conservación.

2.1. AUSENCIA DE MANTENIMIENTO

La ausencia de mantenimiento es el principal factor de deterioro de la vía, por lo que se debe contar con instructivos y procedimientos que faciliten la recolección de la información concerniente al estado del camino expresado en términos de la irregularidad de la superficie de rodamiento, la presencia y magnitud de deterioros y el estado del drenaje. Es necesario además incluir la descripción de los tipos de deterioro y grados de severidad.

A partir de la combinación de daños y deterioros que pueden encontrarse bajo ciertas circunstancias en un camino o en una fracción del mismo, se necesitan protocolos que permitan establecer el estado de un camino en un momento dado, de forma tal que sea factible y objetiva la selección del tipo de

mantenimiento que se le puede dar a la vía para prolongar su funcionamiento y serviciabilidad de los usuarios.

2.2. SOLICITACION POR TRÁNSITO

El tránsito de vehículos sobre la carretera es el otro gran factor que impacta sobre la estructura de la carretera y, en especial, sobre su capa o estructura de rodadura.

Aspectos como el número de vehículos que usarán la carretera, sus características físicas y operativas, su peso bruto y sus pesos por ejes, incluso la presión usada en sus neumáticos, tienen enorme significado sobre el tipo de superficie de rodadura y otras estructuras que deberá tener la carretera y sobre las capacidades, única o variable a lo largo de su periodo de vida que será necesaria para la estructura de la superficie de rodadura, según resulte de las investigaciones y del análisis que deberá realizarse en las oportunidades que sea también necesario.

2.3. CLIMA

La acción del medio sobre la carretera tiene varias manifestaciones que los ingenieros deberán tomar en consideración permanentemente, ya que contribuye en gran proporción a ser la causa de los deterioros que sufrirá la carretera. Ellos deben ser identificados, tipificados y estudiados detenidamente, a fin de prever su acción, sea para tratar de evitarlos o mitigarlos, o una vez producidos los hechos, corregirlos y preverlos para el futuro.

El clima tiene una enorme importancia debido a que puede significar altas o muy bajas temperaturas y variaciones estacionales o en cortos periodos.

También la magnitud de las precipitaciones de lluvias o la falta de ellas, tienen impactos distintos sobre los requerimientos de los proyectos. Las lluvias en conjunto con las características del territorio, (sea éste llano, ondulado o accidentado) y los suelos, generan la presencia de cursos de aguas, pequeños o grandes, permanentes o esporádicos, tranquilos o torrentosos, etc., que producen una gran variedad de circunstancias que, a su vez, significan impactos

sobre las carreteras y la estabilidad, tanto de los terraplenes como de la capa de rodadura.

2.4. CAPACIDAD ESTRUCTURAL

La capa de rodadura o superficie de la vía puede estar construida a nivel de afirmado o de pavimento, sobre la cual es posible la circulación normal de los vehículos en forma cómoda y rápida, dada su condición de firmeza y superficie homogénea.

Adicionalmente, conocidas sus condiciones o estado, es posible saber dónde y en qué proporción se deben realizar los mayores esfuerzos de conservación, asignando en éstos sitios las mayores partidas para los trabajos de mantenimiento.

2.5. SUELO DE FUNDACIÓN

La fisiografía, la geología, la orografía, etc. y la existencia o no de bancos o canteras de materiales o de recursos acuíferos para los proyectos en el territorio, son factores que imponen condiciones a las características del proyecto, debido a que afectan los costos de inversión, de conservación y de operación, tanto de los usuarios como de la propia gestión vial.

CAPITULO III: POLÍTICA DE MANTENIMIENTO

3.1. POLÍTICAS DE MANTENIMIENTO

Las políticas son los compromisos e ideología con la cual se desenvuelve una Organización.

Es el “plan permanente que proporciona guías generales para canalizar el pensamiento administrativo en direcciones específicas” (Cristina Martínez. Manual de políticas).

Plan de Mantenimiento. Corresponde a la planificación ordenada, resumida y justificada de todas las actividades necesarias para gestionar en forma adecuada la infraestructura en todo el periodo de análisis.

La elaboración de un plan de mantenimiento permite responder las preguntas básicas de un sistema de gestión: ¿Qué hacer?, ¿Cuánto hacer?, ¿Cuándo hacerlo? y ¿Dónde hacerlo?

Las políticas de mantenimiento que se propone adoptar para la vía en estudio, basados en la textura del pavimento son:

1. Niveles de servicio exigidos
2. Actividades u operaciones a realizar
3. Criterios de frecuencia

Ejemplos:

Nivel de servicio: Porcentaje de grietas mayor al 15%

Actividades de mantención: Slurry seal, sello asfáltico

Frecuencia de intervención: por respuesta o estudio de textura

Política General de Mantenimiento Rutinario

El Mantenimiento Rutinario estará basado fundamentalmente en la programación de las actividades de acuerdo a su priorización, frecuencia y tiempos de respuesta.

Política general de Priorizaciones

La primera y más importante priorización es la de anteponer los trabajos de emergencia a los de mantenimiento rutinario y dentro de éstos, los que son previsible de periodicidad desconocida a los de periodicidad conocida.

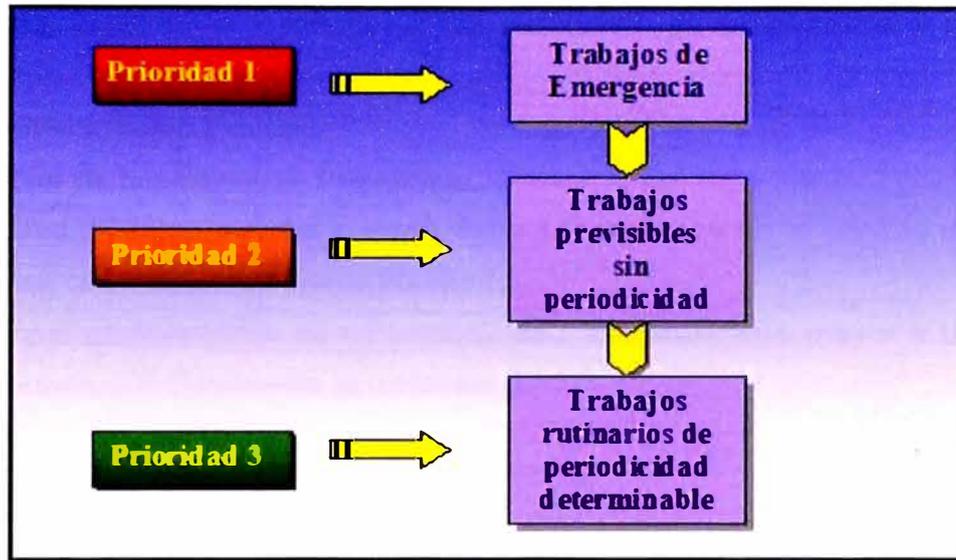


Figura No 3.01: Priorizaciones de mantenimiento.

3.2. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

3.2.1 Mantenimiento Rutinario.

Es el conjunto de actividades que se ejecutan dentro del Presupuesto Anual para conservar la calzada, el sistema de drenaje, área lateral, la señalización y las obras de arte en general. Estos trabajos tienen el carácter de preventivo y se ejecutan, según sea el caso en diversa magnitud (limitada e ilimitada), durante todo el año para conservar la adecuada transitabilidad y evitar el deterioro prematuro de la carretera, de acuerdo a una programación elaborada en función de prioridades, estacionalidad y características de la carretera.

Actividades destinadas a reparar o reponer, las veces que sea necesario, situaciones de deterioro que se producen a lo largo de todo el año, cualquiera sea el nivel de tránsito y condiciones meteorológicas, dentro de las actividades de mantenimiento rutinario se puede mencionar:

- Limpieza de obras de saneamiento

- Limpieza y despeje del área de concesión (tala de árboles, desmalezamiento, extracción de basura, etc.)
- Reperfilado simple de calzada y bermas granulares
- Relleno de juntas y grietas
- Bacheos
- Limpieza, reparación y reemplazo de elementos de señalización y seguridad vial.

3.2.2 Mantenimiento Periódico.

Su carácter es básicamente Preventivo.

La cantidad de reparaciones previas debe ser menor, y en lo posible deben ser ejecutadas como Mantenimiento Rutinario.

Su principal característica es su periodicidad, generalmente mayor a un año. Y está asociada principalmente al pavimento.

Reparaciones Previas

- Bacheo de calzada y bermas
- Sello/Relleno de grietas
- Fresados/Microfresados

Tratamientos Superficiales

- Sand Seal (Sello de Arena)
- Slurry Seal (Mortero Asfáltico)
- Chip Seal (Sello de Gravilla)
- Cape Seal
- Otta Seal
- Micropavimentos (Microsurfacing)

En el mantenimiento periódico no se incluyen las correspondientes al mantenimiento del derecho de vía, explanaciones, drenaje, cauces, estructuras y señalización, las mismas que están cubiertas absolutamente por el mantenimiento rutinario y/o las obras de mantenimiento puntual.

