

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA DE LA
SUPERFICIE DEL PAVIMENTO,
CARRETERA CAÑETE – CHUPACA.
MODELO DE DETERIORO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RAÚL IVÁN CONTRERAS FAJARDO

Lima- Perú

2011

El presente trabajo es dedicado a mi familia que gracias a sus consejos y palabras de aliento hizo de mí una persona de bien. A mis padres por su apoyo, confianza, consejos y amor que hicieron de mí una mejor persona, gracias por sus enseñanzas. A mis hermanos Marco Antonio, Leydi y Liz por estar siempre presente, y a quienes siempre me apoyan y valoran el esfuerzo y la dedicación.

	Pág.
RESUMEN	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE FIGURAS	5
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO I: FACTORES QUE AFECTAN LA ADHERENCIA DEL NEUMÁTICO AL PAVIMENTO	 9
1.1 ASPECTOS GENERALES	9
1.1.1 Descripción del proyecto: Carretera Cañete - Chupaca	10
1.2. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES	21
1.2.1 En la Superficie del Pavimento	21
1.2.2 En el Tránsito	25
1.2.3 Por Condiciones Climáticas	26
CAPÍTULO II: ENSAYOS RELATIVOS A LA MACROTEXTURA	 28
2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO	28
2.1.1 Equipos de Medida de Fricción	28
2.1.2 Medidas de Textura	31
2.2 COMPARACIÓN CON NORMAS INTERNACIONALES	33
2.2.1 Normatividad Internacional Existente	33
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE LA TEXTURA Y FRICCIÓN	 37
3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO	37
3.1.1 Definición con Respecto a Textura	37
3.1.2 Definición con Respecto a Fricción	40
3.1.3 Equipos de Medición de Textura y Fricción	41
3.1.4 Relación Entre la Fricción y la Velocidad de Desplazamiento	42
3.1.5 Índice de Fricción Internacional (IFI)	46
3.2 APLICACIÓN EN CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	 47
3.2.1 Condiciones del Tramo Evaluado	47
3.2.2 Equipo Participante en la Evaluación de Macrotextura	49

3.2.3	Medidas Obtenidas	50
CAPÍTULO IV: MODELO DE DETERIORO PARA LA PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO		53
4.1	FUNDAMENTO TEÓRICO	53
4.1.1	Condición Funcional del Pavimento	53
4.1.2	Estimación del Deterioro del Pavimento Asfáltico	54
4.1.3	Tipos de Deterioro Superficial	57
4.1.4	Deterioros Relacionados con la Deformación del Pavimento	57
4.1.5	Deterioros Relacionados con la Textura Superficial	57
4.1.6	Modelos de Deterioro de los Pavimentos	58
4.1.7	Descripción General de los Modelos	58
4.1.8	Procedimiento Para el Desarrollo de Modelos	59
4.1.9	Procedimiento de Cálculo	62
4.1.10	Calibración de los Modelos de Deterioro	63
4.1.11	Modelamiento de Deterioro por Profundidad de la Macrotextura	64
4.2	APLICACIÓN EN CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO	65
4.2.1	Aspectos Generales	65
4.2.2	Análisis de Datos Tomados	66
4.2.3	Limitaciones que Influyen en la Elaboración de un Modelo de Deterioro Basado en la Macrotextura	67
4.2.4	Propuesta de Procedimiento Para la Obtención de un Modelo de Deterioro Basado en la Macrotextura	68
CONCLUSIONES		73
RECOMENDACIONES		74
BIBLIOGRAFÍA		75
ANEXOS		77
ANEXO N°1		
ANEXO N°2		
ANEXO N°3		

RESUMEN

El presente Informe de Suficiencia, es parte del estudio realizado para el Cambio de Estándar de la Carretera: Cañete – Yauyos – Huancayo, tramo Km. 134+000 al Km. 139+000.

Una de las principales características que debe cumplir un pavimento, es que debe proporcionar seguridad y confort a los usuarios, se refiere a disponer de una superficie que asegure la seguridad mediante una buena adherencia con los neumáticos en todo instante y principalmente en zonas de frenado y curvas.

Existen distintos procedimientos y ensayos que nos permita determinar esta característica del pavimento, con tal motivo, el presente Informe de Suficiencia, trata de explicar la importancia del estudio de la textura superficial, más específicamente aun la macrotextura de los pavimentos, la influencia que tiene la macrotextura en el deterioro del pavimento y la predicción de falla de los pavimentos con fines de contrastarlo en carreteras de bajo volumen de tránsito y como parte del estudio realizado para el Cambio de Estándar de la Carretera: Cañete – Yauyos – Huancayo, tramo Km. 134+000 al Km. 139+000.

ÍNDICE DE TABLAS

Descripción	Pág.
Tabla N°1.01 Unidad formuladora	12
Tabla N°1.02 Unidad ejecutora	13
Tabla N°1.03 Alternativa de solución en todos los tramos de la carretera	17
Tabla N°1.04 Demanda de la carretera	17
Tabla N°1.05 Estaciones por tramo para análisis	18
Tabla N°1.06 Crecimiento del PBI 1972 - 2009	18
Tabla N°1.07 Tasas de proyección de tráfico	19
Tabla N°1.08 Tráfico normal proyectado para los tramos seleccionados para el análisis	19
Tabla N°1.09 Oferta – demanda en cada tramo de análisis	20
Tabla N°1.10 Elección de alternativas para implementación	21
Tabla N°1.11 Clasificación de textura	23
Tabla N°2.01 Coeficiente de fricción en Chile medido con el equipo SCRIM, según el tipo de sitio	35
Tabla N°3.01 Lista de equipos de medida de textura	41
Tabla N°3.02 Lista de equipos de medida de fricción	42
Tabla N°3.03 Regresión entre la constante de velocidad Sp y la constante de velocidad de referencia GS	45
Tabla N°3.04 Regresión para obtener GF60 utilizando el método AIPCR: $F60=A+BFR.EXP((S-60)/Sp)$, donde Sp se ha determinado utilizando MPD	46
Tabla N°3.05 Resumen de datos recopilados	52
Tabla N°4.01 Clasificación por humedad, temperatura y altitud	55
Tabla N°4.02 Valores de profundidad de textura promedio (PT)	71
Tabla N°4.03 Regresiones analizadas	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Descripción	Pág.
Figura N°1.01 Plano vial Proyecto Perú	11
Figura N°1.02 Carretera Cañete – Pacarán – Zúñiga – Dv. Yauyos - Ronchas	12
Figura N°1.03 Área de influencia indirecta	15
Figura N°1.04 Clasificación del perfil según AIPCR	23
Figura N°1.05 Tipos de textura de un pavimento (AIPCR, 1995)	24
Figura N°1.06 Definición de macrotextura y microtextura (AIPCR, 1995)	24
Figura N°1.07 Contacto entre el neumático y el pavimento mojado	27
Figura N°2.01 Equipo SCRIM	29
Figura N°2.02 Equipo Rumway Fricción Tester	30
Figura N°2.03 Equipo Norsemeter	31
Figura N°2.04 Perfilómetro Laser sin Contacto	32
Figura N°2.05 Método volumétrico	32
Figura N°3.01 Clasificación del perfil según AIPCR	37
Figura N°3.02 Profundidad media de perfil (MPD)	40
Figura N°3.03 Curva Fricción Deslizamiento modelo AIPCR	44
Figura N°3.04 Condiciones del pavimento de la zona de evaluación	48
Figura N°3.05 Parchado y tratamiento superficial	48
Figura N°3.06 Tratamiento superficial monocapa	48
Figura N°3.07 Tratamiento slurry seal	49
Figura N°3.08 Medición de macrotextura con el método de círculo de arena	51
Figura N°4.01 Intervalos de valores de la textura en términos de la longitud de onda y sus efectos	53
Figura N°4.02 Procedimiento para la creación de un modelo de deterioro	59
Figura N°4.03 Extrapolación lineal	61
Figura N°4.04 Distribución de probabilidad	62
Figura N°4.05 Histograma de profundidad de macrotextura	66
Figura N°4.06 Gráfica de probabilidad de profundidad de macrotextura	67
Figura N°4.07 Procedimiento propuesto para modelar la curva de deterioro	69
Figura N°4.08 Variación de la macrotextura del pavimento	70

Figura N°4.09 Valores de círculo de arena	70
Figura N°4.10 Regresión polinómica de tercer grado	72

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

Símbolo o Sigla	Descripción
IMD	Índice medio diario
TSB	Tratamiento superficial bicapa
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
AIPCR	Asociación Mundial de la Carretera
PT	Profundidad de macrotextura
PSI	Índice de serviciabilidad presente
PCI	Índice de condición del pavimento
MTD	Profundidad media de textura
MPD	Profundidad media de perfil
ETD	Profundidad media estimada de textura
CRT	Coefficiente de rozamiento transversal
IFI	Índice de Fricción Internacional
IRI	Índice Internacional de Rugosidad

INTRODUCCIÓN

Al estudiar un pavimento desde la perspectiva funcional, es decir desde el punto de vista de sus características y condiciones superficiales, se observa que aspectos como la seguridad y el confort de los usuarios son considerados muy importantes dentro de la ingeniería vial, por tal motivo su condición es la calificación del servicio prestado.

En tal sentido el presente informe presenta, el marco teórico que sustenta las principales técnicas empleadas para la evaluación de la textura superficial con fines de buscar un modelo que prediga el deterioro del pavimento.

El presente Informe de Suficiencia, consta de cuatro capítulos:

- Capítulo I: Factores que afectan la adherencia del neumático al pavimento; donde se destaca como aspectos generales la descripción y ubicación de la zona de estudio. Asimismo, se realiza la identificación de factores involucrados en la adherencia del neumático – pavimento.
- Capítulo II: Ensayos relativos a la macrotextura; donde se describen los equipos según sus características de uso y la descripción comparativa de normas internacionales los cuales nos darán una noción para la elaboración del presente informe.
- Capítulo III: Análisis de la textura y fricción; se desarrollará en marco teórico que involucran los conceptos de textura y fricción, los factores que intervienen en la fricción, asimismo se realiza una descripción aplicativa a carreteras de bajo volumen de tránsito.
- Capítulo IV: Modelo de deterioro para la predicción de la resistencia al deslizamiento y contrastación en campo; donde se realiza una descripción de los conceptos y parámetros relacionados a la funcionalidad del pavimento, estimación y causas del deterioro del pavimento, modelos y procedimientos para la predicción del deterioro del pavimento. Asimismo la descripción de condiciones y deficiencias que se encontraron para modelar la evolución del deterioro en carreteras de bajo volumen de tránsito.

En la sección de anexos se indica información complementaria de datos complementarios para la elaboración del presente informe.

CAPÍTULO I.- FACTORES QUE AFECTAN LA ADHERENCIA DEL NEUMÁTICO AL PAVIMENTO.

1.1 ASPECTOS GENERALES

Cuando uno se pregunta cuáles deben ser las condiciones necesarias 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 (reducción de velocidad), como son las curvas o donde exista presencia de agua. Sin embargo esta adherencia no depende únicamente de las condiciones y características de los agregados que conforman el 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, las características de los agregados, el contenido de asfalto, la textura superficial, la presencia de contaminantes (polvo o arena, caucho), entre otros.
- En el tránsito, como la velocidad con que se desplaza el vehículo, el tipo de neumático y el tipo de la vía y del peso de los vehículos.
- En el clima, como la variación de la temperatura y condiciones pluviales.

En el presente capítulo se hará una breve descripción de la influencia de cada una de estos factores en la adherencia del neumático al pavimento, sin embargo lo que se evaluará a lo largo del trabajo será únicamente la textura superficial para ello se realizaron evaluaciones con dicho fin en un tramo de la carretera Cañete – Chupaca.

1.1.1 Descripción del Proyecto: Carretera Cañete – Chupaca.

A raíz de los acuerdos 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, se 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).

Para ello, La UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA en la modalidad de actualización de conocimientos del Curso de Titulación Profesional 2010-II, desarrolla un curso taller integrador referente al estudio con fines de formular una NORMA que establezca condiciones mínimas para carreteras de bajo volumen de tránsito.

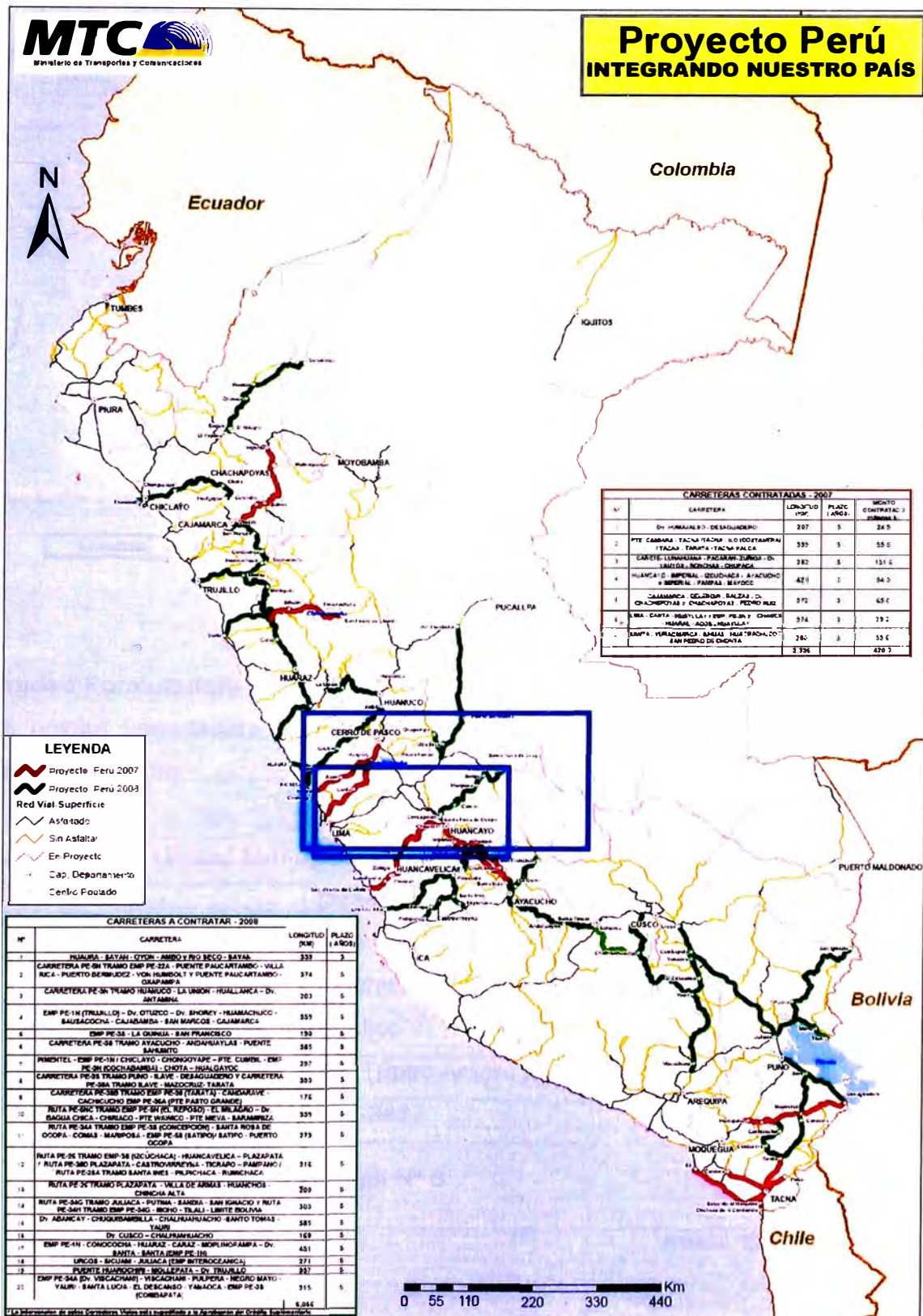
Nombre del Proyecto

El nombre del proyecto es "Estudio de Preinversión a Nivel de Perfil para la Conservación Vial de la Carretera Cañete – Dv. Yauyos – Huancayo", ésta denominación permite identificar el tipo de proyecto y su ubicación.

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°1.01 se indica la ubicación del proyecto en estudio y en la figura N°1.02 se muestra el trazo de la Carretera.

Figura N°1.01 Plano Vial Proyecto Perú



Fuente: MTC

Figura N°1.02. Carretera Cañete - Lunahuaná – Pacarán – Zúñiga - Dv. Yauyos – Ronchas



Unidad Formuladora y Ejecutora

La unidad formuladora y ejecutora se indica en las Tablas N°1.01 y N°1.02 respectivamente:

Tabla N°1.01 Unidad formuladora

Nombre de la Unidad Formuladora	Dirección de Escuela Profesional - Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería
Sector	Público
Dirección	Av. Túpac Amaru 210 - Rimac - Lima – Perú
Teléfono	381-3827
Nombre de la Unidad Responsable	Grupo N° 8

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°1.02 Unidad ejecutora

Nombre de la Unidad Ejecutora	Oficina de Proyectos Especiales del Programa Proyecto Perú–Provias Nacional
Sector	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Dirección	Jr. Zorritos N° 1203 Lima - Perú
Teléfono	615-7800
Nombre de la unidad responsable	Ing. Jhon Vega Vásquez
Cargo	Jefe de Oficina de Proyectos Especiales de Proyecto Perú
Correo Electrónico	jvega@proviasnac.gob.pe

Fuente: Elaboración propia.

Participación de las entidades involucradas y de los beneficiarios

Entidades involucradas:

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), a través de Provías Nacional.
- Autoridades de los Gobiernos Regionales de Lima y Junín.
- Autoridades de los Gobiernos Locales y Distritales de las Provincias de Cañete, Yauyos, Concepción y Chupaca.

Beneficiarios directos:

- Pobladores de las Localidades de: Cañete, Lunahuná, Pacarán, Zúñiga, San Juan, San Jerónimo, Catahuasi, Chichicay, Capillucas, Calachota, Yauyos - Magdalena, LLapay, Alis, Tomas, Tinco Yauricocha, Abra Chaucha, Abra Negro Bueno, San José de Quero, Chaquicocha, Collpa, Ronchas, Chupaca, y zonas aledañas.
- Usuarios de la carretera central sobre todo a aquellos provenientes del sur del país, que por razones de reducir el tiempo de viaje opten por usar esta vía como ruta alterna.

Beneficiarios indirectos:

- Usuarios de la Vía, tales como: Transportistas, Industrias Mineras, Central Hidroeléctrica, Comerciantes, Turistas, otros.
- Transportistas de productos agrícolas y ganaderos por tener una nueva

alternativa para transportar sus productos en menor tiempo, etc.

Marco de Referencia

La conservación de la vía por niveles de servicio tiene como origen la necesidad de optar por un desvío alternativo para la Carretera Central, la cual actualmente no cuenta con un tránsito fluido y rápido debido a características propias de clima y topografía beneficiando sobre todo a los usuarios provenientes del sur del país.

Mediante Resolución Directoral N° 815-2004-MTC/20 de fecha 22-11-2004 se aprobó administrativamente el Estudio de pre-inversión a nivel perfil del proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuná-Yauyos-Chupaca. El estudio a nivel de perfil se encuentra enmarcado por la ley N° 27293 Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública, su Reglamento el Decreto Supremo N° 157-2002-EF y la Directiva aprobada mediante Resolución Directoral N° 012-2002-EF/68.01. Con oficio N° 1411-2004-EF/68.01 del 06-10-2004 El Ministerio de Economía y Finanzas autorizó la elaboración del estudio de Factibilidad del proyecto rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuná-Yauyos-Chupaca, con código B.P.9895.

Mediante el informe N° 861-2005-MTC/09.02 de 09-12-2005, el Director de Inversiones de la oficina General de Planificación y Presupuesto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprueba el Estudio de Factibilidad del proyecto rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuná-Yauyos-Chupaca, con código B.P.9895.

Mediante Resolución Directoral N° 919-2006-MTC/20 de fecha 12-04-2006 se aprobó administrativamente el Estudio de pre inversión a nivel de factibilidad del proyecto Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ruta 22, tramo Lunahuná - Dv. Yauyos-Chupaca.

Mediante Contrato de Consorcio del 27-11-07, se le adjudica la Buena Pro del concurso público N° 0034-2007-MTC/20 "Servicio de Conservación Vial por Niveles de Servicio de la Carretera Cañete-Lunahuná-Pacarán-Chupaca y

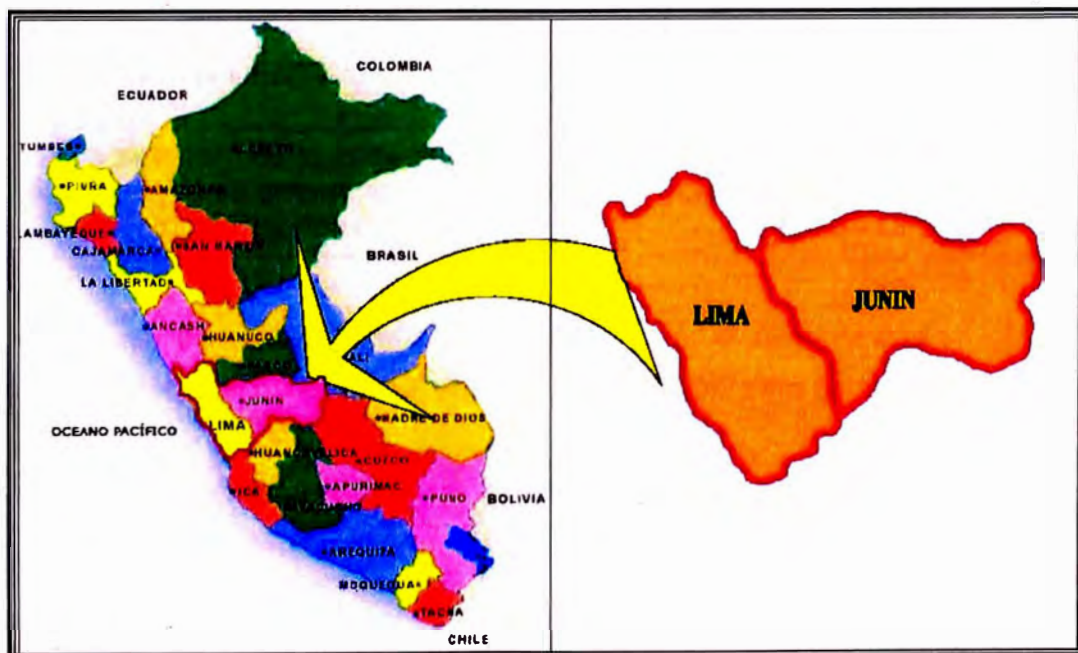
Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos-Ronchas” al Consorcio Gestión de Carreteras.

A raíz de los acuerdos del Convenio de Cooperación Interinstitucional 018-2008-MTC/20 efectuado entre El Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional - Provías Nacional y la Universidad Nacional de Ingeniería, se busca implementar un sistema de acompañamiento y monitoreo del contrato de conservación vial por niveles de servicio de la carretera en mención. (N° 288-2007-MTC/20).

Diagnóstico de la Situación Actual

La población indirectamente 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° 1.03. Área de Influencia Indirecta



Fuente: MTC

Características de la zona afectada.

Región : Lima y Junín.

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

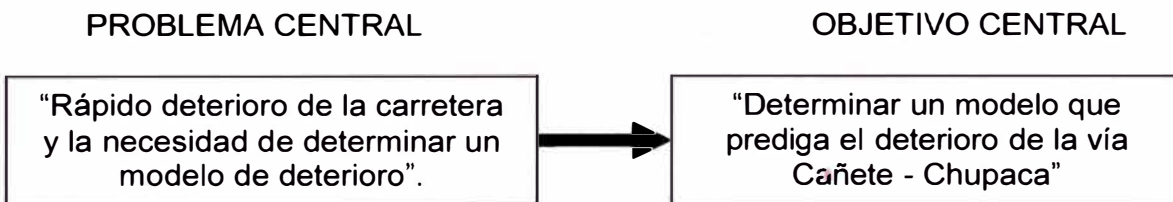
La carretera en estudio tiene una longitud de 271.726 km y para un mejor análisis se ha dividido en cinco sectores de acuerdo al tipo de superficie de rodadura existente y a las condiciones geográficas.

Descripción del Problema y sus Causas

El problema central de la vía en estudio es determinar el deterioro en el tiempo, el cual hará que sea intransitable al cabo de un tiempo, debido al incremento del flujo vehicular por los cambios de estándar realizados y por ser una ruta alterna a la Carretera Central.

Asimismo se puede considerar como causa del problema las inadecuadas características técnicas de la vía, como son: ancho de calzada insuficiente y variable que afectan en las maniobras de los vehículos realizando esfuerzos en la vía, otra causa considerada son las curvas cerradas, donde el frenado continuo desgasta con mayor rapidez la superficie de rodadura, además de realizar cambio de velocidades.

Objetivo del Proyecto



Bajo premisa presentada como problema central, el objetivo directo se define como: “Mantener el óptimo nivel de transitabilidad de la vía Cañete-Huancayo.”

Alternativas de solución

Se propone las siguientes alternativas para cada tramo de la carretera:

Tabla N° 1.03. Alternativas de solución en todos los tramos de la carretera.

TRAMO	INICIO	FIN	(km)	ALTERNATIVAS		
				1	2	3
1	CAÑETE	PACARÁN	52	Mant. Rutinario en C.A.	Mant. Rutinario en C.A.	Mant. Rutinario en C.A.
2	PACARÁN	CATAHUASI	24	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL
3	CATAHUASI	TINCO YAUERICHOCHA	104	Mant. Rutinario en MONOCAPA	Mant. Periódico MONOCAPA	Mant. Rutinario en MONOCAPA
4	TINCO YAUERICHOCHA	SAN JOSÉ DE QUERO	48	Mant. Periódico BICAPA	Mant. Periódico SLURRY SEAL	Mant. Periódico SLURRY SEAL+MONOCAPA
5	SAN JOSÉ DE QUERO	CHUPACA	26	Mant. Periódico MONOCAPA	Mant. Periódico BICAPA	Mant. Periódico SLURRY SEAL

Fuente: Elaboración propia

Análisis de la Demanda

La demanda de viajes de la carretera al año 2010 en el tramo en cuestión está determinada por el estudio del tráfico que se presenta en la Tabla N°1.04.

Tabla N°1.04. Demanda de la carretera.

TIPO DE VEHICULO	IMD								
	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9
AUTO	139	31	13	46	6	2	4	13	26
CAMONETA	611	242	217	340	355	27	204	296	493
C.R.	406	140	143	306	63	12	22	27	32
MICRO	149	14	27	193	81	3	2	3	4
OMNIBUS 2	32	14	12	31	32	12	4	6	7
OMNIBUS +2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CAMIÓN 2 EJES	86	68	64	58	40	20	36	42	43
CAMIÓN 3 EJES	17	14	18	10	5	14	5	5	5
CAMIÓN 4 EJES	0	2	0	2	0	0	0	0	0
SEMTRAYLERS	37	30	25	49	67	0	28	38	32
TRAYLERS	0	0	0	110	73	0	0	0	0
TOTAL	1477	555	520	1145	722	90	305	430	642

Fuente: MTC

En la Tabla N°1.05 se determinó las estaciones que se están considerando por cada tramo para el análisis de la demanda correspondiente.

Proyección del Tráfico Normal

Para la proyección del tráfico liviano se utilizará como criterio la tasa de crecimiento anual per cápita (8.3%). Como el proyecto se encuentra ubicado en los departamentos de Lima y Junín las mismas que cuentan con las tasas de crecimiento de 1,7% y 1,1% respectivamente, al promediar se obtiene 1,4%, que servirá para la proyección del tráfico del transporte público. Asimismo para la proyección del tráfico pesado se ha utilizado el promedio del PBI del crecimiento del país en los últimos 10 años (6,28%, ver Tabla N° 1.06), considerando que se

tendrá un crecimiento similar dado el auge económico en el escenario interno y externo (03 años). Para el análisis no se ha considerado los años 2001 y 2010, ya que son años extraordinarios donde la tendencia no se presentó y generará error en el cálculo. El resumen se muestra en el Tabla N° 1.07.

Tabla N°1.05. Estaciones por tramo para análisis.

TIPO DE VEHÍCULO	IMD				
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
	E-1	E-4	E-5	E-7	E-9
AUTO	139	46	6	4	26
CAMONETA	611	340	355	204	493
C.R.	406	306	63	22	32
MCRO	149	193	81	2	4
OMNIBUS 2	32	31	32	4	7
OMNIBUS +2	0	0	0	0	0
CAMÓN 2 EJES	86	58	40	36	43
CAMÓN 3 EJES	17	10	5	5	5
CAMÓN 4 EJES	0	2	0	0	0
SEMTRAYLERS	37	49	67	28	32
TRAYLERS	0	110	73	0	0
TOTAL	1477	1145	722	305	642

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°1.06. Crecimiento del PBI 1974-2009.

Año	PBI Variación Porcentual	Año	PBI Variación Porcentual	Año	PBI Variación Porcentual
1974	8.80%	1986	12.10%	1998	-0.70%
1975	4.40%	1987	7.70%	1999	0.90%
1976	1.20%	1988	-9.40%	2000	3.00%
1977	0.60%	1989	-13.40%	2001	0.20%
1978	-3.80%	1990	-5.10%	2002	5.00%
1979	2.00%	1991	2.10%	2003	4.00%
1980	7.70%	1992	-0.40%	2004	5.00%
1981	5.50%	1993	4.80%	2005	6.80%
1982	-0.30%	1994	12.80%	2006	7.70%
1983	-9.30%	1995	8.60%	2007	8.90%
1984	3.80%	1996	2.50%	2008	9.80%
1985	2.10%	1997	6.90%	2009	0.90%

Fuente: INEI 2009

Tabla N° 1.07 Tasas de Proyección de Tráfico

Período	Transporte Ligero	Transporte Público	Transporte de carga
2010 - 2012	8,30%	1,40%	6,28%

Fuente: INEI 2009.

De las tasas de proyección obtenidas se puede generar los IMD proyectados sin la ejecución de alternativas.

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 los cuadros anteriores, para el período de mantenimiento faltante (03 años):

Tabla N° 1.08: Tráfico normal proyectado para los tramos seleccionados para el análisis.

TIPO DE VEHÍCULO	% INCREMENTO PROYECTADO	IMD				
		E-1	E-4	E-5	E-7	E-9
AUTO	8.30%	150.54	49.82	6.5	4.33	28.16
CAMIONETA	8.30%	661.71	368.22	384.47	220.93	533.92
C.R.	8.30%	439.7	331.4	68.23	23.83	34.66
MICRO	1.40%	151.09	195.7	82.13	2.03	4.06
OMNIBUS 2	1.40%	32.45	31.43	32.45	4.06	7.1
OMNIBUS +2	1.40%	0	0	0	0	0
CAMIÓN 2 EJES	6.28%	91.4	61.64	42.51	38.26	45.7
CAMIÓN 3 EJES	6.28%	18.07	10.63	5.31	5.31	5.31
CAMIÓN 4 EJES	6.28%	0	2.13	0	0	0
SEMITRAYLERS	6.28%	39.32	52.08	71.21	29.76	34.01
TRAYLERS	6.28%	0	116.91	77.58	0	0
TOTAL		1584.27	1219.95	770.39	328.51	692.91

Fuente: Elaboración propia

Demanda Proyectada con Tráfico Desviado

Las encuestas Origen-Destino para el “Estudio de Factibilidad de la Carretera Lunahuná-Pacarán-Zúñiga-Dv. Yauyos-Chupaca”, tienen como objetivo principal determinar el número y/o porcentaje de los vehículos de carga y vehículos de pasajeros que actualmente utilizan la carretera Huancayo-La Oroya-Lima o viceversa, y que debido al mal estado en que se encuentra la carretera en estudio Lunahuná-Chupaca, optarán por desviarse a esta una vez se produzcan las obras de mejoramiento que se propondrán. De acuerdo a la encuesta realizada se deduce que el 80% de los vehículos que se desviarían proceden de la Unidad Minera de Yauricocha que utilizan como vía de comunicación la ruta Alis-Abra Negro Bueno- Chupaca-Pilcomayo-Margen Derecha del Río Mantaro-Quilla-La Oroya-Puente Santa Anita-Puerto del Callao.

Análisis de la Oferta-Demanda

El balance de Oferta-Demanda determina la interacción entre el flujo de vehículos que circulan y la capacidad vial que tiene la vía, que se verá reflejada en una adecuada transitabilidad de los vehículos y en sus costos operativos.

Tabla 1.09. Oferta-demanda en cada tramo de análisis.

DESCRIPCIÓN	BALANCE OFERTA-DEMANDA PROYECTADO DE ACUERDO A LA MEJOR ALTERNATIVA PROPUESTA EN CADA TRAMO DE ANÁLISIS				
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
1. Caract. de la Vía					
Longitud (km)	52	24	104	48	26
Alternativa Propuesta	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Rutinario	Mantenimiento Rutinario	Mant. Periód. BICAPA	Mant. Periód. MONOCAPA
Veloc. diseño(km/h)	60	40	40	30	40
Pendiente Máx. (%)	5%	5%	7%	10%	6%
Radio Mínimo (m)	105	45	45	45	45
Ancho de calzada (m)	7.2	6	3.5	3.5	3.5
Estado de Conservación	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
Muros de Sostenimiento	N.A.	N.A.	SI	SI	SI
2. Drenaje					
Alcantarillas	SI	SI	SI	SI	SI
Badenes	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO
Estado de Conservación	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO
Cunetas	REVESTIDAS	REVESTIDAS	ENROCADO	ENROCADO	ENROCADO
Puentes y Pontones	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO
3. Seguridad					
Señalización Horizontal	SI	SI	SI	SI	SI
Señalización Vertical	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente: Elaboración propia

Selección de la Mejor Alternativa

Realizado el análisis de costo, beneficio y de evaluación social, la entidad encargada de realizar el mejoramiento de la carretera en mención, determinó como la alternativa viable la mostrada en la Tabla N° 1.10.