Se entiende que anualmente las actividades deberán evitar el deterioro de la carretera.

El mantenimiento periódico es la actividad que se ejecuta sólo para reconformar y restablecer las características técnicas de la superficie de rodadura.

La actividad se repite en periodos de más de un año, según el efecto del tránsito.

El mantenimiento periódico puede, en cierta medida, programarse con alguna anticipación, pues son determinadas por el tránsito y/o condiciones meteorológicas. Son repetitivas cada cierto tiempo que puede predefinirse con el fin de mantener las condiciones de diseño y brindar un buen nivel de seguridad y servicio. Las actividades de mantenimiento periódico comprenden:

- Recebo de carpetas granulares
- Sellos asfálticos
- Reparación de defensas fluviales
- Etc.

3.2.3 Mantenimiento Diferido o Restauración.

Corresponde a aquellas actividades de mantenimiento o refuerzo que se ejecutan para reponer el nivel de servicio de los caminos, incluyendo obras que permitan mantener la serviciabilidad dentro de márgenes establecidos. Este tipo de mantenimiento comprende:

- Tratamientos superficiales
- Micropavimentos
- Recapados
- Repavimentación

3.3. CRITERIOS DE INTERVENCIÓN Y DEFINICIÓN DE ESTANDARES

La regularidad superficial, los daños y la medición de deflexiones se usan para establecer cuales tramos del proyecto tienen mayor urgencia de mantenimiento y rehabilitación.

Una vez identificados los tramos del proyecto con la condición más crítica se evalúan estrategias para su mantenimiento y si fuese el caso su reparación.

Los niveles de intervención resultantes de la ejecución del presupuesto anual para cada actividad de conservación, están referidos a:

a) Condición: Definida por los deterioros, o estado de los diferentes elementos de la carretera, tales como: superficie de rodadura, drenaje, existencia o no de grava en el afirmado. Los niveles de condición que están definidos en la

metodología visual de reconocimiento, son: Muy bueno, Bueno, Regular, Malo y Muy malo.

b) Ubicación: Definida por la ubicación geográfica: Costa, Sierra y Selva.

c) Volumen de tránsito: Mediante el cual se distinguen cinco tipos de niveles de intervención y su aplicación está en función del IMD:

1) Nivel de Intervención 0: Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito clase 0, con IMD igual o menor a 15 vehículos por día.

2) Nivel de Intervención 1: Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito clase 1, con IMD entre 16 y 50 vehículos día.

3) Nivel de Intervención 2: Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito clase 2, con IMD entre 51 y 100 vehículos día.

4) Nivel de Intervención 3: Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito clase 3, con IMD entre 101 y 200 vehículos día.

5) Nivel de Intervención 4: Se utilizará en las carreteras de bajo volumen de tránsito clase 4, con IMD mayor a 200 vehículos día.

Se pueden variar los niveles de intervención de una clase de carretera a otra si son justificados los requerimientos; inclusive se pueden variar las normas de cantidad si son justificadas las cantidades requeridas para la carretera a conservar.

3.3.1 Criterios de Intervención.

Factores que afectan la selección del tratamiento

- Edad del pavimento
- Condición del pavimento
- Clima
- Niveles de tráfico actual y esperado.
- Disponibilidad de fondos
- Política de la organización

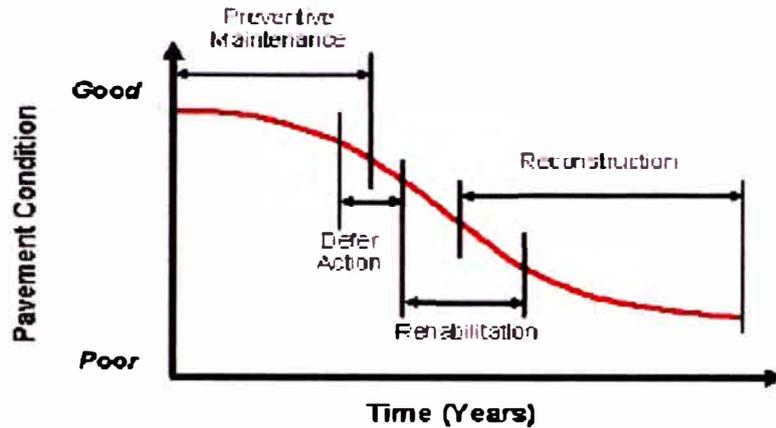


Figura No 3.02: Selección del tratamiento basada en la condición del pavimento

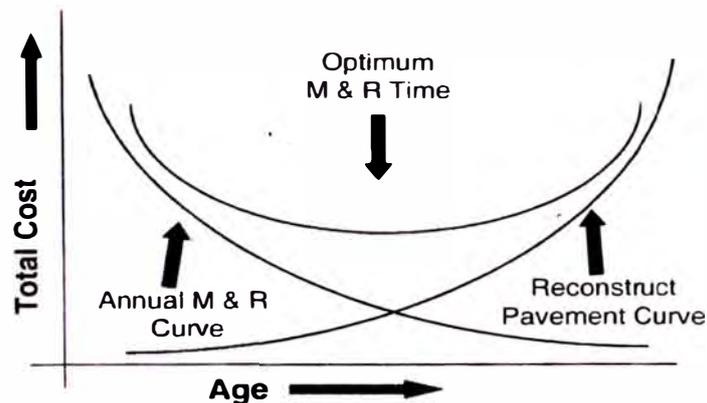


Figura No 3.03: Selección del tratamiento basada en el mínimo costo y tiempo óptimo

TEMAS QUE DIRECCIONAN LA SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO

- ¿Funcionará el tratamiento?
- ¿Se puede llevar a cabo la preparación del tratamiento requerido?
- ¿El tratamiento es de costo efectivo?

PROCESO GENERAL DE SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO

Factores a considerar

Curvas de desempeño del pavimento

Selección de los tratamientos apropiados, incluyendo efectividad del costo.

| CONCRETO ASFÁLTICO | CONCRETO CEMENTO |
|------------------------------------|------------------------------------|
| Sellos (Fog, Sand, Slurry, Chip) | Sello de juntas |
| Sello/Relleno de fisuras o grietas | Reparación parcial/Profunda |
| Micropavimento | Reparación de Dowells |
| Recapa delgada | Cepillado |
| Chip Seal con geomembrana | |
| Reciclado | |

Cuadro No 3.01: Tratamientos típicos (Fuente: Elaboración Propia)

A continuación se da una aproximación a la selección del tratamiento

- Estimar la condición existente del pavimento
 - Realizar inspección visual y/o revisar información del proyecto.
 - Relevar información con mediciones instrumentales (Textura).
 - Realizar ensayos del pavimento existente, de acuerdo a las condiciones requeridas.
 - Definir los requerimientos de desempeño del tratamiento.
- Determinar la factibilidad de las opciones de tratamiento
- Analizar y comparar la factibilidad de las opciones de tratamiento.
 - Pueden ser factibles varias opciones.
 - La vida y costo de los tratamientos varían.
 - Efecto del tratamiento en la extensión de la vida útil del pavimento existente.
 - Otros factores a considerar: Efectividad del costo, el tiempo del tratamiento, nivel del tráfico y constructabilidad.
- Bases para el Programa de Mantenimiento
 - Programar el Mantenimiento.
 - Evaluar la aplicabilidad de varios tratamientos.
 - Comparación basada en la condición del pavimento y factores ambientales.
 - Evaluar aplicabilidad basada en la condición del tipo de falla así como la extensión del agrietamiento.

| TRATAMIENTO | Buena Condición | Regular Condición | Pobre condición |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Fog Seal | 3 – 5 | 1 – 3 | 1 – 2 |
| Chip Seal | 7 – 10 | 3 – 5 | 1 – 3 |
| Slurry Seal | 7 – 10 | 3 – 5 | 1 – 3 |
| Micropavimento | 8 – 12 | 5 – 7 | 2 – 4 |
| Recapa delgada | 10 – 12 | 5 – 7 | 2 – 4 |
| Sand Seal | | | 2 – 4 |
| Cape Seal | 8 – 10 | | |
| Doble Otta Seal | 12 – 16 | | |

Cuadro No 3.02: Vida útil estimada de los tratamientos

Dentro de las actividades de mantenimiento periódico se puede mencionar los siguientes:

- Tratamientos Superficiales
- Propósito:
 - Sellar fisuras
 - Impermeabilizar la superficie
 - Mejorar la fricción
 - Mejorar la comodidad en la conducción
 - Rejuvenecer la superficie

Fog Seal

Descripción: Aplicación ligera de emulsión asfáltica diluida sin cobertura de agregado.

Propósito

- Sellar el pavimento
- Reducir el desgaste
- Refrescar el asfalto oxidado

Aspectos Críticos

- Muy sensible a la tasa: 1:2 a 1:6 (Emulsión/Agua).
- No es un riego común. Tipo Spray.
- Riesgo de exudación

Procedimiento

- Limpieza
- Riego pulverizado
- Curado

Sand Seal

Descripción: Aplicación de asfalto y arena, rodillada sobre el pavimento.

Propósito

- Sellar el pavimento
- Enriquecer el asfalto oxidado/endurecido
- Recuperar pérdida inicial de finos.
- Mejorar fricción superficial
- Impermeabilizar la superficie

Aspectos Críticos

- Calidad del agregado: Limpio, sin exceso de finos.
- Tasa de asfalto.
- Topografía del trazo.
- Calidad de la cantera.

Procedimiento

- Limpieza
- Riego de emulsión asfáltica. CRS
- Esparcido de arena
- Compactación/Rodillado inmediato
- Curado (4 a 24 horas)

Slurry Seal

Descripción: Mezcla de emulsión asfáltica CSS y agregado bien graduado.

Propósito

- Sellar fisuras superficiales
- Corregir el desgaste, la oxidación e irregularidades menores.
- Restaurar la fricción

Aspectos Críticos

- Diseño de la mezcla
- Topografía del trazo.
- Uso de polímeros.

Procedimiento

- Limpieza del pavimento
- Mezclado
- Colocación de la mezcla (mortero)

- Curado (2 a 4 horas)

Chip Seal

Descripción: Aplicación de asfalto y piedrecillas, rodilladas sobre el pavimento.

Propósito

- Sellar el pavimento
- Enriquecer el asfalto oxidado/endurecido
- Retardar reflexión de agrietamientos
- Mejorar fricción superficial
- Impermeabilizar la superficie

Aspectos Críticos

- Calidad del agregado: Limpio, uniforme, anguloso
- Topografía del trazo.
- Calidad de la cantera.

Procedimiento

- Limpieza
- Riego de emulsión asfáltica (0.20 a 0.35 gal/m²)
- Esparcido de agregado
- Compactación inmediata
- Curado (4 a 24 horas)

Cape Seal

Descripción: Combinación de chip seal y slurry seal (o micropavimento) para formar una superficie más durable

Propósito

- Sellar el pavimento
- Retardar reflexión de fisuras
- Mejorar la fricción

Aspectos Críticos

- Diseño de la mezcla de Slurry
- Calidad de agregados de Chip
- Limpieza de agregados

Procedimiento

- Limpieza del pavimento

- Riego de emulsión asfáltica CRS
- Compactación
- Curado: (4 a 24 horas)
- Mezclado
- Colocación de la mezcla (mortero)
- Curado (2 a 8 horas)

Micro pavimento

Descripción: Mezcla de agregados de alta calidad con emulsión asfáltica modificada con polímeros

Propósito

- Sellar la superficie del pavimento
- Inhibir el desgaste y oxidación superficial
- Mejorar la fricción superficial
- Rellenar ahuellamientos e irregularidades menores

Aspectos Críticos

- Diseño de la mezcla
- Rotura de Emulsión asfáltica (Quick Setting)
- Uso de polímeros.
- Calidad de agregados

Procedimiento

- Limpieza del pavimento
- Mezclado
- Colocación de la mezcla (mortero)
- Curado (1/2 a 3 horas)

Scrub Seal

Descripción: Aplicación de arena sobre una capa de asfalto barrido.

Propósito

- Rellenar y sellar fisuras y vacíos pequeños
- Enriquecer asfalto oxidado
- Preparación para otro tratamiento

Aspectos Críticos

- Tasa de emulsión asfáltica

- Calidad de la arena
- Barrido

Procedimiento

- Limpieza del pavimento
- Riego de emulsión asfáltica CSS
- Extendido de arena
- Barrido de la arena
- Curado: (2 a 4 horas)

Otta Seal

Descripción: Aplicación de asfalto relativamente blando y agregado, rodillado sobre una base.

Propósito

- Proporcionar una superficie de rodadura
- Mejorar fricción superficial
- Impermeabilizar la superficie

Aspectos Críticos

- Emulsión relativamente blanda
- Apariencia final recién a los 4 a 6 meses.
- El agregado es graduado.

Procedimiento

- Limpieza
- Riego de emulsión asfáltica
- Esparcido de agregado
- Compactación inmediata
- Curado (4 a 12 horas)

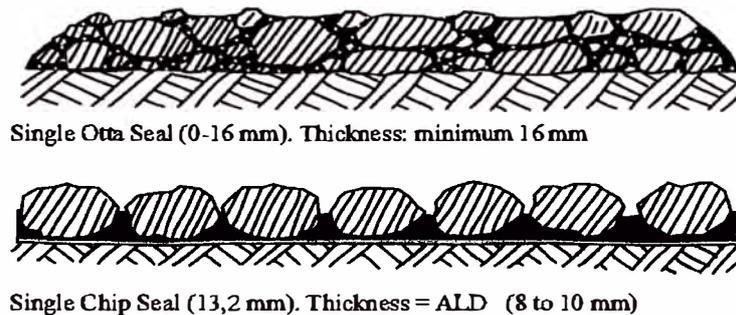


Figura No 3.04: Diferencia de textura entre Otta Seal y Chip Seal

3.3.2 Estándares y normas de calidad

- ✦ Las organizaciones primero deben cumplir los estándares y normas especificados y legalmente establecidos.
- ✦ Pueden definir sus propios estándares y normas, que deben ser de igual o mayor exigencia que las exigidas.
- ✦ No pueden ser de menor exigencia que las obligatorias.

Estándares de las actividades:

- ✦ Para que las cuadrillas desarrollen su trabajo con calidad, la organización o empresa, primero debe definir el estándar o nivel de calidad que desea para cada actividad.
- ✦ Se debe comunicar y capacitar a los trabajadores en los estándares.

Existen tres tipos de estándares:

- ✦ *Estándares de Calidad:* Definen una condición física que indican la necesidad de ejecutar actividades de mantenimiento y reparación, así como prescribe el carácter del trabajo y las propiedades del producto acabado.
- ✦ Se deben establecer los Niveles de Servicio para cada actividad a fin de cumplir con lo siguiente:
 - Proveer dirección para el personal de campo para asegurar uniformidad del esfuerzo del mantenimiento por la organización.
 - Proveer una herramienta para la programación y presupuesto.
 - Definir un nivel de calidad del mantenimiento uniforme para el cual la vía ha sido definida.
- ✦ Los Niveles de Servicio pueden definirse de las siguientes maneras:

- Es un valor umbral específico que gatilla los requerimientos de una actividad de mantenimiento.
- Una descripción escrita que plantea el esfuerzo de mantenimiento autorizado, por una actividad específica.
- Una frecuencia definida de un esfuerzo de mantenimiento, o un número predeterminado de inspecciones en un tiempo específico.
- Una política de reemplazo de la pérdida, reparación de lo dañado, o eliminación de lo indeseable.

✦ *Estándares de Desempeño:* describen un método general del desempeño de una tarea, los recursos requeridos y el índice al cual el trabajo tiene que ser desempeñado. Más específicamente, los Estándares de desempeño, proveen lo siguiente:

- Una descripción del trabajo y el propósito de la actividad.
- El procedimiento general a ser seguido en la ejecución del trabajo.
- Los recursos requeridos (Personal, equipos y materiales).
- Un índice al cual el trabajo debe ser desempeñado (producción).
- Una declaración de la calidad deseada (algunas veces).

✦ *Estándar de Cantidad:* Especifican cuan a menudo una actividad debe ser desempeñada para mantener las características viales en el Nivel de Servicio deseado. Para una actividad de mantenimiento dada, los rendimientos o índices especificados pueden variar entre clases de vías. Los Estándares de Cantidad, brindan la información necesaria para desarrollar programas eficientes de trabajo, con los estándares de desempeño, de los registros de desempeño pasados, o de la experiencia del personal de mantenimiento.

Propuesta de política de mantenimiento:

La selección de la mejor alternativa de mantenimiento para una sección de pavimento depende de:

- Condición actual del pavimento.
- Adecuación del tratamiento (intervención) para las condiciones actuales del pavimento.
- Vida útil del tratamiento.
- Costo de aplicar y mantener el tratamiento.