Tabla N°1.10 Elección de Alternativas para implementación.

TRAMO	INICIO	FIN	(km)	ALTERNATIVA
1	CAÑETE	PACARÁN	52	Mant. Rutinario en C.A
2	PACARÁN	CATAHUASI	24	Mant. Rutinario en SLURRY SEAL
3	CATAHUASI	TINCO YAURICOCHA	104	Mant. Rutinario en MONOCAPA
4	TINCO YAURICOCHA	SAN JOSÉ DE QUERO	48	Mant. Periódico BICAPA
5	SAN JOSÉ DE QUERO	CHUPACA	26	Mant. Periódico MONOCAPA

Fuente: Elaboración propia.

1.2 IDENTIFICACIÓN DE FACTORES

1.2.1 En la Superficie del Pavimento

Desde el punto de vista general la superficie de rodadura debe ser cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y debe facilitar la evacuación del agua (cuando existe) en la zona de contacto con el neumático.

Geometría

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. La geometría del pavimento afecta a la seguridad, comodidad y costos de los usuarios

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.

Características de los Agregados

El desgaste y el pulimento que afectan directamente a la adherencia entre el neumático y la superficie del pavimento se deben a la naturaleza y forma de los agregados de la carpeta asfáltica o tratamiento superficial.

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.

Contenido de asfalto

Es muy importante determinar el contenido de asfalto ya que el exceso de asfalto disminuirá el roce entre el neumático y el pavimento al ocasionar exudación del mismo.

Textura Superficial

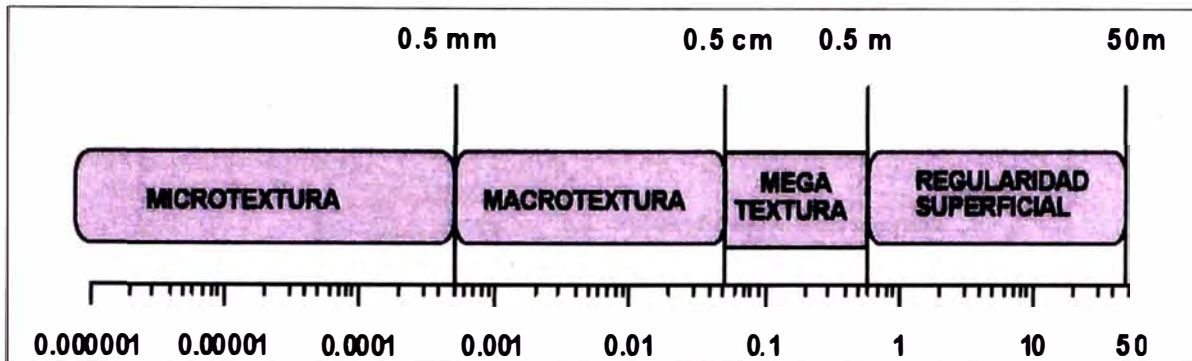
La textura superficial es la característica geométrica de la superficie de rodado formada por áridos y asfalto en unión. Se define como "la geometría más fina del perfil longitudinal de una carretera" (Archútegi et al, 1996).

La textura superficial tiene la función de proporcionar seguridad en el frenado, controlar al vehículo en zonas de curvas o permitir al conductor realizar distintas maniobras.

En el Congreso Mundial de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR), celebrado en Bruselas en 1987 se definieron los conceptos referentes a textura: microtextura, macrotextura y megatextura que dependen de la longitud de onda. Su definición se expone en el diagrama, tal como fue establecida por un grupo de trabajo de la ISO a partir de la propuesta inicial de la AIPCR. Igualmente se

establecen definiciones para las distintas formas de evaluar la textura que resultan esenciales en el desarrollo de este trabajo.

Figura N° 1.04. Clasificación del Perfil Según AIPCR



Fuente: Asociación Mundial de Carreteras

Tabla N° 1.11. Clasificación de Textura

Dominio	Longitud de Onda	Amplitud
MEGATEXTURA	50 - 500 mm	0.1 - 50 mm
MACROTEXTURA	0.5 - 50 mm	0.01 - 20 mm
MICROTEXTURA	0 - 0.5 m	0.001 - 0.5 mm

Fuente: Asociación Mundial de Carreteras

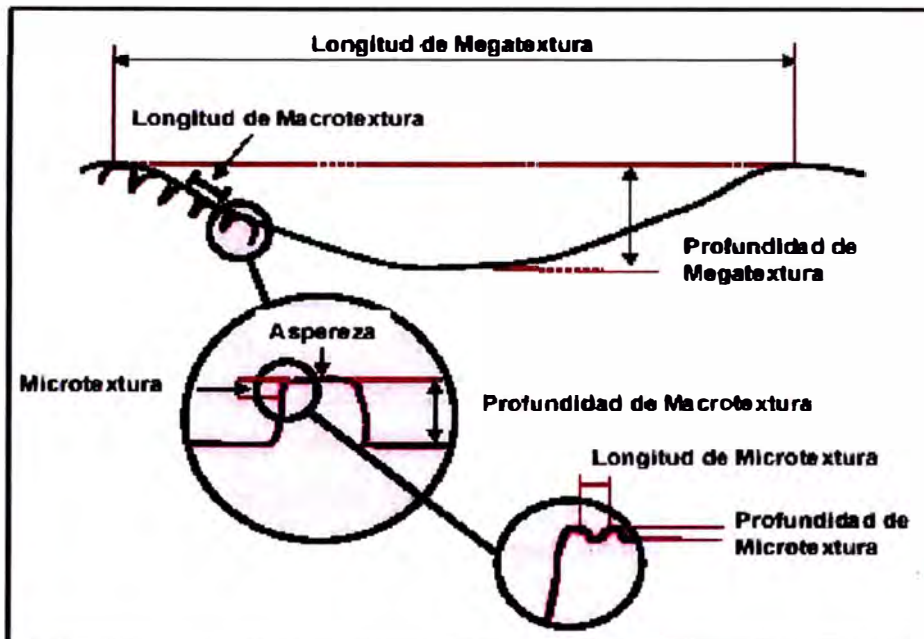
La longitud de onda de textura se define como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento.

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

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

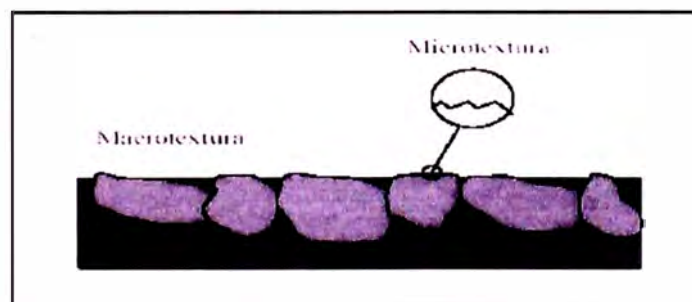
En el capítulo III, se ampliará la definición respecto a la textura superficial.

Figura N° 1.05. Tipos de Textura de un Pavimento (AIPCR, 1995)



Fuente: Asociación Mundial de Carreteras

Figura N° 1.06 Definición de macrotextura y microtextura (AIPCR, 1995)



Fuente: Asociación Mundial de Carreteras

Presencia de Contaminantes

La presencia de mucho polvo o arena hará que la porosidad que presenta el pavimento se reduzca, 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 también influirá en la adherencia disminuyéndola.

1.2.2 En el 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.

Neumáticos

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

➤ Presión de Inflado

La presión de inflado de los neumáticos depende de las especificaciones dadas en cada automóvil. En el Perú son muy pocos los usuarios que utilizan correctamente la presión de inflado y siempre se exceden de lo especificado, esto es un problema muy grave ya que la fricción entre la superficie del neumático y la superficie del pavimento se verá afectada al disminuir el área de contacto y en consecuencia la disminución de la fricción.

➤ 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.

Tipos de Vías y Peso Vehicular

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 en consecuencia, las características adecuadas para una textura superficial correcta, disminuirán.

1.2.3 Por Condiciones Climáticas

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.

Condiciones Pluviales

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 producto de las precipitaciones. Las condiciones existentes en la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento mojado se muestran en la Figura 1.06 donde:

- 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.

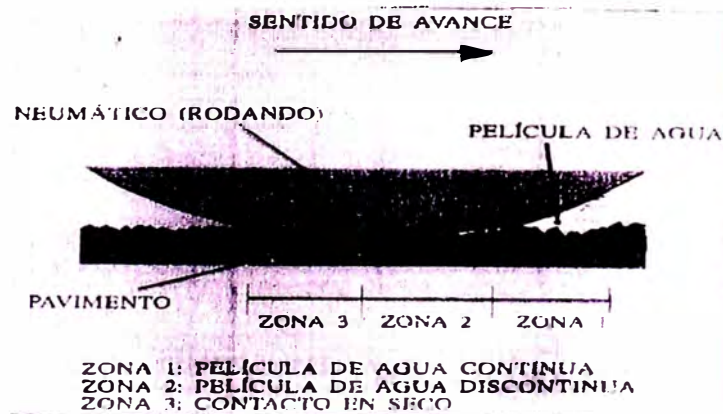
Para que el agua se pueda eliminar con una mayor rapidez que la que podría evacuar el dibujo del neumático se requiere de una macrotextura gruesa.

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.

Figura 1.07 Contacto entre el neumático y el pavimento mojado



CAPÍTULO II.- ENSAYO RELATIVOS A LA MACROTEXTURA

2.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.1 Equipos de Medida de la Fricción

a) Equipos de Rueda Bloqueada

Estos equipos vienen usándose en EE.UU. desde la década de los 50 en los programas para la mejora de la resistencia al deslizamiento de la red vial y en algunos casos para evaluar la calidad de los agregados en las vías. También se usan en cierta medida en algunos países de Europa.

Estos equipos producen un bloqueo del 100%. La velocidad relativa entre el neumático y el pavimento es igual a la del vehículo. Al aplicar el freno, se mide la fuerza y se promedia durante un segundo con la rueda completamente inmovilizada. Como la medida de la fuerza es continua, los equipos suelen poder detectar la fricción máxima. Una variante de lo anterior, el bloqueo variable, registra la fricción en función del grado de deslizamiento, desde la rodadura libre (deslizamiento del 0%) hasta el bloqueo total (deslizamiento del 100%). Los equipos de rueda bloqueada suelen estar provistos de un sistema de riego para hacer ensayos con pavimento mojado, que suelen realizarse con una película de agua de 0,5 mm de espesor nominal.

b) Equipos de Rueda Oblicua

En los equipos de rueda oblicua la rueda se mantiene formando un ángulo respecto al sentido del movimiento, no aplicándose ninguna otra condición de frenado. Se mide el esfuerzo lateral, perpendicular al plano de rotación. El SCRIM, de origen británico, es el equipo de este tipo más utilizado. Funciona con un ángulo de deriva de la rueda de 20° y está provisto de un sistema de riego autónomo capaz de proporcionar una lámina de agua de 1mm nominal. El MuMeter, también británico, tiene dos ruedas, cada una con un ángulo de deriva de 7,5°. El MuMeter fue concebido para evaluar las pistas de aeropuertos y no resulta adecuado para carreteras, porque la separación de las ruedas es pequeña en comparación con la de los vehículos de carretera. El Odoliographe no lleva sistema de riego y tiene que seguir a un camión cisterna que va mojando el pavimento.

La velocidad relativa de la rueda de estos equipos respecto al pavimento es del orden de la velocidad del vehículo (V) por el seno del ángulo de deriva (α) y, por lo tanto, es una medida de baja velocidad, aunque la velocidad del vehículo sea alta. Por ser un sistema de deslizamiento de baja velocidad, es sensible principalmente a la microtextura. Por eso se utilizan, normalmente, junto con una medida de la macrotextura. De hecho, los SCRIM suelen llevar instalado en la parte delantera del vehículo un medidor láser de macrotextura.

Figura N°2.01. Equipo SCRIM.



c) Equipos de Rueda Parcialmente Bloqueada (con grado de deslizamiento fijo)

La ventaja de la medida con la rueda parcialmente bloqueada reside en que se puede realizar un registro continuo de la fricción, siempre que se escoja una relación de deslizamiento pequeña. Los equipos de rueda bloqueada no pueden hacerlo, porque el neumático de ensayo se desgastaría muy rápidamente. Los equipos de rueda parcialmente bloqueada suelen operar con un grado de deslizamiento del 10 al 20%. También miden la fricción a baja velocidad, ya que la velocidad de deslizamiento es el producto de la velocidad (V) por el tanto por uno de deslizamiento. El equipo de fricción Saab y el Runway Friction Tester están concebidos principalmente para operar en aeropuertos. Cuando estos equipos se usan en carretera, suelen ir acompañados de una medida de macrotextura. Algunos países que utilizan equipos de rueda parcialmente bloqueada son Suiza, Suecia, Japón, Escocia y Noruega.

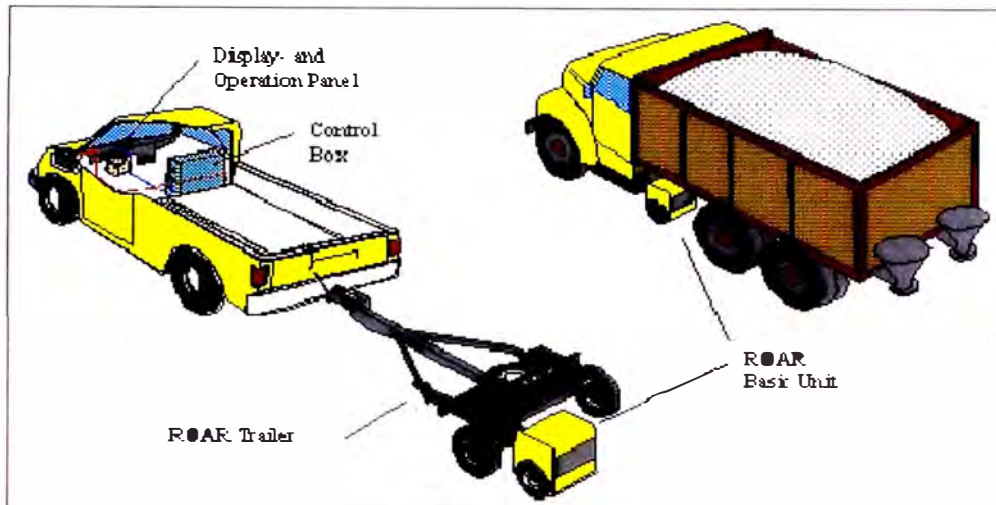
Figura N°2.02. Equipo Runway Friction Tester.



d) Equipos de Rueda Parcialmente Bloqueada (con grado de deslizamiento variable)

El Norsemeter es uno de los pocos equipos diseñados para medir a cualquier grado de deslizamiento, tanto para hacer un barrido dentro de una escala predeterminada de valores como para buscar la fricción máxima mediante un sistema de regulación. El Stuttgarter Reibungsmesser también está construido para buscar el máximo en su modalidad de ABS. Para algunas medidas, como las de pistas de aeropuertos, es deseable contar con la curva que relaciona el coeficiente de fricción con el grado de deslizamiento. Contiene la máxima cantidad de información sobre las características de fricción pavimento-neumático.

Figura N°2.03. Equipo Norsemeter.



2.1.2 Medidas de Textura

a) Perfilómetro

Actualmente existen tres tipos básicos de perfilómetros. Los tres obtienen un perfil digital de la macrotextura. Los tipos son: láser, fotoseccionamiento y aguja de contacto. De estos tipos, el más común es el de láser. Hay un solo equipo de fotoseccionamiento y ninguno en servicio de aguja de contacto.

El tipo láser está muy generalizado. Puede ir instalado en equipos estacionarios sobre una viga por la que corre el láser accionado por un motor, o empujado a mano, o ir montado en un vehículo que se desplaza a velocidades de hasta 72 km/h. Suele actuar proyectando un rayo sobre un punto del pavimento, y un receptor, situado en ángulo respecto al láser, mide la altura de ese punto sobre el pavimento. La mayoría de los SCRIM actuales disponen de un perfilómetro láser. Tanto el VTI como el CRR miden la macrotextura con láser.

Los equipos de fotoseccionamiento proyectan un plano de luz formando un ángulo con el pavimento. La proyección del plano de luz con el pavimento produce un efecto similar al del relieve de las montañas durante las puestas de sol.