Reconocimiento del problema:

El primero de los problemas que se pudo apreciar fue las dimensiones de las gibas, los cuales se presentan de tamaños mayores para el tipo y cantidad de vehículos que transitan por dicha carretera, esto origina la disminución del confort para los usuarios y perjudica el buen funcionamiento del vehículo. Además, estas gibas, que presentan dimensiones considerables se encuentran también en las curvas, ubicados por seguridad, los cuales indirectamente generan reacciones de frenado bruscos por los usuarios lo cual perjudica al pavimento generando desprendimiento y desgaste de los agregados y empieza a fallar el tratamiento superficial en estas zonas de frenado.

Propuesta de Mantenimiento:

Serviciabilidad:

El Deterioro Funcional del pavimento se relaciona principalmente con la calidad de la superficie de éste, y afecta negativamente la serviciabilidad (confort y costo de operación del usuario) y la seguridad de circulación. Entre este tipo de deficiencias se encuentra la pérdida de fricción.

Para mantener un adecuado confort de la vía es necesario reducir las dimensiones de las gibas (altura), con el propósito de lograr una buena serviciabilidad para el usuario y disminuir los daños que se puedan generar al vehículo.

Actividades de mantenimiento

Se propone para evitar los frenados bruscos de los usuarios en las zonas de gibas, mantener y/o establecer antes de las gibas, a una distancia considerable y determinada por el tiempo de frenado, colocar reductores de velocidad, logrando así que la fricción entre el neumático y el pavimento sea mínimo y no afecte o

deteriore esta zona del pavimento, ya que esto puede ser el inicio del deterioro, enfocado desde el punto de vista de la macrotextura, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona.

Frecuencia de Intervención

La intervención debe ser considerado como mantenimiento rutinario o de emergencia, ya que no se cuenta con un antecedente al respecto para poder determinar la frecuencia necesaria con la que se puede intervenir.

Además es necesario adoptar como Políticas de Mantenimiento lo siguiente:

1. Fortalecimiento de los sistemas para la determinación de prioridades, para atender planificadamente y no por demanda social.
2. Promover la investigación de nuevas tecnologías aplicada a pavimentos para diferentes clases de caminos y niveles de intervención.
3. Asignación de mayores recursos presupuestales permanentes en los presupuestos anuales de los diferentes niveles de gobierno, para garantizar un mantenimiento continuo.
4. Desarrollo de una cultura del mantenimiento vial
5. Mejor articulación entre los programas de trabajo del Gobierno Nacional con los programas de Gobiernos Regionales y Locales.
6. Avance en las concesiones.
7. La contratación con terceros tiene mayor impacto, genera empleo local, dinamiza la economía local y regional, desarrolla empresarios locales.
8. Considerar en todas las actividades de conservación aspectos de seguridad vial, de señalización informativa, de medio ambiente y de participación ciudadana cuando corresponda.
9. Se debe establecer un lineamiento básico de la Dirección de Vialidad del país de: "La Priorizar el Mantenimiento de la Vialidad existente en relación a la construcción de nuevos caminos".

CONCLUSIONES

- 1.- Esta claro entonces que uno de los factores más importantes que incide en la resistencia al deslizamiento entre el neumático y el pavimento es la textura superficial. Por lo tanto si existe una adecuada textura superficial significa que se puede minimizar a los demás factores que la afectan.
- 2.- Actualmente en el Perú no se cuenta con estudios anteriores o antecedentes respecto al empleo de los ensayos para determinar la textura. Es importante crear conciencia de esto, especialmente entre los ingenieros de pavimentos y ahora los ingenieros especializados en este tipo de contratos y modalidades de mantenimiento, ya que una de las responsabilidades más importantes de todo ingeniero es proporcionar seguridad a los usuarios.
- 3.- Existen diferentes equipos para medir la macrotextura de un pavimento, unos más sofisticados que otros. Por tal motivo, es importante que en el Perú exista una tendencia de traer equipos sofisticados para una evaluación más eficiente y sobre todo compararlos con el circulo de arena, ya que este ensayo es uno de los más económicos y prácticos.
- 4.- Es necesario estudiar el Índice de Fricción Internacional, ya que éste armoniza y se puede comparar sus resultados. Para de esta manera tener una idea de los resultados de los diferentes ensayos alrededor del mundo.
- 5.- Las normas internacionales para evaluar la textura superficial, son muy importantes, ya que la experiencia obtenida en otros países y/o de otros estudios permite tener una idea de cómo evalúan la textura en los diferentes países, así como los resultados obtenidos.
- 6.- Es importante recalcar que las políticas de mantenimiento deben ser bien establecidas, ya que de estas dependerá los resultados de un buen mantenimiento y por tal el beneficio de los usuarios.

7.- Actualmente no se tiene un registro y/o estudio de la condición del pavimento, en donde se puedan ocasionar frenados bruscos, lo cual dificulta determinar la frecuencia con que se deba realizar el mantenimiento respectivo.

8.- Es importante y urgente que se establezca las políticas de mantenimiento propuestas en este informe y otros que se puedan proponer reforzándolas, como único fin el confort y seguridad del usuario y el desarrollo del país.

9.- Se concluye de este informe que, teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona, se debe establecer mayoritariamente políticas de mantenimiento rutinario y/o de emergencia, teniendo en cuenta que se ha encontrado zonas donde la textura del pavimento es deficiente y en zonas muy cercanas a esta recién se a realizado el tratamiento superficial.

10.- El mantenimiento periódico es preventivo porque previene la aparición de daños que aumentan el deterioro y disminuyen la vida útil del pavimento.

11.- La ausencia de mantenimiento y el clima son los principales factores que influyen en el deterioro de la carretera Cañete - Chupaca, ya que como se puede apreciar en el cuadro N° 1.02, en la zona se presentan precipitaciones de 800 a 1200 mm/año.

12.- En este informe se realizó el ensayo del círculo de arena para determinar la macrotextura de la superficie, pero los datos obtenidos y la falta de antecedentes resultaron insuficientes, por lo tanto no se puede determinar una curva de deterioro del pavimento y, por consiguiente no se puede definir la frecuencia con que se debe intervenir la vía para mantenerlo servicable.

RECOMENDACIONES

- 1.- Establecer umbrales de F60 y Sp, esto se pueden usar para una estrategia apropiada de mantenimiento a partir de los datos tomados con los equipos propios del lugar. Estos umbrales deberían ser distintos para diferentes clases de caminos.
- 2.- Darle una mayor importancia al tema de mantenimiento y/o conservación de carreteras de bajo volumen de tránsito, ya que en nuestro país no existe una política de mantenimiento, lo que conlleva al rápido deterioro de las vías.
- 3.- Para realizar una inspección más completa y eficiente se recomienda realizar un estudio exhaustivo de la macrotextura en la vía de estudio, y realizar este estudio con dos o tres métodos de ensayo, para de esta manera establecer la concordancia entre los ensayos.
- 4.- Es importante realizar el mantenimiento rutinario y periódico de las carreteras, ya que un buen mantenimiento dará como resultado una vida útil mayor o igual a la que fue proyectada.
- 5.- Se recomienda realizar el estudio de la condición de la macrotextura en zonas donde se realizan frenados bruscos, debido a que aquí el pavimento sufre daños considerables por la fricción entre el neumático y pavimento.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraza Elésperu, Giuliana.
Tesis Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos Flexibles: Propuesta de Norma Peruana.
Año, 2004.
- COMITÉ TÉCNICO AIPCR DE CARACTERISTICAS SUPERFICIALES
Experimento Internacional AIPCR de Comparación y armonización de las Medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento.
París, 1995: ASOCIACIÓN MUNDIAL DE LA CARRETERA
- CRESPO, Ramón
El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y aplicaciones.
(<http://www.aepo.es/ausc/publ/ifi.pdf>)
Año, 2003.
- DE SOLMINHAC, Hernán y ECHAVEGUREN, Tomás
Antecedentes para la inspección y diseño de especificaciones de textura, Resistencia al deslizamiento y fricción en pavimentos.
([http://www.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/35HernandeSolminihacResistenciaadeslizamiento.pdf](http://www.udec.cl/~provincial/trabajos_pdf/35HernandeSolminihacResistenciaaadeslizamiento.pdf)).
Año, 2003.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
Especificaciones Generales de Carreteras, sección 410
Lima, 2000.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito
Abril, 2008.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
Manual para la Conservación de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito. Volumen II.
Marzo, 2008.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
Manual Para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito.

Marzo, 2008.

- ROCO, Víctor; FUENTES, Claudio y VALVERDE, Sergio
Evaluación de la resistencia al deslizamiento en pavimentos chilenos
(http://www.udec.cl/~provia/trabajos_pdf/33VictorRocoResistenciaDeslizamiento.pdf).
Año 2003.

ANEXOS

Anexo N° 1:

Método del círculo de la arena

TEXTURA SUPERFICIAL MÉTODO DEL CÍRCULO DE ARENA

MTC E 1005 – 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM E 965 , la misma que se ha adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. OBJETIVO

1.1 Determinar la profundidad de penetración de un volumen conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie de un pavimento, valor que se denomina "profundidad de textura".