Figura N°2.04. Perfilómetro Laser sin Contacto.



b) Perfilómetro

El método volumétrico consiste en extender sobre el pavimento, en forma de círculo, un volumen conocido de material. La medida del diámetro permite determinar el área del círculo y dividiendo el volumen por el área se obtiene la profundidad media de la textura (MTD). El método se conoce como «círculo de arena», porque durante muchos años se ha utilizado este material. Hoy día se recomiendan esferas de vidrio, aunque se sigue empleando arena. En el Experimento se han utilizado esferas de vidrio. También se utilizan grasa y masilla en medidas volumétricas de pistas de aeropuertos.

Figura N°2.05. Método volumétrico – Mancha de Arena.



Fuente: Elaboración Propia

c) Equipos de Medida de Drenaje (Drenómetros)

En los ensayos se utiliza un cilindro transparente, marcado con un volumen conocido y provisto de un obturador anular de caucho entre el cilindro y el pavimento. El cilindro se llena de agua y se mide el tiempo en segundos que tarda en evacuarse el volumen conocido. Se mide manualmente con un cronómetro, o bien con un reloj electrónico y dos electrodos colocados en el cilindro. El inverso del tiempo representa la medida de la textura, que es la que determina el flujo de agua. En una placa perfectamente lisa el tiempo sería infinito.

2.2 COMPARACION CON NORMAS INTERNACIONALES

2.2.1 Normatividad Internacional Existente

Actualmente sólo existe una norma internacional ISO de medida de textura para determinar la MTD por el método volumétrico. Este procedimiento se inspira en una norma ASTM, que a su vez se deriva del conocido "círculo de arena» (ver anexo) especificado por primera vez por el Road Research Laboratory de Inglaterra. El método de ensayo seguido en el Experimento cumple la norma ASTM y la norma ISO.

A continuación se presentarán los valores mínimos de macrotextura y fricción recomendados en diferentes países para parámetros donde se haya utilizado Concreto Asfáltico en Caliente. Esto nos dará una idea de cómo se trata en otros países este tema.

Si bien el título menciona esto como normas internacionales es bueno recalcar que en algunos países son únicamente valores recomendados.

a) En Inglaterra

Coefficiente de Fricción

Se recomendó un valor mínimo de 0.45 para todos los estados, utilizando el Péndulo Portátil TRRL, a velocidades entre 45 y 50 Km/h. Este factor es similar al que se presenta en las Especificaciones Generales de Carreteras del Perú con respecto a la textura de un pavimento terminado.

b) En España

Macrotextura

En el artículo 543 de mezclas bituminosas en caliente O.C. 299/89T se indica: “Únicamente a efectos de recepción de capas de rodadura la textura superficial según la Norma NLT-335/87 (Círculo de Arena) no deberá ser inferior a 0.7mm”.

Coefficiente de Fricción

Los valores medidos por el equipo SCRIM no se establecen en los Pliegos de Condiciones de proyectos de una nueva construcción debido a que este valor en un pavimento nuevo siempre supera el umbral deseable. Este valor en un pavimento nuevo va de 0.70 – 0.80.

Las situaciones que pueden ocurrir a lo largo del tiempo de una carretera son muy variadas y no es habitual establecer especificaciones. Por este motivo los valores se han ilustrado de la siguiente manera en el Pliego de Condiciones Generales y Particulares:

CRT < 35	35• CRT < 50	CRT• 50
INADECUADO	SEGUIMIENTO ESPECIAL	GENERALMENTE ADECUADO

c) En California

Coefficiente de Fricción

Se fijó el valor mínimo de 0.47 en unidades del péndulo TRRL.

d) En Cuba

Macrotextura

Se propuso el valor de macrotextura mínimo de 0.3 mm medido con el ensayo del Marco Portátil de Textura.

Coefficiente de Fricción

El coeficiente de Fricción medido con el Péndulo Portátil DIVA (CFD) se considera como mínimo de 0.33 para los pavimentos flexibles en Cuba Si bien los equipos utilizados en Cuba son muy parecidos a los que se usan

internacionalmente éstos no aparecen en el estudio de la AIPCR, por lo que es más difícil comparar los resultados con otros equipos.

e) En Argentina

Macrotextura

Se consideran pavimentos especiales desde el punto de vista de la adherencia a las profundidades de textura por encima de 0.50mm medidas con el Círculo de la Arena.

Coefficiente de Fricción

Según el Pliego de Concesiones Viales para calzadas en servicio, está indicado que el coeficiente μ_6 debe ser mayor o igual a 0.40, como valor promedio por kilómetro. El límite que debe ser verificado es de $0.34\mu_6$.

f) En Chile

Coefficiente de Fricción

A continuación (Tabla N° 2.01), se presenta los Valores mínimos de Coeficiente de Rozamiento en Chile medido con el equipo SCRIM:

Tabla N° 2.01 Coeficiente de Fricción en Chile medido con el equipo SCRIM, según el tipo de sitio

Tipo de Sitio	Coef. de Roce
1 Rotondas 2 Curvas con radios menores a 150 [m] 3 Pendientes 1/20 o mayores y pendientes de largos mayores a 100[m] 4 Aproximaciones a cruces semaforizados en vías no restringidas	0.55
Vías interurbanas de categoría autopista primaria y colectora. Vías urbanas con tráficos con flujos mayores que 2000 veh/día.	0.5
Todas las demás vías	0.4

Fuente: R. Lucero, C. Wahr y C. Arancibia

Se puede apreciar que en estas especificaciones se ha diferenciado por zonas. El Coeficiente de Fricción debe ser mayor en presencia de curvas y lugares de frenado.

Con esto es importante ver cómo cada país usa equipos diferentes y factores diferentes en sus normas.

Esto nos servirá para darnos una idea de cómo tratan este tema en otros países para compararlo con el caso peruano y así poder desarrollar una Norma Peruana.

CAPÍTULO III.- ANALISIS DE LA TEXTURA Y FRICCIÓN

3.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

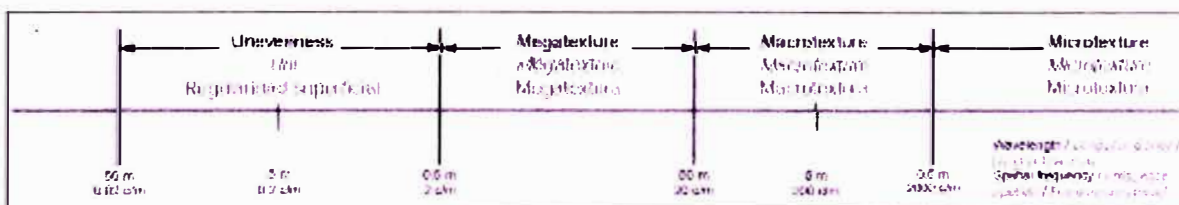
3.1.1 Definiciones con Relación a Textura

En este capítulo se describen las medidas de textura en lo que se refiere a: métodos utilizados, medidas realizadas, equipos empleados, resultados obtenidos, las relaciones existente entre fricción y textura obtenidas en estudios anteriores al presente, es decir, la forma de explicar si las diferencias entre los valores de fricción obtenidos por distintos equipos y a distintas velocidades se pueden explicar en función de los valores de textura.

Textura

En el Congreso Mundial de la Asociación Mundial de Carreteras (AIPCR), celebrado en Bruselas en 1987 se definieron los conceptos referentes a textura: microtextura, macrotextura y megatextura que depende de la longitud de onda. Su definición se expone en el figura 3.01, tal como fue establecida por un grupo de trabajo de la ISO a partir de la propuesta inicial de la AIPCR. Igualmente se establecen definiciones para las distintas formas de evaluar la textura que resultan esenciales en el desarrollo de este trabajo.

Figura N°3.01. Clasificación del Perfil Según AIPCR



Fuente: Asociación Mundial de Carreteras

Las definiciones que se presentan a continuación, también proceden del borrador de la ISO/CD13473 y son las siguientes:

Amplitud y Longitud de la Onda de Textura

El perfil del pavimento se describe por el desplazamiento a lo largo de su superficie y por el desplazamiento en dirección normal a ella. Aquí se llama distancia al primero y ancho al segundo. La distancia puede medirse en sentido

longitudinal o transversal respecto a la dirección de la marcha, o en cualquier inclinación intermedia. Se define la longitud de onda de textura como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento.

Microtextura

La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0.5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas centrales de no más de 0.4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0.001 y 0.5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

Macrotextura

La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0.5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas centrales entre 0.5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0.01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los elementos del neumático en la zona de contacto con el pavimento.

Megatextura

La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas centrales entre 63 y 500 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0.1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).

Regularidad Superficial

La regularidad superficial es la desviación que presenta la superficie con respecto a una superficie plana con dimensiones características en sentido longitudinal mayores de 0.5 m (correspondiente a las longitudes de onda comprendidas entre 0.5 y 50 m). Ver Tabla N° 1.11.

Profundidad de Textura

En un análisis tridimensional, el término profundidad de textura (TD) es, para un área similar a la de contacto con el neumático, la distancia media entre la superficie del pavimento y un plano que pase por los tres vértices más altos y “claramente espaciados” de dicha superficie.

Método Volumétrico

El método conocido como círculo de arena se viene empleando desde hace muchos años en la medida de textura de pavimentos. Se realiza esparciendo un volumen conocido de arena sobre el pavimento en forma de círculo y midiendo su diámetro. Dividiendo el volumen de arena entre la superficie del círculo, se obtiene la profundidad media de arena equivalente a la profundidad media de textura. En los últimos años la arena ha sido sustituida por microesferas de vidrio. En vista de que realmente se trata de un método basado en la medida de un volumen de material, el nombre apropiado es el de “método volumétrico”. Este método se describe en el anejo A de la norma ISO 10844 y en la norma ASTM E-065.

Profundidad Media de Textura

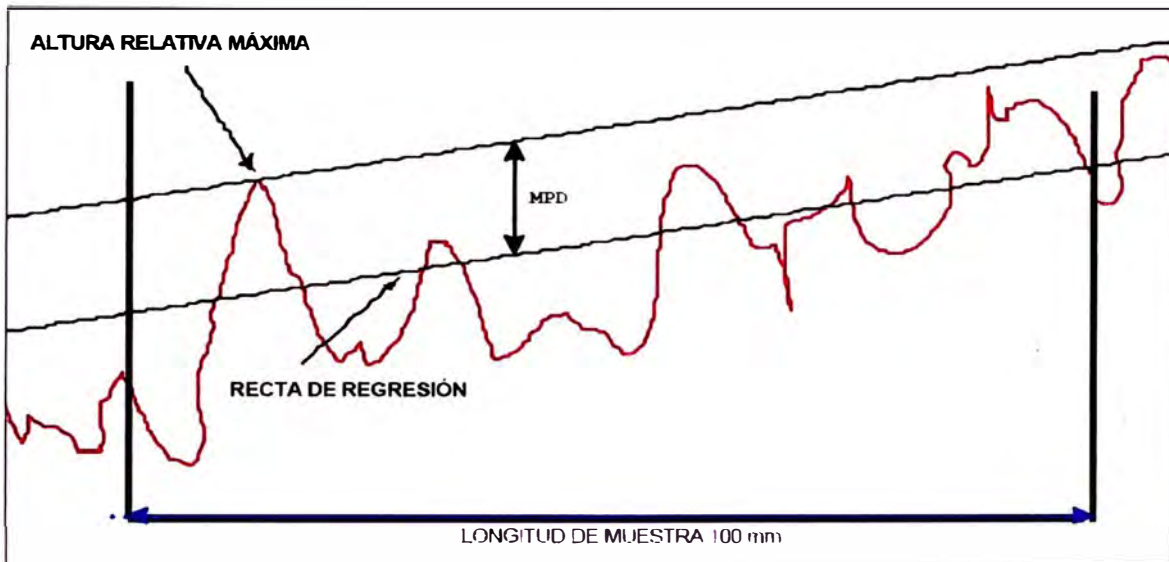
En la aplicación del “método volumétrico” (descrito anteriormente), el «plano» se determina en la práctica por el contacto entre una zapata de caucho y la superficie con la que roza. Por tanto, la superficie de referencia que se obtiene no es exactamente un «plano», sino una superficie curva difícil de definir. La profundidad de textura que se obtiene con el método volumétrico se denomina profundidad media de textura MTD (Mean Texture Depth)

Profundidad Media del Perfil

En el caso bidimensional, es decir, en el estudio de una línea del perfil, el término profundidad media del perfil MPD (Mean Profile Depth) es la diferencia

(en una distancia del mismo orden de magnitud que el contacto pavimento neumático) entre la recta de regresión de los puntos del perfil y una paralela trazada por su punto más alto.

Figura N°3.02 Profundidad Media del Perfil (MPD)



Fuente: ÁEPO Ingenieros Consultores

Profundidad Estimada de Textura

Cuando la profundidad media de textura (MTD) se calcula a partir de la profundidad media del perfil (MPD) mediante una ecuación de transformación, el resultado se denomina profundidad estimada de textura (ETD) expresada en milímetros, como se muestra a continuación (ASTM E-1845):

$$ETD = 0.2 + 0.8(MPD) \quad (3.1)$$

3.1.2 Definiciones con Relación a Fricción

Fricción

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

3.1.3 Equipos de Medición de Textura y Fricción

A modo de ilustración, en las Tablas N°3.01 y N°3.02 se recoge la relación de los equipos que participaron en el Experimento Internacional AIPCR. La Tabla N°3.01 indica los equipos de medida del rozamiento y proporciona su identificación, número y nombre, tipo de equipo, tipo de neumático, factor de deslizamiento y velocidades de ensayo. La Tabla N°3.02 presenta la lista de los equipos de medida de textura, su número y nombre, tipos y velocidades de ensayo.

Tabla N°3.01 Lista de Equipos de Medida de Textura

IDENTIFICACIÓN	DENOMINACIÓN (PAÍS)	MEDIDA	VELOCIDAD (km/h)
A1	FHWA TEXTURE VAN (USA)	RMS	30
A2	VTI MOBILE PROFILOMETER (S)	RMS, ETD, TDMA, MPD	36
A3B	ARAN (CAN)	MPD, RMS	30, 60, 80
A3E	AEPO RST (E)	MACRO-MEGATEXTURA	30
A4	CRR MOBILE PROFILOMETER (B)	MPD, RMS	18, 36, 72
A5	CRR STATIONARY PROFILOMETER (B)	MPD, RMS	0
A8	ASTM E-965 SANDPATCH (US)	MTD	0
A12	ROSAN (US)	MTD (CALCULADA)	5
B8	OUTFLOW METER (CH)	TIEMPO DE DESAGÜE	0
B11E	OUTFLOW METER (US)	TIEMPO DE DESAGÜE	0
D2	GEOCISA SCRIM (E)	MTD (CALCULADA)	60
D3	RUGOLASER (F)	HSC, RA, RQ	60
D4	SUMMS (I)	MTD (CALCULADA)	50
D5	SCRIMTEX (UK)	MTD (CALCULADA)	50

Fuente: Experimento Internacional AIPCR

A efectos del Experimento Internacional AIPCR, los equipos se clasificaron de la forma siguiente:

➤ Fricción

- ✓ de rueda oblicua (con respecto al sentido de la marcha)
- ✓ de rueda parcialmente bloqueada con grado de bloqueo fijo
- ✓ de rueda bloqueada con grado de bloqueo variable
- ✓ de rueda bloqueada

➤ Textura

- ✓ equipos estacionarios
- ✓ equipos móviles, a velocidad de paseo
- ✓ equipos móviles de gran velocidad.