2. APARATOS Y MATERIALES

2.1 Cilindros de bronce de 10, 25 y 50 centímetros cúbicos (cm³) de capacidad.

2.2 Un recipiente plástico para guardar arena, de unos 250 (cm³) centímetros cúbicos de capacidad.

2.3 Un disco de madera de 15 cm de diámetro, con una base de caucho de aproximadamente 1 ½ mm de espesor y un pequeño vástago que sirva de mango.

2.4 Una regla marcada en mm.

2.5 Una brocha.

2.6 Arena que pasa por el tamiz de 300 mm (No. 50) y quede retenida en el de 150 mm (No. 100). Puede emplearse arena natural con partículas redondeadas.

3. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

3.1 Limpiarse cuidadosamente con brocha el área de pavimento debiendo estar seca además.

3.2 Llenar con arena el cilindro de bronce para el ensayo y golpeándose unas tres veces para acomodar la arena, la cual debe enrasarse posteriormente para garantizar el volumen adecuado.

3.3 Se vierte la arena sobre la superficie del pavimento que se va a ensayar.

3.4 Con el disco de madera se distribuye la arena sobre la superficie formando un círculo, el cual debe irse extendiendo de manera que llene las asperezas del pavimento hasta el instante en que se advierten visualmente los picos de estas asperezas

3.5 Se determina, con base en tres medidas, el diámetro medio del círculo de arena.

4. CALCULOS

4.1 Conocido el volumen de arena empleado para el ensayo (V) y el diámetro medio del círculo (D), se calcula la profundidad de penetración de la arena dentro de las asperezas o "profundidad de textura" (Pt), mediante la expresión (Figura 1).

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

5. INFORME

5.1 En el informe deberá relacionarse el sitio de ensayo con el abscisado de la carretera, indicando además el tipo de capa de rodadura, la "profundidad de textura" y una clasificación visual de la textura, con base en las indicaciones de la Figura 2.

6. REFERENCIAS NORMATIVAS

| | |
|------|--------|
| ASTM | E 965. |
|------|--------|

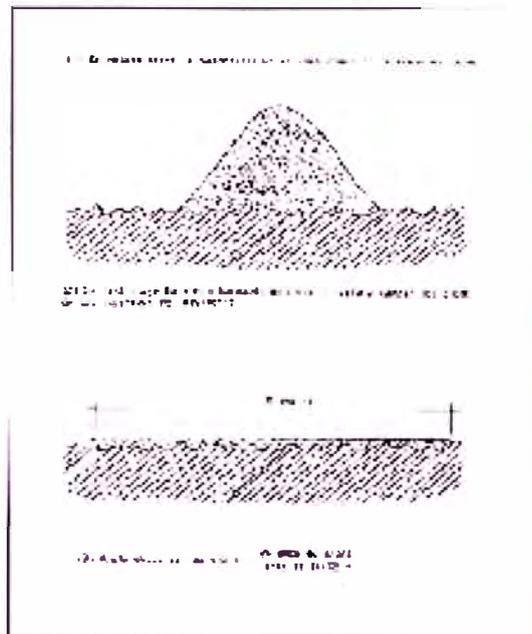


Figure 1: Mound with a diameter of 100 meters and a height of 10 meters.

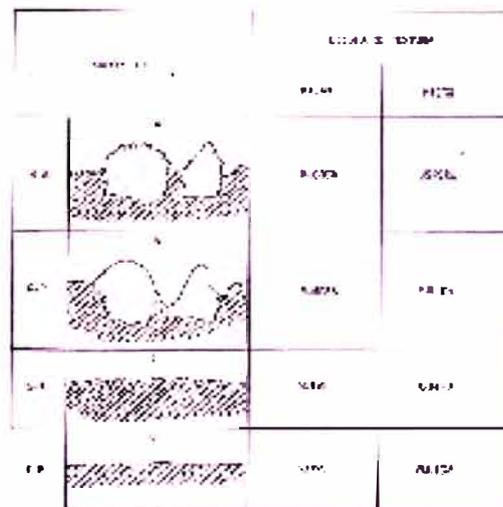


Figure 2: Mound with a diameter of 100 meters and a height of 10 meters. The plan data is shown in the table above.

Anexo N° 2:

Video Láser RST

TEXTURA SUPERFICIAL VIDEO LÁSER RST

Con el **Video-Láser RST**, se calcula un valor de la media cuadrática (RMS) cada 10 cm para cada una de los tres rangos de medidas, y se obtienen los valores medios para un tramo de carretera (por defecto 20 m).

La macrotextura fina comprende longitudes de ondas desde 1 a 10 mm, la macrotextura gruesa comprende la parte de perfil de pavimento desde 10 a 100mm y la megatextura comprende las longitudes de ondas desde 100 mm a 500mm.

La textura se mide usando cámaras láser de 32 kHz, una para cada rodada o bien una en el centro del carril y otra en la rodada. La opción se puede configurar para cada usuario.

Habitualmente con el **Video-Láser RST** se presentan las medidas correspondientes a los intervalos de longitud de onda, proporcionando el valor de RMS y un histograma con la distribución de las amplitudes.

Categorías de medida de la textura

| TIPO DE TEXTURA | LONGITUD DE ONDA | FORMATO DE LA MEDIDA |
|---------------------|------------------|----------------------------------------------|
| MEGATEXTURA | 0.1 m - 0.5 m | Media de RMS |
| MACROTEXTURA GRUESA | 0.01 m - 0.1 m | Media de RMS y 8 Categorías de histograma |
| MACROTEXTURA FINA | 10 kHz - 0.01 m | Media de RMS y 8 Categorías de histograma |

La tabla siguiente muestra un ejemplo de la presentación de resultados de la medida de la textura con el equipo **Video Láser RST**.

Ejemplo de salida de resultados de Macrotextura

| Cámara Láser | RMS | 0.0 0.2 | 0.2 0.3 | 0.3 0.4 | 0.4 0.6 | 0.6 0.8 | 0.9 1.3 | 1.3 2.0 | 2.0 3.0 | 3.0 5.0 | > 5.0 (mm) |
|--------------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| C4:Gruesa | 61 | 0 | 0 | 8 | 55 | 31 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Fina | 32 | 0 | 35 | 61 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C8:Gruesa | 83 | 0 | 0 | 2 | 30 | 37 | 26 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Fina | 66 | 0 | 0 | 0 | 59 | 31 | 8 | 2 | 0 | 0 | 0 |

La tabla muestra un histograma con los valores de 10 niveles de la media cuadrática (**RMS**) de la amplitud para dos bandas distintas de longitudes de ondas (gruesa y fina). C4 y C8 se refieren a los números de las cámaras láser específicas de la textura y los términos "gruesa" y "fina" se refieren al tipo (longitud de onda) de la macrotextura considerada. Las amplitudes se expresan en milímetros. La información proporcionada es el porcentaje de la superficie con una macrotextura dentro de cada rango de amplitud. Por ejemplo, la tabla muestra que 35 por 100 de la macrotextura fina de la superficie medida con la cámara láser 2

está comprendido entre 0.2 y 0.3 milímetros de amplitud. El usuario puede definir las categorías del histograma.

Generalmente el valor de RMS de la macrotextura varia en el tiempo según la

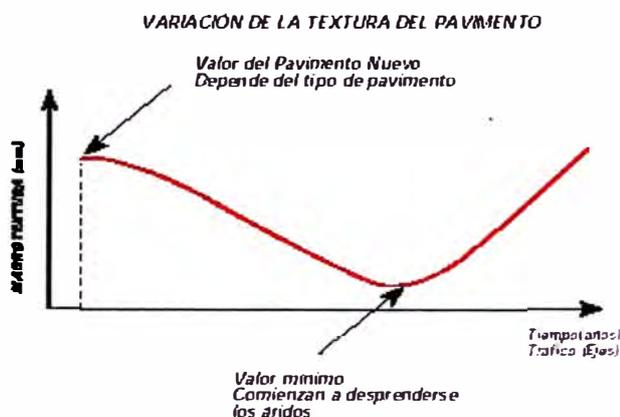


Figura 6

forma de la curva que se muestra en la figura 6.

A partir del instante inicial correspondiente a la puesta en servicio del pavimento, el valor del RMS gradualmente baja a un valor mínimo debido al desgaste. A partir de entonces crece otra vez porque los áridos de la superficie se han "aflojado" y se separan debido al tráfico. Al evaluar la textura, ésto indica que la rehabilitación debe ser inminente. Además, la información sobre cambios en la textura en el tiempo puede ayudar en los trabajos de planeamiento de la rehabilitación.

Cuando se comparan la distribución transversal de textura, calculada a partir de medidas simultaneas con diferentes cámaras láser, un pavimento reciente tendrá el mismo resultado y en cambio, una superficie desgastada o exudada mostrará diferentes distribuciones de textura en la zona de rodadas en comparación con las zonas centrales del carril. Por lo tanto, se puede obtener información útil no solo por comparación de las medidas de textura en el tiempo, sino por la comparación de los resultados de las dos cámaras láser obtenidos en un ensayo único.

TEXTURA (MACROTEXTURA GRUESA)

Un tramo de carretera se clasifica utilizando el valor medio de la Macrotextura Gruesa (según la obtiene el equipo **Video Láser RST**) expresada en milímetros en los **7** niveles establecidos en términos de probabilidad en la tabla siguiente.

| Macrotextura (mm) | CALIFICACIÓN |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| < 0.35 | PAVIMENTO PROBABLEMENTE DESGASTADO |
| 0.35 - 0.75 | PROBABLEMENTE MEZCLAS O LECHADAS EN BUEN ESTADO |
| >0.75 | PAVIMENTO PROBABLEMENTE DE TERIORADO O MEZCLA POROSA^{II} |

Anexo N° 3:

Péndulo del TRRL



COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON EL PÉNDULO DEL TRRL

MTC E 1004 – 2000

Este Modo Operativo está basado en las Normas ASTM E 303 y AASHTO T 278, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que este Modo Operativo está sujeto a revisión y actualización continua.

Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del Usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

1. OBJETIVO

1.1 Describe el procedimiento que debe seguirse en la realización de medidas de resistencia al deslizamiento en pavimentos en el campo con el péndulo del Transport and Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester).

1.2 Sirve para obtener un coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de deslizamiento, valore las características antideslizantes de una superficie desde el punto de vista de un vehículo en circulación. Los valores medidos, CRD, representan las características obtenidas con los aparatos y procedimientos descritos aquí y no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de deslizamiento hechas con otros equipos.

1.3 Consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas, provisto en su extremo de una zapata de caucho, cuando la arista de la zapata roza con una presión determinada sobre la superficie a ensayar, en una longitud fija. Esta pérdida de energía es medida por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

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

2. APARATOS Y MATERIALES

2.1 Péndulo del TRRL. Es el aparato de la Figura 1, desarrollado y diseñado por el Road Research Laboratory.

El péndulo propiamente dicho (Figura 2a), con la zapata y su placa soporte, debe pesar 1.500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de 411 ± 4 mm del centro de suspensión. La circunferencia descrita por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm.

El péndulo debe tener un ajuste vertical, que permita una distancia de recorrido entre la zapata y la superficie a ensayar, de 125 ± 1.6 mm de longitud. El resorte del brazo y la palanca de la cabeza del péndulo se deben acondicionar para producir una presión de 2.500 ± 100 g, entre la zapata de 76.2 mm de ancho y la superficie de ensayo. La variación de tensión del resorte sobre la zapata, no será mayor de 200 g/cm.

La zapata de caucho va pegada sobre una placa de aluminio (Figura 2b) con orificio circular para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal, que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

Las dimensiones de las zapatas de caucho a emplear en medidas de resistencia al deslizamiento serán de 76.2 mm por 25.4 mm y 6.35 mm de espesor (Figura 3.1). El peso del conjunto zapata y placa soporte de aluminio, será de 36 ± 7 g.

- Características del caucho para zapatas

Las zapatas estarán cortadas de una plancha de caucho, con una edad de fabricación mínima de seis meses, que cumplirá las especificaciones dadas en las Tablas 1 y 2

Tabla 1

Especificaciones de resiliencia y dureza a cumplir por el caucho para zapatas

| Características | Temperatura (°C) | | | | |
|------------------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 |
| % de resiliencia (*) | 42 - 47 | 55 - 62 | 61 - 68 | 64 - 71 | 66 - 73 |
| Grados de dureza I.R.H. (**) | | | 55 ± 5 | | |

(*) El ensayo de resiliencia con el resilómetro Lupke está en concordancia con la norma B.S 903, parte A-8.

(**) El grado de dureza, International Rubber Hardness, está en concordancia con la norma B.S. 903, parte A-26.

Las zapatas de caucho nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando diez (10) oscilaciones sobre la superficie testigo en condiciones secas. Esta superficie es la "Safety-Waik" tipo B. Las oscilaciones deben ejecutarse preparando el ensayo tal como se indica en el numeral 3.

Tabla 2

Especificaciones de composición para fabricación de caucho de zapatas

| Producto | Partes en Peso |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Hoja ahumada | 100 |
| Philblack A | 30 |
| Oxido de zinc (ZnO) | 3 |
| Ácido esteárico | 2 |
| PNB (fenil-naftilamina) | 1 |
| CBS (ciclohexil-benzotiacil-sulfona mida) | 0.6 |
| Azufre | 2.5 |
| Dutrex R | 4.0 |
| Vulcanización: | Plancha de 6,5 mm de gruesa, 30 minutos a 141 °C (286 °F). |

Las zapatas de caucho sufren un cierto desgaste al rozar con la superficie de ensayo, que depende de la rugosidad macro o microscópica de la superficie que se mide, de la temperatura alcanzada por el caucho y del grado de mojado. Este desgaste da lugar a un área de contacto mayor entre zapata y superficie a medir, así como una mayor adherencia, que termina por originar, en la arista de la zapata, una rebaja (Figura 3b), que también contribuye a aumentar la adherencia aunque disminuya la presión, obteniéndose así una lectura de la aguja indicadora sobre el papel de las escalas mayor de lo normal.

En todos los casos, deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 2.5 mm de ancho o 1.6 mm de alto (Figura 3c).

Dispositivo de nivelación.- El dispositivo de nivelación será del tipo de tornillo (L) acoplado en cada uno de los tres puntos de apoyo del aparato, con un nivel de burbuja a (M), para situar la columna del instrumento en posición vertical (Figura 1).

Dispositivo de desplazamiento vertical. Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo (Figura 4), de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud fija de 125 ± 1.6 mm.

Dispositivo de desajustes del brazo del péndulo. Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N) (Figura 1), de forma que este caiga libremente desde su posición horizontal.

Dispositivo de medida. Un dispositivo consistente en una aguja (Figura 1), cuyo peso será de 85 g y su longitud 300 mm, equilibrada respecto de su punto de suspensión, para indicar la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular, grabada sobre un panel, al final de su recorrido.

El sistema de fricción del mecanismo de suspensión del péndulo será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E') (Figura 5), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la posición de la aguja sea trasladada por el giro del brazo hasta un punto situado a 10.16 mm por debajo de la horizontal que pasa por el eje de oscilación (punto "cero" de la escala de medida).

2.2 Material auxiliar

- **Reglilla graduada.** Una reglilla graduada (Figura 6), cuyas marcas están separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima de 1.6 mm, que fija la tolerancia permitida en la medida de la longitud de rozamiento entre zapata y superficie de ensayo.
- **Termómetro.** Un termómetro de mercurio con graduación en grados centígrados y escala de -10 a + 60 °C (14 a 140 °F).
- **Recipientes para agua.** Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada, uno con capacidad para 10 litros y el otro, con capacidad para 500 cc. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de 3 mm de diámetro.
- **Utensilios para limpieza de la superficie de ensayo.** Un cepillo de cerdas con longitud mayor de 20 mm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm 2 y 80 mm de largo total, para utilizarlo en la limpieza de la superficie a medir.