Tabla N°3.02 Lista de Equipos de Medida de Fricción

IDENTIFICACIÓN	DENOMINACIÓN (PAÍS)	TIPO DE MEDIDA	TIPO DE NEUMÁTICO	TASA DE DESLIZAMIENTO (*) (%)	VELOCIDAD (km/h)
A12	ROSAN (USA)	ZAPATA	LISO	100	10
A13	DF TESTER (J)	ZAPATA	LISO	100	0-80
A14	BRITISH PENDULUM (US)	ZAPATA	LISO	100	10
B1-ABS	STUTT. REIBUNGSMESSER (CH)	DESPLAZAMIENTO ÓPTIMO	ESTRIADO-P	OPT.	30, 60, 90
B1-LKD	STUTT. REIBUNGSMESSER (CH)	RUEDA BLOQUEADA	ESTRIADO-P	100	30, 60, 90
B1-SLP	STUTT. REIBUNGSMESSER (CH)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	ESTRIADO-P	20	30, 60, 90
B2-LKD	SKIDDOMETER BV-8 (CH)	RUEDA BLOQUEADA	ESTRIADO-P	100	30, 60, 90
B2-SLP	SKIDDOMETER BV-8 (CH)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	ESTRIADO-P	20	30, 60, 90
B3	SKIDDOMETER BV-11 (S)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	CON DIBUJO	20	30, 60, 90
B4E-SLP	NORSEMETEER ÓSCAR (N)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	LISO-A	20	30, 60, 90
B4E-SWP	NORSEMETEER ÓSCAR (N)	BLOQUEO PARCIAL VARIABLE	LISO-A	0-90	30, 60, 90
B5-ABS	STUTT. REIBUNGSMESSER (A)	DESPLAZAMIENTO ÓPTIMO	ESTRIADO-P	OPT	30, 60, 90
B5-LKD	STUTT. REIBUNGSMESSER (A)	RUEDA BLOQUEADA	ESTRIADO-P	100	30, 60, 90
B5-SLP	STUTT. REIBUNGSMESSER (A)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	ESTRIADO-P	20	30, 60, 90
B6-501	ASTM E-274 TRAILER (US)	RUEDA BLOQUEADA	ESTRIADO-A	100	65
B6-524	ASTM E-274 TRAILER (US)	RUEDA BLOQUEADA	LISO-A	100	30, 65, 90
B6-CHP	ASTM E-274 TRAILER (US)	MÁXIMO EN SECO	CON DIBUJO	PEAK	65
B6-ULT	ASTM E-274 TRAILER (US)	BLOQUEADA EN SECO	LISO-A	100	10
B7	BRITISH PENDULUM (CH)	ZAPATA	LISO	100	10
B10E	MUMETER (E)	RUEDA OBLICUA	CON DIBUJO	13 (7.5°)	80
C1	SKID RESISTANCE TESTER (P)	RUEDA BLOQUEADA	CON DIBUJO	100	30, 60, 90
C3B	FLEMISH SCRIM (B)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 60, 90
C3E	CEDEX SCRIM (E)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 60, 90
C4	KOMATSU SKID TESTER (J)	BLOQUEO PARCIAL VARIABLE	LISO-A	10-30%	30, 50, 60
C5	DWW TRAILER (NL)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	LISO-P	86	30, 50, 90
C6E	MOPT SCRIM (E)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 60, 90
C8	STRADOGRAPH (DK)	RUEDA OBLICUA	LISO-P	21 (12°)	30, 60, 90
C9	WALOON ODOLIOGRAPH (B)	RUEDA OBLICUA	LISO-P	26 (15°)	30, 50, 90
C10	CRR ODOLIOGRAPH (B)	RUEDA OBLICUA	LISO-P	34 (20°)	30, 50, 90
D1E	SCRIM (D)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	40, 60, 90
D2	SCRIM-GEOCISA (E)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 60, 80
D3	SCRIM (F)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 60, 90
D4	SUMMS (I)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 60, 80
D5	SCRIMTEX (UK)	RUEDA OBLICUA	LISO	34 (20°)	30, 50, 90
D6	ADHERA-LCPC (F)	RUEDA BLOQUEADA	LISO-P	100	40, 60, 90
D7B	PETRA (D)	BLOQUEO PARCIAL VARIABLE	CON DIBUJO	0-100%	30, 60, 90
D8	GRIPTESTER (UK)	BLOQUEO PARCIAL FUIO	LISO	14.5	5, 30, 65, 90

(*) Para los equipos de rueda oblicua, el grado de deslizamiento equivalente figura seguido por el ángulo de deriva entre paréntesis.

ESTRIADO-P = neumático estriado AIPCR
LISO-P = neumático liso AIPCR
ESTRIADO-A = neumático estriado ASTM (E-501)
LISO-A = neumático liso ASTM (E-524)
CON DIBUJO = neumático con diferentes dibujos

Fuente: Experimento Internacional AIPCR

A continuación se describe las características del equipo usado para la toma de datos de macrotextura para el presente trabajo.

3.1.4 Relación Entre la Fricción y la Velocidad de Desplazamiento

Se realiza la descripción de algunos modelos que relacionan la fricción y la velocidad de desplazamiento del vehículo, siendo los siguientes:

a) Modelo Penn State

El modelo "Penn State" relaciona la fricción con la velocidad de deslizamiento (S), de la siguiente forma (Experimento Internacional AIPCR):

$$F(S) = F_0 \cdot e^{-\frac{S}{S_0}} \quad (3.2)$$

Donde:

$F(S)$: fricción a la velocidad de deslizamiento S .

S : velocidad del neumático con respecto al pavimento.

F_0 : constante adimensional que generalmente depende de la microtextura.

S_0 : constante con unidades de velocidad que depende de la macrotextura, varía entre 20 y 600 km/h.

Un valor bajo de S_0 indica una macrotextura baja y valores altos, macrotextura altas. También, como se deduce del modelo para valores bajos de S_0 , cuanto mayor es la velocidad de deslizamiento menor es el valor de la fricción. Valores altos indican que la fricción es menos sensible a la velocidad de deslizamiento.

El modelo "Penn State" se modificó inicialmente sustituyendo la constante F_0 por F_{10} (fricción a 10 km/h). Esta ecuación modificada da los mismos valores $F(S)$, pero tiene constantes distintas siendo el modelo modificado de la siguiente forma:

$$F(S) = (F_{10})e^{\frac{10-S}{S_0}} \quad (3.3)$$

Donde:

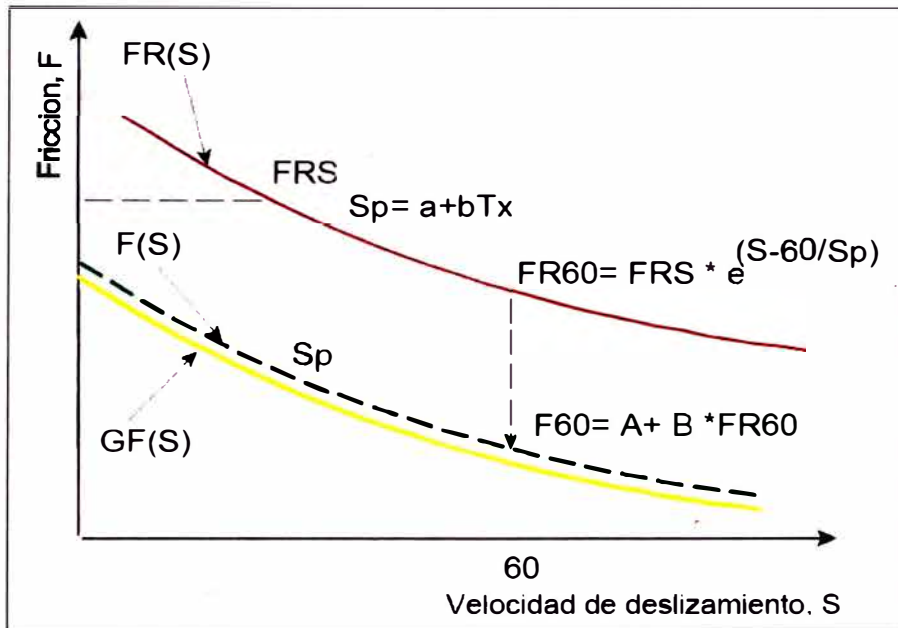
F_{10} : es $F(S)$ a 10km/h.

b) Modelo AIPCR

En el experimento internacional AIPCR, el modelo modificado expuesto anteriormente no proporcionó buenas correlaciones con todos los equipos, y puesto que la velocidad de deslizamiento difería mucho de 10 km/h, se probaron otros modelos. Se presenta a continuación el modelo que dio mejores resultados, llamado modelo AIPCR. El modelo AIPCR difiere en que se utiliza la constante de velocidad S_p (con el mismo valor de S_0 , pero indicativa de que se trata del modelo AIPCR y no del modelo «Penn State») para ajustar el valor medido de la fricción (FRS) a 60 km/h (FR60). A continuación se hace una regresión para cada equipo a fin de obtener una estimación (F_{60}) del valor de referencia GF60. Un aspecto significativo del modelo AIPCR es que la medida de fricción de un equipo no tiene que hacerse a una de las velocidades del experimento. FRS se puede medir a cualquier velocidad S y siempre se ajusta a FR60. Así, si un equipo no puede mantener su velocidad de trabajo normal y

debe pasar a una velocidad mayor o menor debido a la circulación, el modelo sigue siendo eficaz siempre que se registre S (o V, que se puede convertir a S). El procedimiento del modelo AIPCR se presenta gráficamente en la Figura N°3.03.

Figura N°3.03 Curva Fricción Deslizamiento Modelo AIPCR



Fuente: Ramón Crespo

El procedimiento es el que sigue:

1. Se determina la constante de velocidad a partir de la medida de textura (Tx) con la siguiente relación:

$$S_p = a + b.Tx \quad (3.4)$$

Donde:

a y b : constantes de textura que dependen del equipo (Tabla N° 3.03).

Tx : medida de la textura.

2. Se convierte el valor de la fricción FRS, a la medida a 60km/h (FR60) de la siguiente manera:

$$FR60 = FRS.e^{\frac{S-60}{S_0}} \quad (3.5)$$

Donde:

FRS : medida de la fricción de un equipo a velocidad de desplazamiento S, y S_p obtenida de la ecuación (3.4).

S : velocidad del vehículo para equipos de rueda bloqueada.

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

$$F60 = A + B.FR60 \quad (3.6)$$

Donde A y B son las constantes que dependen del tipo de equipo de fricción, FR60 se calcula con la ecuación (3.5).

Las constantes A, B, a y b de cada equipo se hallan a partir de los datos del experimento. Sustituyendo S_p por GS en la ecuación (3.4) para cada sección, se determinan las constantes a y b. del mismo modo, los valores de referencia GF60 en la ecuación 3.5 para obtener A y B (ver Tabla N° 3.04).

Tabla N°3.03 Regresión Entre la Constante de Velocidad Sp Y la Constante de Velocidad de Referencia GS

METODO	EQUIPO	V	N	a	b	Max E	Ave E	RMSE	R
MPD	A2	34	69	14.235	89.719746	77.8	14.78	21.33	0.956
ETD	A2	34	69	37.3855	76.9768	78.27	14.79	21.42	0.95
MPD	A5	0	65	9.74081	81.67568	77.19	16.94	23.18	0.941
TDMA	A2	34	69	17.3401	94.25999	69.42	17.75	23.59	0.939
MTD	A8	0	69	-11.5981	113.63246	85.38	17.95	25.42	0.93
MTD	A3B	60	25	-12.6729	119.769	57.9	18.7	25.39	0.92
4SC	D3	60	67	17.628	92.9984	125.73	18.54	28.02	0.915
RQ	D3	60	67	14.1414	180.6588	130.17	19.33	28.71	0.911
MPD	A4	18	69	11.5017	69.13345	96.95	20.8	29.14	0.906
RMS	A2	34	69	18.7992	170.08937	96.47	20.14	28.57	0.906
RA	D3	60	64	16.395	225.4199	126	19.07	28.56	0.906
RMS	A1	30	69	22.6763	285.61917	86.2	23.48	29.31	0.902
MPD	A4	36	69	9.22889	83.2893	109.41	21.59	30.39	0.897
MTD	A3B	30	25	-3.4267	116.55418	73.32	21.48	29.27	0.892
RMS	A3B	60	25	13.9824	186.7008	71.52	23.41	30.97	0.878
1/TIME	B11E	80	33	48.1228	129.9821	69.52	15.45	24.2	0.877
MTD	A3B	80	25	-3.05123	108.202	72.06	24.69	31.96	0.87
RMS	A5	0	66	21.1784	158.69943	96.14	24.67	35.1	0.862
CSMTD	D4	50	58	30.6987	148.4899	141.45	23.44	34.48	0.814
MTD	D2	69	62	-34.9681	142.6474	128.76	20.01	37.21	0.806
RMS	A3B	80	25	21.4705	172.5365	95.43	29.92	39.02	0.798
SMTD	D5	50	63	25.8322	139.6801	151.73	24.4	36.48	0.793
RMS	A3B	30	25	35.2133	154.6843	114.56	29.22	46.46	0.781
ROUGH	A3E	30	33	9.67855	215.1516	71.81	21.62	31.61	0.779
MEGA	A3E	30	33	32.535	247.9318	90.98	21.96	32.78	0.759
MPD	A4	72	69	42.256	139.2028	146.97	35.23	48.1	0.714
FINE	A3E	30	33	21.9145	317.0124	115.3	29.81	43.74	0.496
BPN	A14	0	68	-130.262	3.70656	177.74	48.6	61.44	0.451
BPN	B7	0	62	-44.4114	2.99675	162.51	50.41	60.05	0.397

Max |E|= error absoluto máximo
Ave |E|= error absoluto medio
RMSE= raiz media cuadrática del error residual

Fuente: Experimento Internacional AIPCR

Para el caso de neumáticos estriados o con dibujos se debe incluir la macrotextura en la primera regresión. La ecuación se sustituye por:

$$F60 = A + B.FR60 + C.Tx \quad (3.7)$$

Siendo:

A, B y C : constantes de regresión, FR60 el valor anterior.

Tx : la medida de la textura.

Tabla N°3.04 Regresiones Para Obtener GF60 Utilizando El Modelo AIPCR: $F60 = A+B.FRS.EXP [(S-60)/S_p]$, Donde S_p se ha Determinado Utilizando MPD

NEUMÁTICO LISO		S	N	A	B	c	Max E	Ave E	RMSE	R
LKD	B6.524	65	69	0.04461	0.92549	0	0.095	0.02	0.0267	0.969
	D6	60	69	0.00226	1.00762	0	0.06	0.016	0.0243	0.981
SLP	B4SLP-86	52	15	-0.03033	0.86411	0	0.038	0.021	0.0267	0.96
	B4SLP-20	12	15	0.11917	0.64319	0	0.089	0.031	0.0411	0.915
	C4	10	63	0.04195	0.84865	0	0.091	0.031	0.0394	0.936
	C5	43	69	0.01883	0.8678	0	0.203	0.043	0.0584	0.84
	D8	9.4	67	0.08209	0.9104	0	0.086	0.027	0.0346	0.947
SFC	C8	12.5	69	0.05436	0.7702	0	0.091	0.029	0.0362	0.941
	C9	12.9	69	0.1134	0.7291	0	0.081	0.024	0.0301	0.96
	C10	20.5	61	0.1135	0.74581	0	0.085	0.025	0.0311	0.962
	C3B	20.5	35	0.04912	0.96738	0	0.074	0.023	0.03	0.955
	C3E	20.5	27	0.0188	0.8127	0	0.131	0.043	0.0558	0.839
	C6E	20.5	29	0.0319	0.8734	0	0.063	0.02	0.0262	0.959
	D1E	20.5	31	0.0165	0.8495	0	0.067	0.018	0.026	0.967
	D2	20.5	68	0.02102	0.9276	0	0.113	0.039	0.0516	0.879
	D3	20.5	69	-0.00594	0.86211	0	0.085	0.026	0.0342	0.948
	D4	20.5	69	0.00195	0.9867	0	0.094	0.031	0.0373	0.938
D5	17.1	69	0.03258	0.8717	0	0.112	0.03	0.0385	0.933	
NEUMÁTICO		S	N	A	B	c	Max E	Ave E	RMSE	R
LKD	B1LKD	60	42	0.02204	0.50025	0.082158	0.085	0.033	0.0419	0.903
	B2LKD	60	63	0.02634	0.5042	0.099195	0.114	0.039	0.0491	0.895
	B5LKD	60	59	-0.07215	0.76744	0.085505	0.124	0.038	0.049	0.904
	B6-501	65	67	-0.02283	0.60682	0.097589	0.115	0.033	0.043	0.916
	C1	60	62	-0.02534	0.80685	0.067724	0.011	0.033	0.0414	0.927
SLP	B1SLP	12	46	0.14107	0.32256	0.07388	0.126	0.05	0.0624	0.8305
	B2SLP	12	64	0.02968	0.91848	-0.01362	0.073	0.028	0.035	0.9498
	B3	12	68	0.03964	0.85618	-0.01589	0.084	0.029	0.0365	0.9415
	B5SLP	12		0.01962	0.8673	-0.00588	0.118	0.033	0.0414	0.9179
ZAPATA		S	N	A	B	c	Max E	Ave E	RMSE	R
	A13.60	60	68	-0.03365	0.77098	0	0.086	0.027	0.048	0.9
	A13.20	20	68	0.08114	0.73158	0	0.069	0.026	0.0307	0.96
	A14-BPT	10	68	0.05626	0.00756	0	0.109	0.043	0.0526	0.874
	B7-SRT	10	62	0.0436	0.00953	0	0.173	0.03	0.0454	0.913

Max |E|= error absoluto máximo
Ave |E|= error absoluto medio
RMSE= raiz media cuadrática del error residual

3.1.5 Índice de Fricción Internacional (IFI)

Basado en el modelo AIPCR se propone el índice de fricción internacional (IFI) como se indica a continuación. El modelo sirve, como se ha dicho, para estimar la constante de referencia de velocidad (S_p) y la fricción a 60km/h (F60). Los dos

valores calculados se expresan en forma de índice de fricción internacional IFI (F_{60} , S_p). Conocido los valores del IFI se puede estimar el valor de referencia a la fricción, $F(S)$ a cualquier otra velocidad, mediante la ecuación siguiente:

$$FS = F60.e^{\frac{60-S}{S_0}} \quad (3.8)$$

Siendo S cualquier velocidad de desplazamiento que interese.