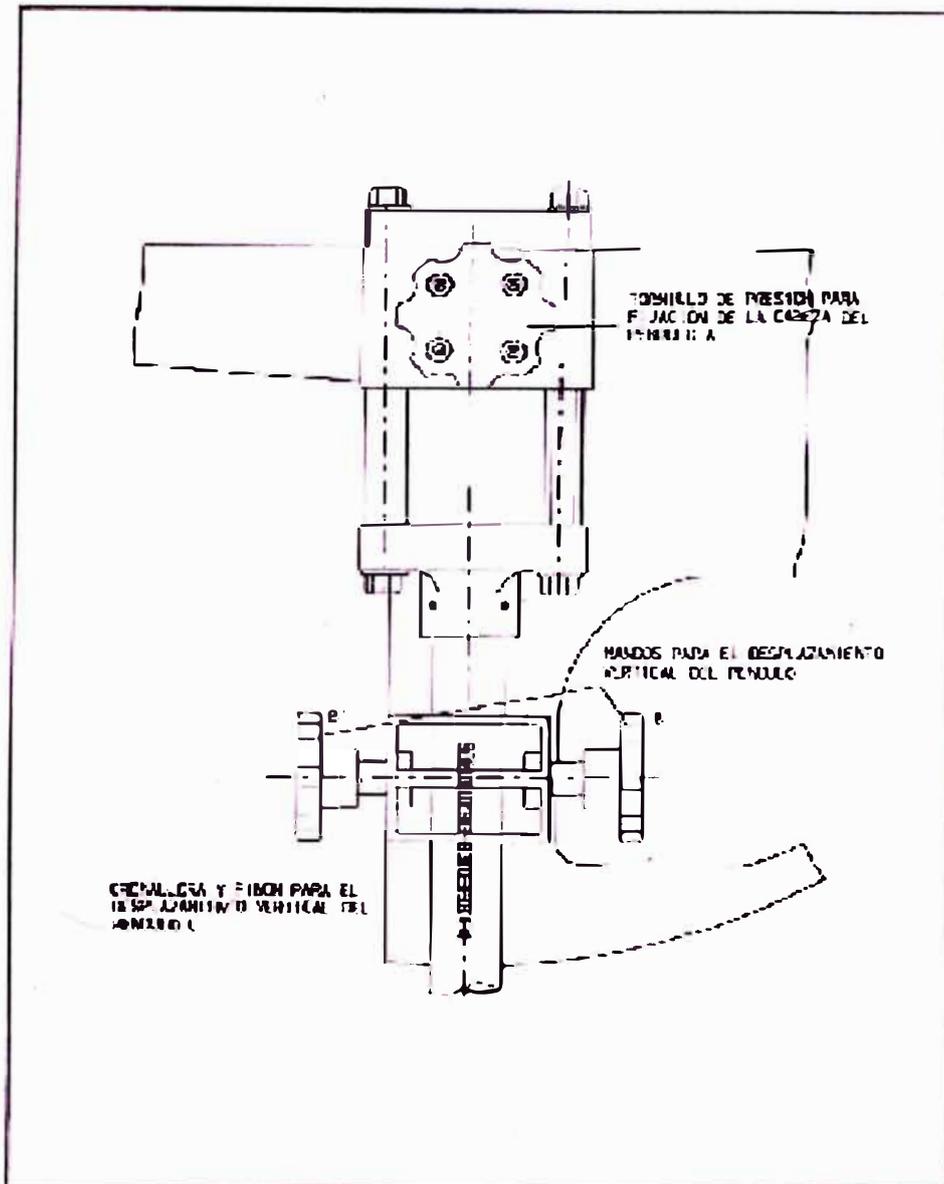


Figura 4. Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo

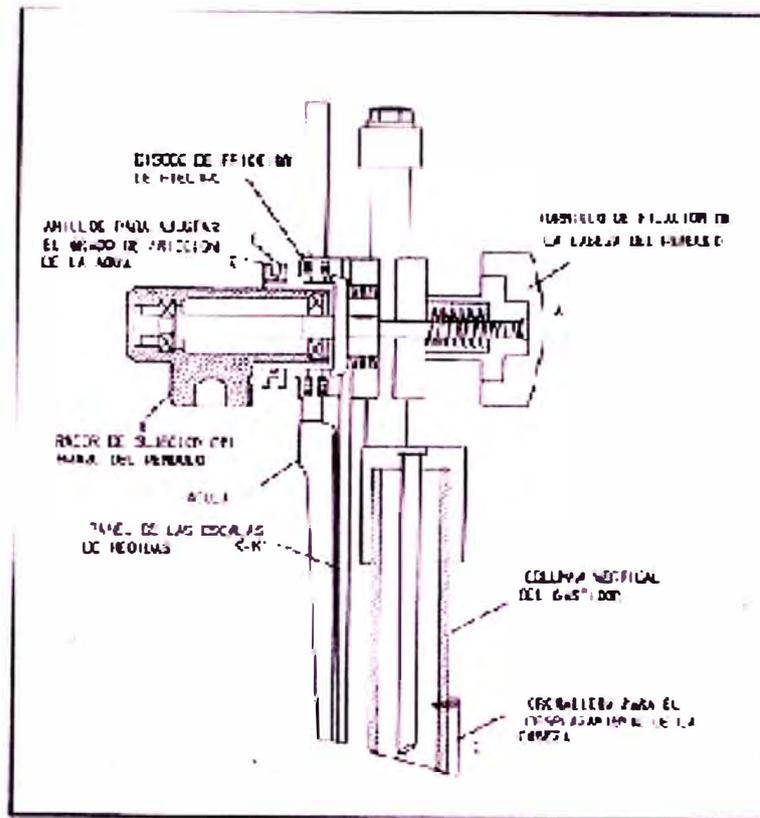


Figura 4. Detalle del mecanismo de suspensión del pénculo

- Utensilio para situar los puntos de medida. Cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m.
- Estuche de herramientas. Caja de diseño especial para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, reglilla, crayolas, marcadores, etc., elementos que son necesarios para efectuar medidas en el campo.
- Caja de transporte. Caja especial para transportar el equipo de medida.
- Butaca. Para que el operador se sienta al realizar medidas en el campo.

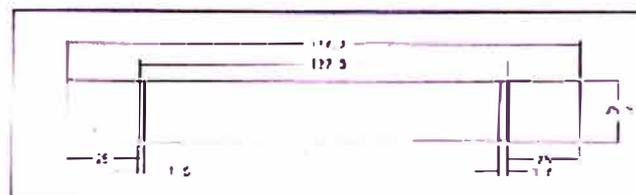


Figura 6. Reglilla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo.



3. MONTAJE DEL APARATO

3.1 Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte. Se coloca en posición adecuada el pie posterior de la base, haciéndolo girar sobre el tornillo (O) (Figura 1), sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente, se fija el brazo del péndulo (P) en la cabeza del aparato mediante el racor (G).

3.2 Se nivela el aparato con los tornillos (L) que van situados en cada uno de los pies de su base y del nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base a la derecha.

3.3 En el brazo del péndulo y sobre el pivote (F), se coloca la zapata de caucho, sujetándola con una arandela y un pin o pasador.

3.4 A continuación se eleva la cabeza del aparato, en forma tal que el brazo del péndulo balancee sin rozar la superficie a medir.

El desplazamiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo del péndulo (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuara por medio de una cremallera (C) fijada en la parte posterior de la columna vertical y un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B') (Figura 4). La cabeza quedara fijada por medio del tornillo de presión (A).

3.5 El paso siguiente será la comprobación del "cero" sobre la escala del aparato. Para ello, se llevará el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N) (Figura 1). Después, se trasladará la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo.

Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre aguja y brazo del péndulo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador (N) se disparará el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia adelante. Se anota la lectura señalada por la aguja de la escala (K 0 K') del panel y se vuelve el brazo de péndulo a su posición inicial de disparo (Nota 1). La corrección de la lectura del "cerro" se realizará mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E') (figuras 1 y 5). Si la aguja sobrepasa el "cero" de la escala la corrección exigirá apretar los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja no alcanza el "cero" de la escala, la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (E y E') (Nota 2).

Nota 1. Deberá recogerse el brazo del péndulo en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, con el fin de que no arrastre la aguja indicadora en la oscilación de vuelta y, cuando se realiza medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo ayudándose de la palanca de elevación (P).

Nota 2. En la comprobación del "cero" del aparato se harán los disparos y las correcciones con los anillos de fricción necesarios, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura "cero".



3.6 Por último, se comprobará la longitud de rozamiento de la zapata de caucho sobre la superficie a medir. Esta operación se efectuará manteniendo la cabeza del aparato en la situación anterior, colocando el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical.

Se colocará el espaciador (sujeto con una cadenilla en la base del aparato) bajo el tornillo de posición (R) de la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de caucho. Se bajará entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fijará ahora la cabeza del aparato en esta situación por medio del tornillo (A), quitándose después el espaciador. Haciendo oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata roce justamente la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro lado de la vertical, la longitud de rozamiento será la distancia entre los dos puntos de contacto (S y S') (Figura 2ª), en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta, para medidas de resistencia al deslizamiento será de $125 \pm 1,6$ mm, la cual se comprueba utilizando la reglilla (Figura 6). Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de elevación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se podrá efectuar mediante un ligero ascenso o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

3.7 Una vez montado el aparato, comprobada la medida del "cero" y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se colocará el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo, procediéndose en este momento a la ejecución de las medidas de ensayo.

4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

4.1 Procedimiento a seguir en el campo. Para efectuar la medida del coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) que presenta un pavimento, bien antes de ser sometido a la acción del tráfico, bien para controlar la evolución del pavimento en diferentes periodos de su vida de servicio, deberá operarse siguiendo las instrucciones que se especifican a continuación.

Se procederá, en primer lugar, a la inspección del pavimento de la carretera objeto del ensayo, dividiéndolo en tramos que no superen los mil metros (1000 m), con características similares en toda su longitud. Dentro de cada tramo se elegirá una zona, y en ésta, de tres (3) a diez (10) secciones transversales separadas por una longitud de 5 a 10 m.