Análogamente se define la curva $GF(S)$ mediante la siguiente ecuación:

$$GS = GF60.e^{\frac{60-S}{GS}} \quad (3.9)$$

Donde:

S : velocidad de medición

$GF(S)$: fricción de la curva de referencia a la velocidad S

$GF60$: fricción real de la curva de referencia correspondiente a la velocidad de 60km/h

GS : constante de influencia de velocidad en la curva de referencia en km/h

3.2 APLICACIÓN EN CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Para fines del presente trabajo se consideró evaluar la macrotextura en la superficie de la carretera Cañete – Chupaca y en consecuencia, se realizan algunas descripciones de las características de la carretera en mención.

3.2.1 Condiciones del Tramo Evaluado

Las inspecciones a fin de evaluar las características que se presentan en el pavimento entre las progresivas 134+000 y 139+000, son específicamente concernientes a la superficie del pavimento identificándose dos tipos de tratamiento superficiales: Slurry seal y Monocapa. Las condiciones de la zona de evaluación presenta en gran parte superficie de un ancho de vía de 4.00m en promedio, presencia de fallas estructurales a consecuencia de ello se identificaron zonas rehabilitadas a través de parchados y tratamientos superficiales como se muestran en las Figuras N°3.04 a Figuras N°3.07.

Figura N°3.04 Condiciones del Pavimento de la Zona de Evaluación



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°3.05 Parchado y Tratamiento Superficial



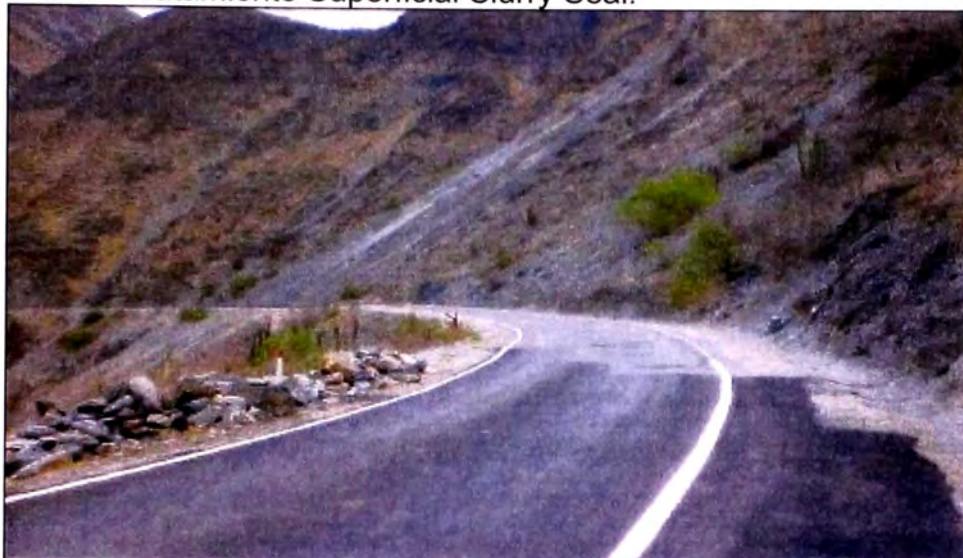
Fuente: Elaboración Propia

Figura N°3.06 Tratamiento Superficial Monocapa



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°3.07 Tratamiento Superficial Slurry Seal.



Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Equipo Participante en la Evaluación de Macrotextura

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.

Por razones de carencia de equipos y tiempo que nos permita realizar mediciones de textura en diferentes periodos de tiempo y tramos de la vía con fines de realizar comparaciones y encontrar correlaciones, el presente trabajo se limita a la evaluación superficial de la textura a través del ensayo de círculo de arena.

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.

Conocido el volumen (V) de arena empleado para el ensayo y el diámetro medio (D) del círculo, se calcula la profundidad de penetración de la arena dentro de las asperezas o “profundidad de textura” (PT), mediante la siguiente expresión:

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (3.10)$$

3.2.3 Medidas Obtenidas

Los datos fueron recolectados en un tramo de la carretera Cañete – Chupaca entre los kilómetros 134+000 y 139+000, relocalizada el 27 de Noviembre del 2010. El procedimiento usado fue el desarrollado por el Ministerio de Transporte y Comunicación (MTC). De este modo, las principales tareas a ejecutarse fueron las siguientes:

a) Acciones Previas a los Trabajos de Campo:

Se realiza la revisión de inventarios e informes de inspecciones anteriores, a fin de tomar conocimiento, encontrándose una carencia de información relacionada

a evaluaciones anteriormente realizadas de la carretera evaluada. Esta carencia de información es muy determinante en la realización del presente trabajo que será descrito en el siguiente capítulo.

b) Acciones en el Campo Propiamente Dichas:

- Se verifica la ubicación de la zona de evaluación para su inspección entre las progresivas 134+000 y 139+000.
- Se toman medidas de seguridad necesarias.
- Se realiza la inspección de la zona.
- Evaluación de macrotextura con el método volumétrico.

c) Datos de Medidas de Textura

Las evaluaciones de macrotextura se realizaron mediante el método volumétrico (MTD), por la facilidad de uso. Esto no implica que sea el mejor: se toma como referencia porque es el método comúnmente mas usado por su aplicación. En la tabla N° 3.05, se muestra el resumen de datos recopilados.

A continuación se muestra los datos obtenidos.

Figura N°3.08 Medición de Macrotextura con el Método de Circulo de Arena



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°3.05 Resumen de Datos Recopilados

LADO	PROGRESIVA	VOL. (ml)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D _{PROM} (mm)	P _T (mm)	P _T PROM (mm)	RMS	FECHA
I	134+000	50	270	250	290	270.00	0.87	1.6	1.6	27/11/2010
		100	310	260	270	280.00	1.62			27/11/2010
		150	300	290	300	296.67	2.17			27/11/2010
D	134+200	50	260	260	270	263.33	0.92	1.5	1.6	27/11/2010
		100	290	280	280	283.33	1.59			27/11/2010
		150	310	290	310	303.33	2.08			27/11/2010
I	134+400	50	280	280	260	273.33	0.85	1.5	1.6	27/11/2010
		100	300	270	290	286.67	1.55			27/11/2010
		150	290	300	320	303.33	2.08			27/11/2010
D	134+600	50	270	270	280	273.33	0.85	1.4	1.5	27/11/2010
		100	290	280	300	290.00	1.51			27/11/2010
		150	320	310	310	313.33	1.95			27/11/2010
I	134+800	50	260	270	280	270.00	0.87	1.4	1.5	27/11/2010
		100	300	290	300	296.67	1.45			27/11/2010
		150	310	320	300	310.00	1.99			27/11/2010
D	135+000	50	240	250	240	243.33	1.08	1.7	1.8	27/11/2010
		100	260	270	250	260.00	1.88			27/11/2010
		150	310	270	300	293.33	2.22			27/11/2010
I	135+200	50	250	260	240	250.00	1.02	1.6	1.7	27/11/2010
		100	280	280	260	273.33	1.70			27/11/2010
		150	280	300	320	300.00	2.12			27/11/2010
D	135+400	50	260	260	250	256.67	0.97	1.5	1.6	27/11/2010
		100	270	280	280	276.67	1.66			27/11/2010
		150	310	300	320	310.00	1.99			27/11/2010
I	135+600	50	270	250	250	256.67	0.97	1.5	1.6	27/11/2010
		100	280	290	280	283.33	1.59			27/11/2010
		150	300	320	290	303.33	2.08			27/11/2010
D	135+800	50	250	240	260	250.00	1.02	1.5	1.6	27/11/2010
		100	300	300	290	296.67	1.45			27/11/2010
		150	290	300	310	300.00	2.12			27/11/2010
I	136+000	50	220	210	220	216.67	1.36	1.9	1.9	27/11/2010
		100	230	230	240	233.33	2.34			27/11/2010
		150	320	300	310	310.00	1.99			27/11/2010
D	136+200	50	250	250	260	253.33	0.99	1.6	1.7	27/11/2010
		100	290	270	270	276.67	1.66			27/11/2010
		150	280	290	310	293.33	2.22			27/11/2010
I	136+400	50	240	260	250	250.00	1.02	1.6	1.7	27/11/2010
		100	280	290	280	283.33	1.59			27/11/2010
		150	300	300	290	296.67	2.17			27/11/2010
D	136+600	50	230	250	250	243.33	1.08	1.6	1.7	27/11/2010
		100	290	280	270	280.00	1.62			27/11/2010
		150	290	310	290	296.67	2.17			27/11/2010
I	136+800	50	240	260	240	246.67	1.05	1.6	1.7	27/11/2010
		100	300	270	280	283.33	1.59			27/11/2010
		150	310	300	280	296.67	2.17			27/11/2010
D	137+000	50	310	320	320	316.67	0.63	1.0	1.0	27/11/2010
		100	380	350	320	350.00	1.04			27/11/2010
		150	390	380	380	383.33	1.30			27/11/2010
I	137+200	50	270	280	280	276.67	0.83	1.3	1.4	27/11/2010
		100	290	320	290	300.00	1.41			27/11/2010
		150	340	330	330	333.33	1.72			27/11/2010
D	137+400	50	280	290	290	286.67	0.77	1.2	1.3	27/11/2010
		100	300	360	280	313.33	1.30			27/11/2010
		150	360	340	320	340.00	1.65			27/11/2010
I	137+600	50	290	300	290	293.33	0.74	1.2	1.2	27/11/2010
		100	320	320	330	323.33	1.22			27/11/2010
		150	340	350	340	343.33	1.62			27/11/2010
D	137+800	50	260	260	260	260.00	0.94	1.5	1.6	27/11/2010
		100	300	270	290	286.67	1.55			27/11/2010
		150	310	300	310	306.67	2.03			27/11/2010
I	138+000	50	270	280	270	273.33	0.85	1.4	1.5	27/11/2010
		100	310	260	280	283.33	1.59			27/11/2010
		150	320	310	320	316.67	1.90			27/11/2010
D	138+200	50	220	200	200	206.67	1.49	2.1	2.2	27/11/2010
		100	240	220	200	220.00	2.63			27/11/2010
		150	290	270	300	286.67	2.32			27/11/2010
I	138+400	50	290	260	280	276.67	0.83	1.9	2.0	27/11/2010
		100	200	260	200	220.00	2.63			27/11/2010
		150	330	290	260	293.33	2.22			27/11/2010
D	138+600	50	190	160	210	186.67	1.83	2.0	2.0	27/11/2010
		100	240	240	250	243.33	2.15			27/11/2010
		150	300	290	320	303.33	2.08			27/11/2010
I	138+800	50	280	260	260	266.67	0.90	1.4	1.5	27/11/2010
		100	320	280	290	296.67	1.45			27/11/2010
		150	320	310	330	320.00	1.87			27/11/2010
I	139+000	50	340	330	340	336.67	0.56	0.9	0.9	27/11/2010
		100	370	400	350	373.33	0.91			27/11/2010
		150	420	430	410	420.00	1.08			27/11/2010

Resul. Est.	Cantidad	26.0	26.0
	Suma	39.4	41.4
	Promedio	1.5	1.6
	D. Estandar	0.3	0.3

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV.- MODELO DE DETERIORO PARA LA PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO Y CONTRASTACIÓN EN CAMPO

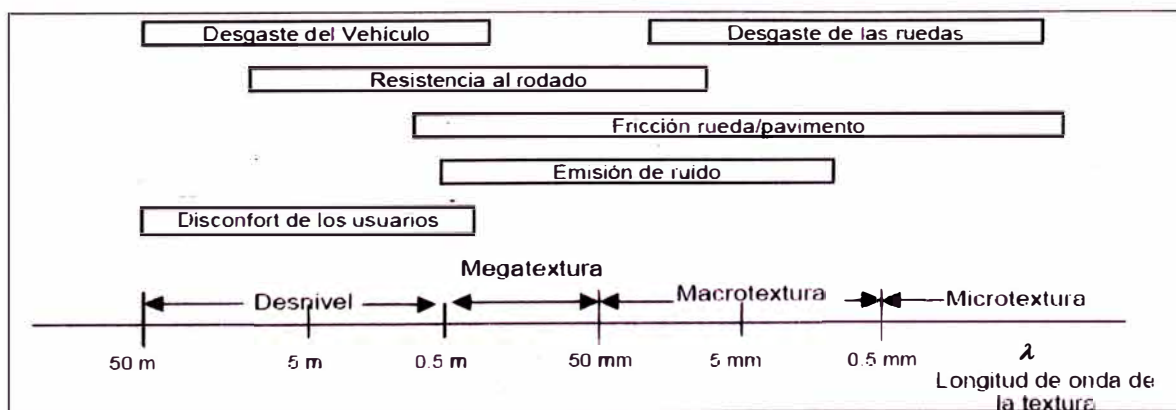
4.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

Las inversiones en conservación de carreteras son económicamente rentables para la sociedad en su conjunto. La falta de atención oportuna del deterioro incipiente de una vía trae como consecuencia que el deterioro se incremente muy rápidamente y que el costo de su reparación sea mucho más alto que aquél de una atención oportuna. Además, genera sobrecostos de operación mucho mayores que los costos de su reparación, y provoca que las condiciones funcionales disminuyan considerablemente elevando los tiempos de recorrido, y en consecuencia genera impactos negativos en la economía.

4.1.1 Condición Funcional del Pavimento

Se entiende por condición funcional o calidad funcional de un pavimento, los aspectos relacionados con la calidad de servicio y operacional que ofrece un pavimento. Esta condición se asocia con la calidad de rodado y seguridad de los vehículos y se relaciona únicamente con las características superficiales del pavimento, aunque una estructura de pavimento colapsada producirá también problemas funcionales y por lo general de mayor severidad. El monitoreo de la evolución de los parámetros funcionales en forma permanente previene que se superen los valores especificados asignando acciones de conservación que permita restaurar o corregir las condiciones iniciales de diseño.

Figura N°4.01 Intervalos de valores de la textura en términos de la longitud de onda y sus efectos.



Fuente: ISO 2008

Comúnmente los parámetros funcionales utilizados para evaluar la condición funcional del pavimento son:

- a) Índice de Serviciabilidad Presente (PSI), y relaciona la calidad de servicio al usuario con: agrietamiento, rugosidad longitudinal, baches y deformaciones de la capa superficial de un pavimento asfáltico. El PSI es el único umbral de diseño utilizado por el método AASHTO hasta su versión del 93.
- b) Resistencia al deslizamiento (Fricción). Esta propiedad, que afecta directamente la seguridad del usuario, depende de muchos factores, entre ellos: textura del pavimento, presencia de agua, características del neumático y otros. La resistencia al deslizamiento depende de la microtextura o macrotextura de la superficie del pavimento.
- c) Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Es un indicador que representa las vibraciones inducidas por la rugosidad del camino en un automóvil de pasajero típico. El modelo calcula la suma de desplazamientos verticales de una masa en el interior del vehículo estándar a lo largo de un camino, y se expresa en m/km. Existen variados métodos y equipos estandarizados para realizar mediciones de IRI, entre éstos está el equipo MERLIN, Bum Integrator y perfilómetro láser. En el Perú es mucha su aplicación para determinar la condición de serviciabilidad de las carreteras ya sea pavimentadas o sin pavimentar.

Además de los factores funcionales mencionados, se consideran también otros factores funcionales complementarios y que relacionan a un conjunto de aspectos de seguridad, serviciabilidad y apariencia. Entre estos, los más importantes para pavimentos asfálticos son el ahuellamiento y las grietas, factores que pueden no ser detectados claramente por mediciones directas del IRI en la huella de circulación.

4.1.2 Estimación del Deterioro del Pavimento Asfáltico

Se presentan los factores que provocan el deterioro de los pavimentos; se enumeran los tipos de pavimento y deterioros considerados; y se esboza el procedimiento empleado por el sistema para la aplicación de los modelos.

Cabe aclarar que este capítulo aborda de manera general la modelación del deterioro de pavimentos asfálticos, y de modo ilustrativo se describirá el modelo presentado por el HDM-4, con la finalidad de caracterizar los parámetros a tener en cuenta para el modelamiento del deterioro del pavimento en función a la macrotextura.

Causas del Deterioro de Pavimentos

Entre los principales factores que determinan el deterioro de los pavimentos, pueden mencionarse:

- ✓ Aspectos climatológicos
- ✓ Solicitaciones del tránsito
- ✓ Historial de reparaciones del pavimento
- ✓ Diseño geométrico
- ✓ Diseño estructural

a) Factores Climatológicos

En el modelo de deterioro se debe incorporar al análisis la estimación de los factores climatológicos mediante parámetros de clima y temperatura los cuales se estiman a partir de las tablas N° 4.01. Para caracterizar las condiciones de humedad se utilizan variables que describen la precipitación y la humedad libre en la zona de estudio, mientras que las condiciones de temperatura se especifican con base en promedios anuales, rangos de variación mensual y número de días con temperaturas por arriba de un cierto límite.