Se elegirá una distribución transversal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones. En cada sección se fijarán puntos de ensayo en las rodadas, (huellas de paso de vehículos), cumbre del bombeo o centro de la calzada y a 200 mm del borde de la calzada (Figura 7). También podrán elegirse puntos de ensayo entre rodadas o cualquier otro que se sospeche pueda tener carácter deslizante.

El péndulo, una vez montado como se indica en el numeral 3.1, se colocará sobre el pavimento y se procederá a su nivelación tal como se especifica en el numeral 3.2.

Nota 3. Cuando el péndulo de fricción no haya sido utilizado en las ocho (8) horas anteriores a un ensayo, antes de efectuar cualquier ciclo de medidas se realizarán cinco (5) disparos sobre una probeta pulimentada o sobre una zona de pavimento sometida al tránsito.



Comprobado el "cero" del aparato, como se indica en el numeral 3.5, se ajustará la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de caucho, en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud de 125 ± 1.6 mm, tal como se especifica en el numeral 3.6.

La superficie de pavimento a ensayar se limpiará ayudándose con el cepillo, asegurándose que quede libre de partículas sueltas.

Se medirá la temperatura ambiente en el punto de ensayo, se comprobará la temperatura del agua, cuyo recipiente deberá estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo.

Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedecerá la zapata con abundante agua limpia y se mojará la superficie del pavimento, extendiendo el agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.

Se procederá entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo y la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando al número entero más próximo.

Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se volverán a su posición de disparo, procediéndose en la forma que se indica en la Nota 1.

La medida se repetirá cinco (5) veces sobre cada punto del pavimento a ensayar y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar la superficie de ensayo antes de cada disparo con agua a la temperatura ambiente. Si las lecturas de las cinco (5) medidas no difieren en más de tres (3) unidades, se anotará el valor medio resultante. Si la diferencia entre las cinco (5) lecturas es mayor de tres (3) unidades, se continuará realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se tomará esta última como valor efectivo del punto ensayado sobre el pavimento.

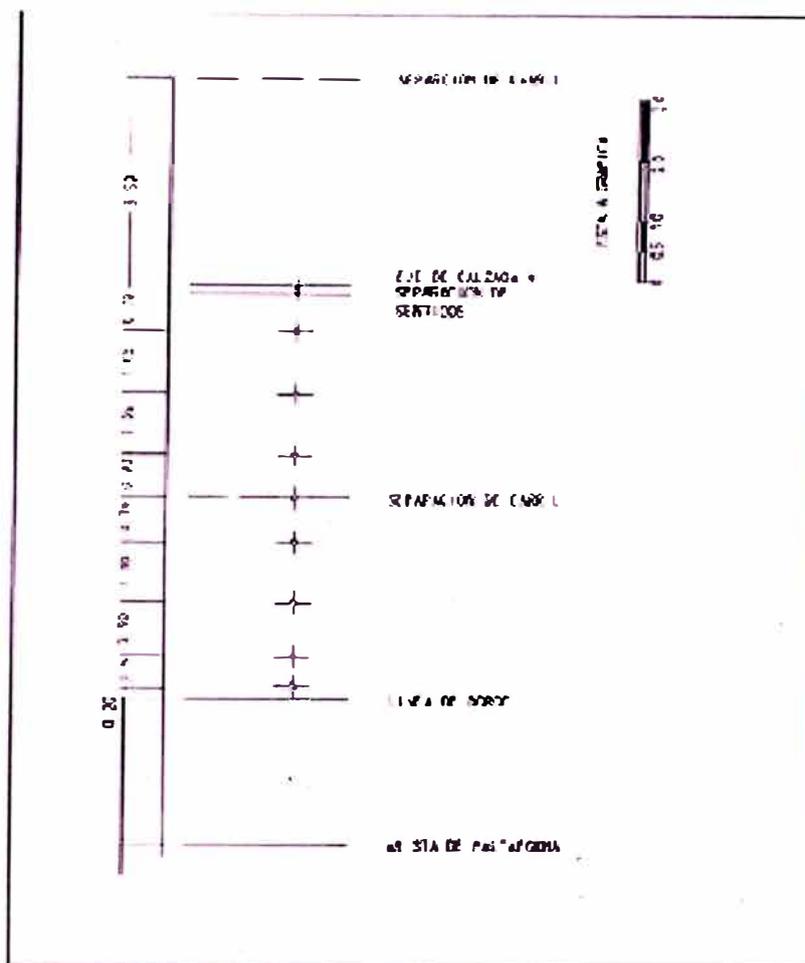


Figura 7. Ejemplo de un perfil transversal de puntos de ensayo sobre pavimento de concreto.

5. RESULTADOS

5.1 Expresión de los resultados obtenidos en ensayos sobre pavimentos. La lectura del valor marcado por la aguja en la escala "K" del instrumento al realizar las medidas de ensayo, se efectuará con una aproximación menor de 0,5 unidades y redondeando al número entero más próximo.

El resultado de las medidas realizadas sobre un punto del pavimento ensayado será el valor medio de las cinco (5) lecturas efectuadas si no difieren en más de tres (3) unidades, o el valor de tres (3) lecturas idénticas consecutivas.

Las medidas efectuadas sobre pavimentos son siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad del valor de las pérdidas a realizar, bajo cualquier condición climática, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico de la Figura 8, para poder dar los resultados del ensayo a 20 °C.



El resultado de las medidas efectuadas sobre un pavimento de carretera, será expresado especificando los valores obtenidos en cada uno de los tramos independientemente. Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo, serán expresadas por tres (3) valores correspondientes, cada uno, a "borde", "rodada" y "centro" de la calzada (Figura 9). Serán considerados: "borde" la superficie de la berma y hasta 50 cm hacia el interior de la calzada "centro", las bandas de 50 cm de anchura existentes a cada lado de las líneas de carril o de separación de sentido de circulación; «rodada», el resto de la calzada de una carretera.

Cada uno de los tres (3) valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en todas las secciones transversales de cada tramo.

El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresara en tanto por uno, en forma de:

$$\text{Coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD)} = \frac{\text{Lecturas en la escala A}}{100}$$

6. OBSERVACIONES

6.1 Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda, sobre la parte superior de la columna vertical cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, con el objeto de evitar movimientos o vibraciones en su base.

6.2 Después de un determinado número de medidas efectuadas con el péndulo (5 o 6 puntos de ensayo), es conveniente realizar una nueva comprobación del "cero" del aparato, tal como se indica en el numeral 3.5.

6.3 Cuando se efectúan medidas en el campo, suelen presentarse ciertas dificultades si hay vientos fuertes, en ráfagas. En tales condiciones se recomienda colocar el aparato de forma tal que el plano de oscilación sea normal a la dirección del viento, protegiéndolo en lo posible de su acción directa.

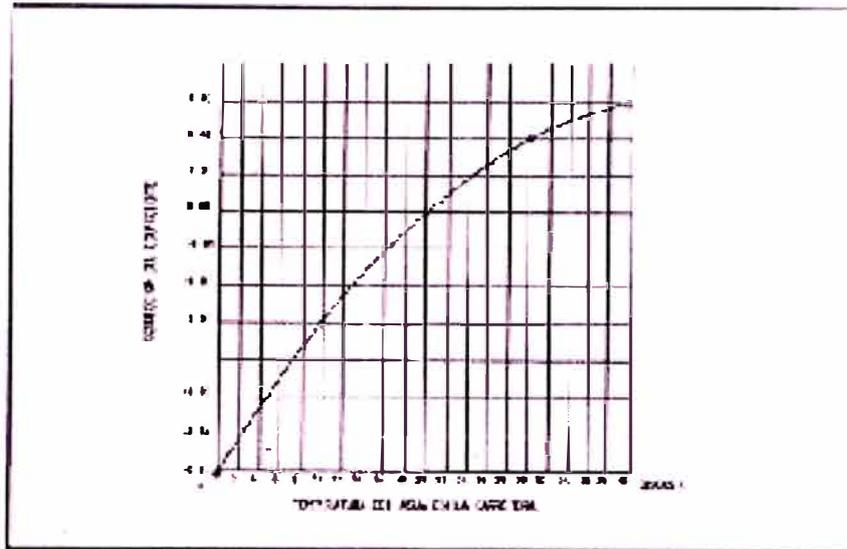


Figura 6. Correlación de equilibrio del coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas. Para obtener el valor correspondiente a 50 °C.

6.4 Es recomendable efectuar una inspección meticulosa del estado del pavimento a ensayar, detallando cuantas irregularidades sean observadas en los puntos de medida.

6.5 Es muy conveniente efectuar la calibración periódica del péndulo de ensayo.

7. REFERENCIAS NORMATIVAS

| | |
|--------|-------|
| ASTM | E 303 |
| AASHTO | T 278 |