Tabla N°4.01 Clasificación por humedad, temperatura y altitud.

CATEGORÍA	PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	TEMPERATURA MEDIA ANUAL (°C)	ALTITUD (msnm)
Semicálido muy seco o desértico	< 150	> 24	0 - 2000
Cálido muy seco	150 - 200	24	0 - 1000
Semicálido muy húmedo	> 2000	20 - 22	vertiente orientales
Cálido húmedo	2000	25 - 30	Selva baja
Templado sub- húmedo	500 - 1200	20	1000 - 3000
Frio	700	12	3000 - 4000
Frigido o puna	700	6	4000 - 5000
Nieve o gélido	nieve perpetua	< 0	> 5000

Fuente: Antonio Brack y Cecilia Mendiola

La carretera Cañete – Chupaca, atraviesa la cordillera occidental por lo que presenta una variada precipitación a lo largo de la carretera a medida que se introduce en la serranía. Esta característica incrementa la complejidad para el análisis del deterioro debido a que la vía en estudio cambia constantemente de condiciones climáticas tanto a lo largo de la carretera como por periodos estacionales.

b) Factores de Tránsito

Se debe considerar los siguientes parámetros para representar el tránsito:

- Tránsito diario promedio anual.
- Composición vehicular, expresada en términos de porcentaje de participación de los diferentes tipos de vehículos que usan la vía
- Tasa de crecimiento vehicular, correspondiente a un incremento anual
- Número total de ejes
- Ejes equivalentes

c) Historial de Reparaciones

Se refiere a las acciones de mantenimiento, rehabilitación y construcción que se han realizado en la vía a lo largo del tiempo, considerando como intervalos al tiempo transcurrido en años desde las últimas acciones preventivas o de mantenimiento.

d) Diseño Geométrico

En este rubro se incluyen parámetros como los anchos de carril y acotamientos, el alineamiento horizontal (expresado en términos de la curvatura media del tramo, y el promedio de la sobre elevación en curvas), y el alineamiento vertical (caracterizado por el número de ascensos y descensos en el tramo, y el desnivel medio del mismo).

e) Características Estructurales

La capacidad estructural del pavimento se define mediante variables como número estructural, deflexiones, espesores de las capas, tipos de material y rigidez de la subrasante.

Tipos de Pavimentos Considerados

Los modelos de deterioro permiten analizar el comportamiento de una amplia gama de pavimentos asfálticos. Para ello, se utilizan variantes de los modelos específicos en la estimación de cada tipo de daño, o se modifican los coeficientes de los mismos.

4.1.3 Tipos de Deterioro Superficial

En esta categoría se incluyen:

- Agrietamiento
- Desprendimientos
- Baches
- Rotura de borde.

De los deterioros anteriores, los tres primeros se caracterizan por dos fases, denominadas de inicio y de progreso. La fase de inicio se refiere al lapso de tiempo previo al desarrollo de un determinado tipo de deterioro. La fase de progreso comprende el periodo durante el cual se incrementa el área afectada y la magnitud del deterioro. La rotura de borde se modela considerando únicamente la fase de progreso.

4.1.4 Deterioros Relacionados con la Deformación del Pavimento

En esta categoría se incluyen:

- Irregularidad
- Ahuellamiento

Se considera que este tipo de deterioros varían en forma continua, por lo que sólo se modelan mediante ecuaciones de progreso.

4.1.5 Deterioros Relacionados con la Textura Superficial

El deterioro del pavimento, está también relacionados con la capacidad para evitar el deslizamiento de vehículos, particularmente en presencia de agua sobre la superficie. Para evaluar el estado del pavimento en este rubro, el HDM-4 utiliza los siguientes indicadores:

- Profundidad de textura
- Resistencia al deslizamiento

4.1.6 Modelos de Deterioro de los Pavimentos

Los modelos de deterioro son por lo general, expresiones matemáticas que representan la evolución del estado del pavimento en el tiempo, con base al conocimiento de sus condiciones en el momento de la puesta en servicio y de realización del análisis.

Los modelos de deterioro pronostican el efecto de las actividades de mantenimiento en función del tiempo, con el objetivo de estimar con mayor precisión el momento de aplicación de actividades de conservación y conocer el nivel de deterioro resultante después de la misma y su progresión en el tiempo.

Los modelos de deterioro de pavimentos aplican a diversos aspectos de la gestión de pavimentos como por ejemplo, la creación de sistemas de gestión de pavimentos que se sirva de los modelos para: predecir el deterioro del pavimento en el tiempo, evaluar los resultados de aplicar diversas alternativas de mantenimiento, hacer el plan de conservación del pavimento y optimizar los resultados del nivel de servicio del pavimento como de los costos asociados para lograrlo.

4.1.7 Descripción General de los Modelos

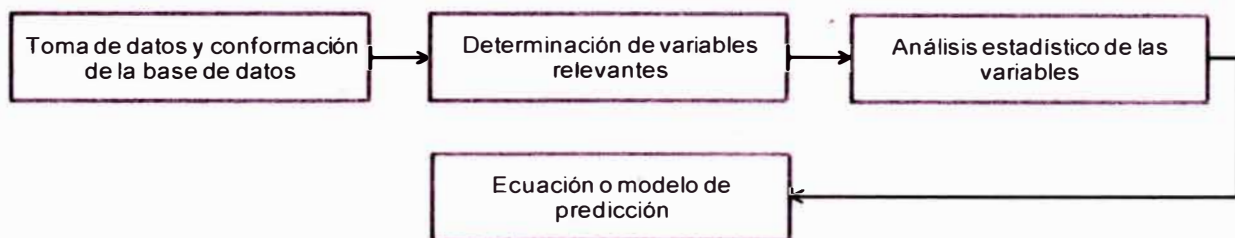
Los modelos que generalmente se utilizan en el análisis del deterioro de pavimentos pueden clasificarse en dos grandes grupos: mecanicistas y empíricos. Los primeros, tienen fundamento en teorías del comportamiento de pavimentos con una validez ampliamente reconocida; sin embargo, estos modelos requieren de una gran cantidad de datos de entrada, entre los cuales se encuentran parámetros difíciles de obtener en campo. Los modelos empíricos se basan normalmente en un análisis estadístico del deterioro observado en tramos específicos y, por lo tanto, podrían no ser aplicables en condiciones distintas a las prevalecientes durante las observaciones.

A fin de ampliar el rango de aplicación de los modelos a regiones con condiciones distintas a las de los sitios en los que se desarrollaron los estudios empíricos considerados, se ha incorporado a las distintas relaciones una serie de factores de calibración diseñados para modificar la escala de los resultados.

Para los desarrollos empíricos se requieren datos reales de los pavimentos existentes referidos a diversos aspectos del pavimento como: datos de diseño, datos del drenaje, datos de tránsito, datos de medio ambiente y deterioros sufridos a lo largo de su vida útil, mientras que para los desarrollos mecanicistas, además de los datos del pavimento, las características del comportamiento de las capas que conforman la estructura del pavimento, específicamente sus propiedades físicas y mecánicas.

Después de determinar las variables más relevantes en la formación de cada deterioro, se lleva a cabo con ellas un análisis estadístico que dará origen al modelo de predicción del comportamiento futuro del pavimento con base a una ecuación que relaciona las variables seleccionadas. En la figura N° 4.02 observamos un diagrama de flujo que indica el desarrollo de los modelos de deterioro.

Figura N°4.02. Procedimiento para la creación de un modelo de deterioro.



Fuente: Elaboración propia

4.1.8 Procedimiento Para el Desarrollo de Modelos

Existen muchos procedimientos y técnicas, mencionaremos las más comunes:

- Regresión
- Extrapolación lineal
- Distribución de probabilidad.

La precisión de los modelos dependerá del uso que se quiere dar a los resultados.

Regresión

El análisis de regresión busca encontrar modelos que a partir de las relaciones causales entre una variable dependiente (la que se supone que es el resultado

de la influencia o comportamiento de otras variables) y una o más variables independientes, permitan predecir un resultado conociendo el valor estimado de una variable independiente. Para ello debe existir una relación lógica entre las variables independientes y la variable dependiente. Los distintos tipos de variación se describen a continuación.

Regresión lineal entre dos variables, representada por la siguiente ecuación:

$$Y_{est} = a + bX + \varepsilon \quad (4.1)$$

Donde:

Y_{est} : Valor de la variable dependiente

X : Valor de la variable independiente observado

a : pendiente de la recta

b : constante

ε : representa el error, o sea la diferencia entre el valor que toma la variable dependiente en la realidad y el valor pronosticado con el modelo.

Regresión lineal múltiple, en este caso se asume que la variable dependiente es una función lineal de las variables independientes y se describe:

$$Y_{est} = a + bX_1 + bX_2 + \varepsilon \quad (4.2)$$

Donde:

Y_{est} : Valor de la variable dependiente

X_1, X_2 : Valores de las variables independientes observados

a : pendiente de la recta

b : constante

ε : representa el error, o sea la diferencia entre el valor que toma la variable dependiente en la realidad y el valor pronosticado con el modelo.

Regresión no lineal, se utiliza cuando la relación entre la variable dependiente y la independiente es no lineal. Una relación no lineal es analizada como un modelo lineal transformando la variable dependiente.

Las regresiones están asociadas a un indicador denominado Coeficiente de Correlación o de Pearson, este indicador nos muestra que tan relacionada están

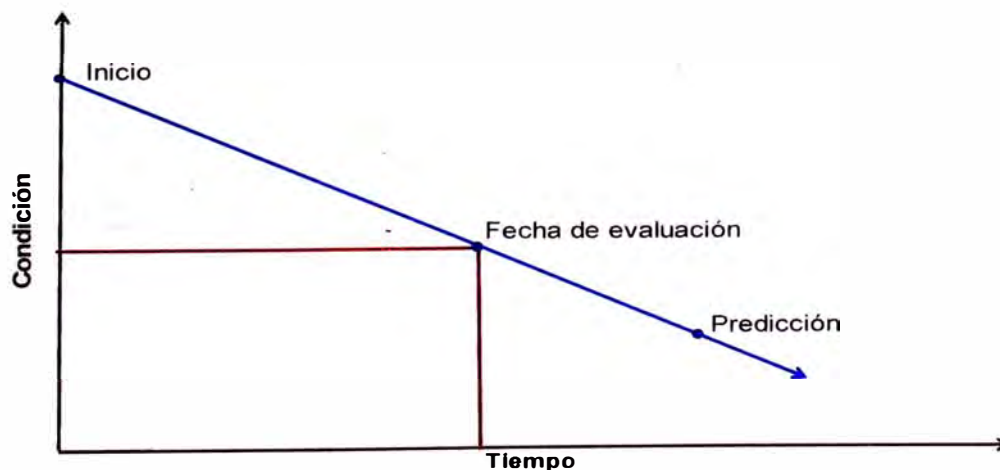
dos variables y varía en el intervalo de -1 a 1. La aceptación de un modelo dependerá de la minimización del error y un coeficiente de correlación más próximo a 1 ó a -1.

Extrapolación Lineal

Este método se basa en la extrapolación lineal de los dos últimos, sus principales características son:

- Es aplicable sólo a secciones individuales de pavimentos y no puede usarse en otras secciones.
- Se requiere al menos una medición de la condición del pavimento además de la realizada al final de la etapa de construcción (Figura N°4.03).
- Asume que las cargas de tránsito, los niveles de mantenimientos y tasas de deterioro se mantendrán en el futuro, por lo tanto, no es preciso para períodos largos de tiempo.
- En el caso de aplicar este tipo de modelos en nuestro país, es este punto especialmente importante dada la variabilidad principalmente de las cargas y actividades de mantenimiento.
- No es aplicable predecir tasas de deterioros de pavimentos recién construidos que hayan sufrido recientemente una rehabilitación mayor.
- Para una sección de pavimento específica, los factores de suelo de cimentación, clima, estructura de pavimentos y tránsito pasado se consideran explícitamente en el análisis.

Figura N°4.03. Extrapolación lineal.

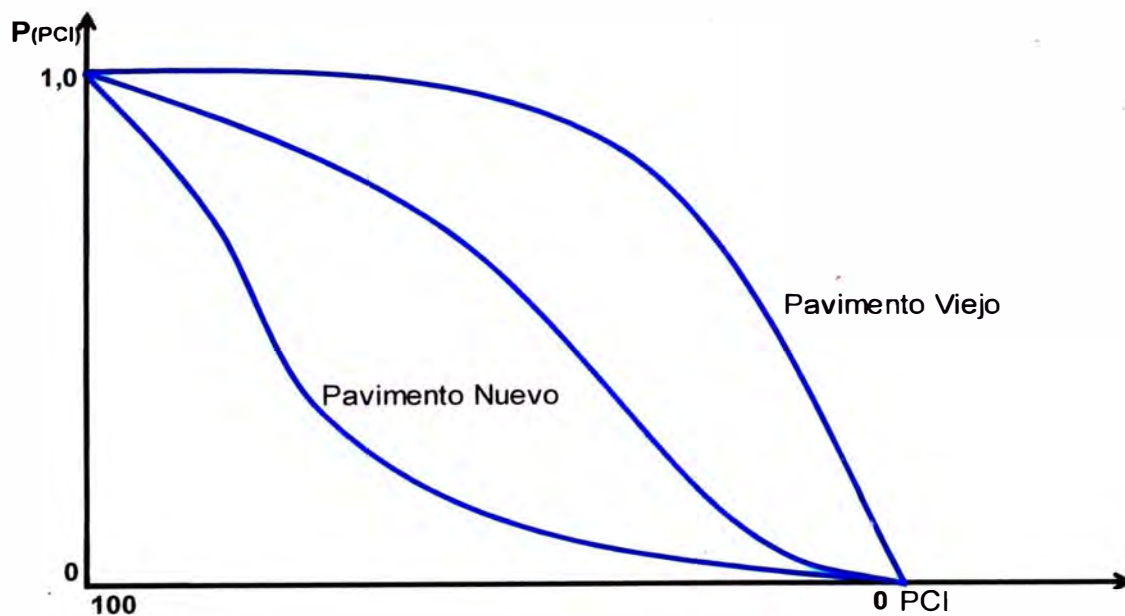


Fuente: Elaboración propia

Distribución de Probabilidad

La condición de un pavimento, como el IRI, es tratada como una variable aleatoria con una probabilidad asociada a sus valores. Una distribución de probabilidades describe la probabilidad asociada con todos los valores de la variable aleatoria. En la Figura N°4.04, el índice de condición del pavimento (PCI), es representada mediante una curva que describe, para el caso de pavimentos nuevos, la mayor probabilidad de que el pavimento tenga PCI cercanos a 100, mientras que ocurre todo lo contrario para pavimentos viejos.

Figura N°4.04. Distribución de Probabilidad.



Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior, el eje vertical es la probabilidad de que el IRI sea igual o menor que un determinado valor de IRI. Esta figura presenta además distribuciones acumuladas en diferentes puntos de la vida del Pavimento y podría representar la probabilidad en el tiempo de un determinado valor de IRI.

4.1.9 Procedimiento de Cálculo

El HDM-4 recomienda el cálculo del deterioro de pavimentos sobre una base anual, antes de analizar los efectos de las acciones de conservación y mejoramiento propuestas por el usuario. En términos generales, la estimación de afectación anual puede expresarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$C_b = C_a + \Delta C \quad (4.3)$$

$$C_{prom} = 0.5(C_a + C_b) \quad (4.4)$$

Donde:

C_b : Condición al final del año de análisis

C_a : Condición al inicio del año de análisis

ΔC : Cambio de la condición en el año de análisis

C_{prom} : Condición promedio en el año de análisis

El procedimiento de cálculo de la predicción del deterioro recomendado por el HDM – 4, concierne las siguientes fases:

1. Cálculo de la capacidad estructural del pavimento
2. Evaluación del cambio en los deterioros superficiales
3. Obtención del área dañada
4. Cálculo del cambio en la profundidad de ahuellamiento
5. Obtención del IRI al final del año.

4.1.10 Calibración de los Modelos de Deterioro

Calibrar un modelo de deterioro consiste en definir un procedimiento de cálculo de factores de calibración numéricos, que modifican la predicción del modelo ajustándolo de acuerdo a la información provista por bases de datos de pavimentos de una región o país, con el objetivo de tener modelos de predicción ajustados, que estimen resultados más realistas y confiable de los deterioros.

Esto se realiza a través de la minimización de la diferencia entre las predicciones del modelo y un conjunto de datos de deterioro medidos en terreno.

Ya que los modelos de deterioro son desarrollados con una base empírica determinada y bajo condiciones específicas de clima, tipo y forma, materiales, etc., al ser estos utilizados bajo condiciones distintas, pueden presentarse diferencias considerables entre los deterioros que el modelo predice y los que se observan en la realidad, para reducir estos errores ó para verificar si el modelo

es inadecuado o incompleto, detectando posibles debilidades y limitaciones, los procedimientos de calibración o ajuste resultan muy útiles. Las causas de las diferencias son las siguientes:

- Errores en los datos observados: debido a inadecuadas técnicas de medición, mal registro de los datos ó toma datos que no correspondan.
- Errores en los datos estimados: en aquellos datos sobre los cuales no se disponga toda la información necesaria y deben ser estimados, el error en la estimación muy probablemente ocasiona error en la predicción.
- Condiciones diferentes a las originales del modelo: si el modelo se aplica fuera de su espacio de inferencia original.
- Modelo Inadecuado: si el modelo no contiene algunas variables que son claramente importantes, ya sea porque no resultaron estadísticamente significativas con los datos originales o porque un proceso de análisis poco profundo o incompleto no las tuvo en cuenta, esto puede ocasionar una mala predicción.
- Aleatoriedad del comportamiento de los materiales y las estructuras: siempre existe un cierto margen de error introducido por un comportamiento aleatorio o estocástico de los materiales que componen las estructuras en el mundo real que genera dispersión en los resultados.

4.1.11 Modelamiento de Deterioro por Profundidad de la Macrotextura

La textura del pavimento es la variable más importante que determina la magnitud de las fuerzas laterales y longitudinales que definen la interacción de los vehículos, con el pavimento.

Una superficie tiene dos tipos de textura: microtextura y macrotextura; la primera, determina la máxima resistencia al deslizamiento que proporciona un pavimento seco; mientras que la macrotextura caracteriza la capacidad drenante de la superficie del pavimento.

La macrotextura es relevante para el cálculo de las velocidades del tránsito y, como se ha mencionado, para la estimación de las fuerzas involucradas en la interacción vehículo-pavimento.

A modo de ilustración se muestra el modelo presentado por el HDM – 4, con la finalidad de identificar las variables involucradas en la predicción del comportamiento de la macrotextura.

$$\Delta TD = K_{TD} \left\{ ITD - TD_a - a_0(ITD) \log_{10} \left(10^{\left[\frac{ITD - TD_a}{a_0(ITD)} \right]} + \Delta NELV \right) \right\} \quad (4.5)$$

Fuente: R. Solorio M., R. Hernández D. y J. Gómez L.

Donde:

ΔTD , Incremento del desgaste de la macrotextura durante el año de análisis

ITD , Profundidad de la macrotextura del pavimento nuevo

TD_a , Profundidad de la macrotextura al inicio del año de análisis

$\Delta NELV$, Numero de pasadas de vehículos ligeros durante el año de análisis (un vehículo pesado equivale a 10 pasadas de un vehículo ligero)

K_{TD} , Factor de calibración para la profundidad de la textura

4.2 APLICACIÓN EN CARRETERAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

4.2.1 Aspectos Generales

En la actualidad no existe una especificación técnica que permita predecir el deterioro del pavimento (Modelo de deterioro) basado en la evaluación de las profundidades de la macrotextura, mucho menos correlaciones estandarizadas de Índice de Fricción Internacional que involucre parámetros de fricción determinados con equipos sofisticados como Péndulo Ingles, Scrim, etc., para lo cual se conocen los procedimientos de cálculo del IFI, y profundidades de la macrotextura. Esta correlación ajustada a nuestra realidad nacional facilitaría la estimación del IFI basado en el método volumétrico (círculo de arena).

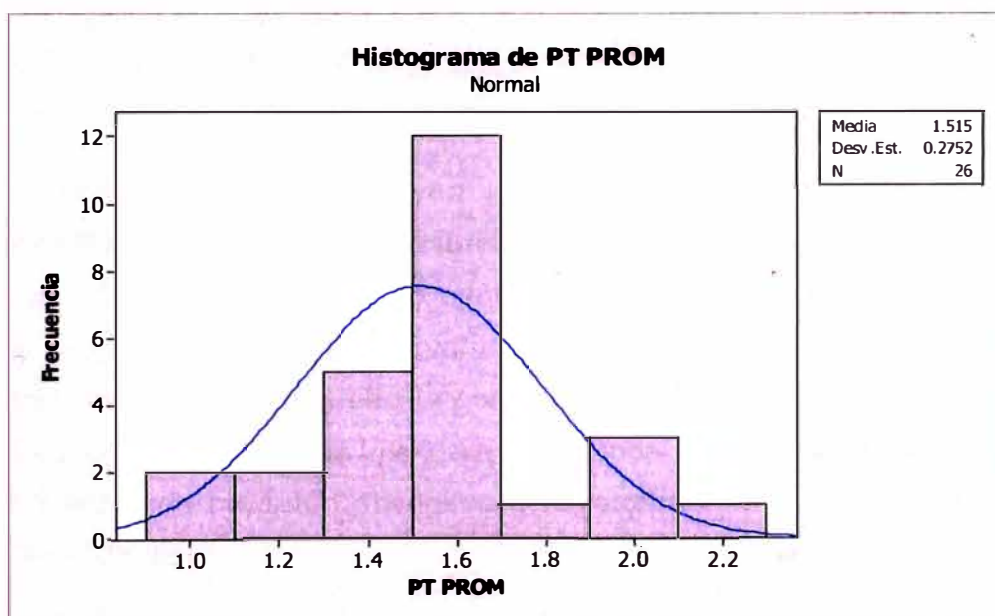
Para fines del presente trabajo, se desarrolló una visita técnica a la carretera Cañete – Chupaca con fines de evaluar la macrotextura de la superficie del pavimento conformado por monocapa en el tramo evaluado dentro de las progresivas 134+000 – 139+000.

4.2.2 Análisis de Datos Tomados

La elaboración de un modelo de deterioro, establece como requerimiento principal una base de datos de una vía en estudio tomados en tiempos distintos, con lo cual se determina el comportamiento del pavimento en el tiempo.

Los datos recopilados en campo, mostrados en la Tabla N° 3.05, representan a una evaluación realizada con 26 datos de muestra, en consecuencia, para el análisis de modelamiento el valor usado será la media para ello se realiza un análisis de frecuencia obteniéndose en siguiente resumen estadístico:

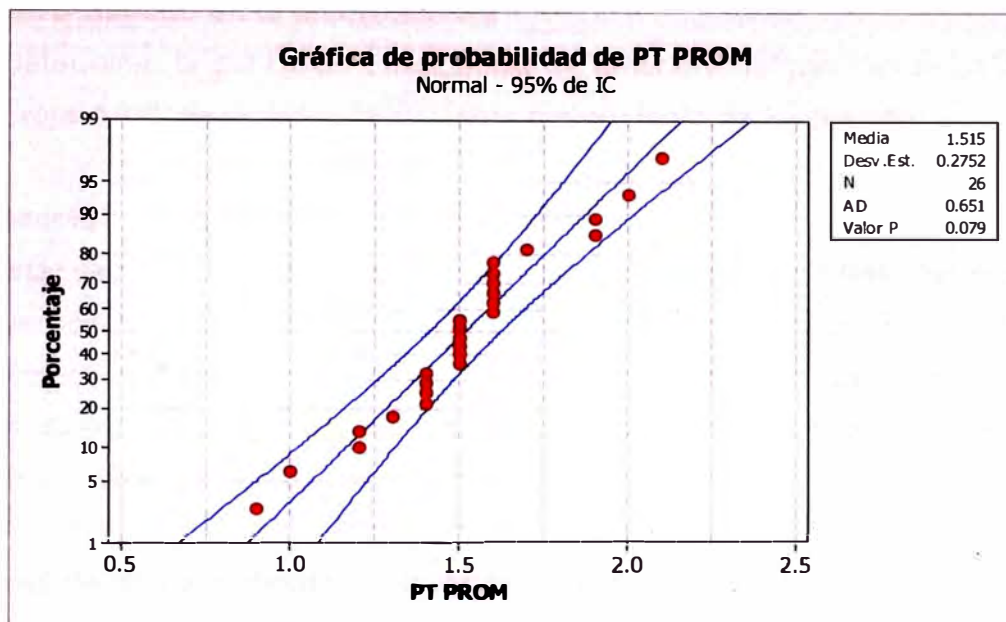
Figura N°4.05 Histograma de profundidad de macrotextura.



Fuente: Elaboración propia

La figura N° 4.05 muestra que los valores de profundidad de macrotextura (PT) promedio tienen mayor frecuencia en el intervalo de 1.40 – 1.60, y cuya media es 1.515 en unidades de milímetro, además en la Figura N° 4.06 muestra un valor probabilístico p (valor p) de 0.079 mayor a 0.05 lo cual representa a una distribución normal

Figura N°4.06 Gráfica de probabilidad de profundidad de macrotextura.



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Limitaciones que Influyen en la Elaboración de un Modelo de Deterioro Basado en la Macrotextura

La resistencia al deslizamiento no evoluciona como otros factores de deterioro, es más experimenta importantes variaciones estacionales y es afectado por la presencia de agua (considerado la condición más desfavorable). La fricción es un factor muy importante que involucra la seguridad del usuario y aun no existen procedimientos de medición absolutos que correlacionen de forma efectiva los parámetros de diseño.

Además, la carencia de datos o la no realización de evaluaciones anteriores a la visita realizada, impide realizar un modelo de deterioro con las técnicas y procedimientos indicados en el punto 4.1, ya que solo se cuenta con un registro de macrotextura con fecha 27 de noviembre del 2010.

Por tal motivo en el presente Informe de Suficiencia se planteará un procedimiento que nos permita determinar un modelo del deterioro del pavimento.

4.2.4 Propuesta de Procedimiento Para la Obtención de un Modelo de Deterioro Basado en la Macrotextura

Para determinar la evolución o tendencia de deterioro del pavimento basado en la macrotextura, se propone la siguiente metodología de evaluación:

1. Selección de secciones en la carretera

En esta fase se debe realizar la selección de secciones teniendo en consideración el tráfico vehicular, clima, periodo estacional, aspectos geométricos de la vía y otros como tipo de superficie del pavimento que en nuestro caso es una solución básica de slurry seal, con la finalidad de seccionar superficies de evaluación con similares condiciones.

2. Toma de datos periódicos en los tramos seleccionados

La toma de datos a realizarse debe ser en periodos distintos durante el tiempo de vida útil del pavimento e identificarlas de acuerdo a las secciones de evaluación con la finalidad de tener registros en tiempos distintos que nos permita realizar un modelamiento de predicción de deterioro del pavimento en función a la macrotextura. En cada sección analizada se registra adicionalmente la temperatura ambiente para incorporarlo como variable en el análisis de deterioro.

3. Análisis estadístico de las variables

En esta fase, se realiza el análisis de las variables involucradas con ayuda de la estadística con la finalidad de identificar y comparar la distribución de las variables. Este análisis permitirá eliminar algunos datos mal tomados y seleccionar aquellos datos que representen con mayor proximidad y exactitud a las condiciones en campo.

4. Verificación de posibles tendencias de correlación

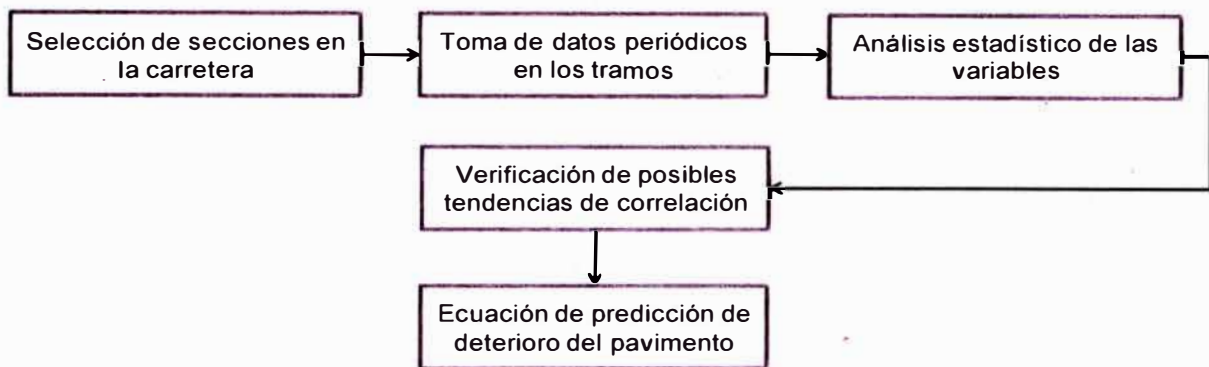
Se analiza los resultados obtenidos, evaluando posibles tendencias de correlación entre la macrotextura (Profundidad de Textura) y el tiempo con el uso de modelos estadísticos de regresión. En caso particular, adicionalmente a la toma de datos de Profundidad de Textura (PT), se pueden realizar mediciones con otros equipos y poder correlacionarlos para encontrar el Índice de Fricción

Internacional (IFI). En este caso la curva de deterioro correlacionará la Fricción y el Tiempo.

5. Ecuación de predicción de deterioro del pavimento

De la evaluación y ploteo de posibles tendencias de correlación se elige la regresión cuyo coeficiente de correlación (R^2) sea más próximo a -1 ó 1, lo cual indica la fuerza con la que están relacionadas las variables independientes con las dependientes.

Figura N°4.07 Procedimiento propuesto para modelar la curva de deterioro.

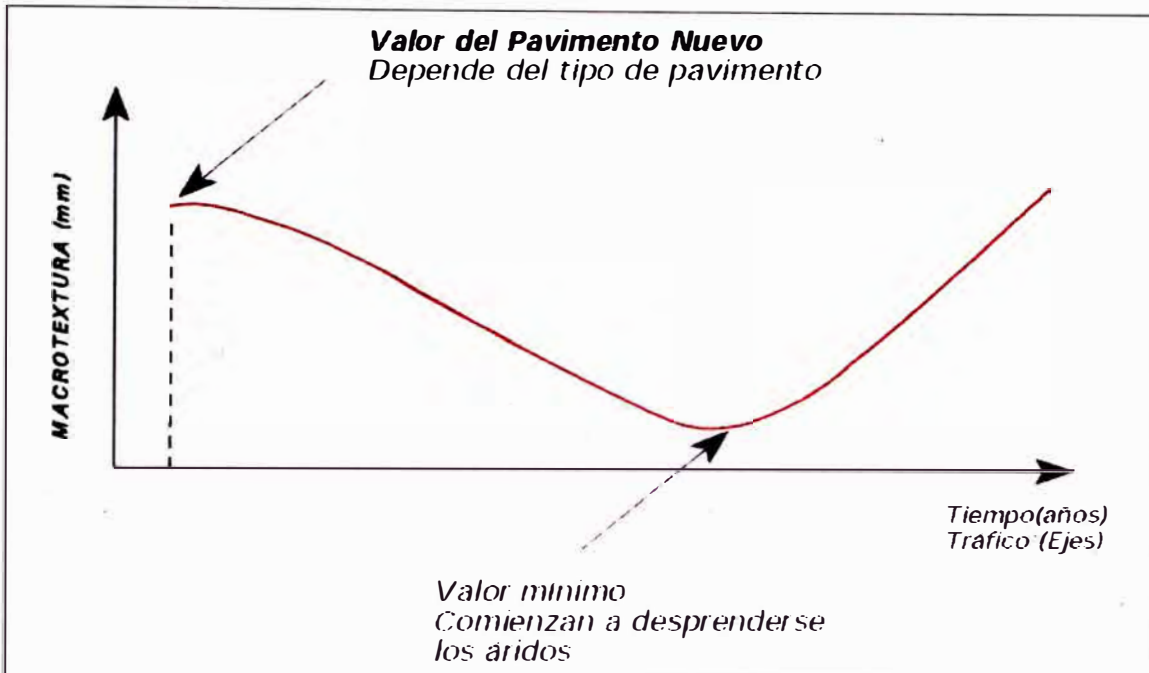


Fuente: Elaboración propia

El departamento de auscultaciones de la AEPO Ingenieros Consultores, muestra la variación de la macrotextura del pavimento mostrado en la Figura N° 4.08, donde se muestra que la macrotextura es afectada tanto por el tiempo como por el tráfico vehicular cuyo comportamiento al inicio de la vida útil del pavimento (pavimento nuevo), presenta valores relativamente altos que van disminuyendo con el tiempo o incremento de tráfico vehicular hasta que los agregados de la estructura superficial del pavimento comienzan a desprenderse y a partir del cual se incrementa significativamente debido a que en condiciones donde la superficie del pavimento presenta pérdida de agregados la aspersion también será mayor.

El punto de la curva con menor macrotextura indica que el pavimento empieza a deteriorarse perdiendo funcionalidad.

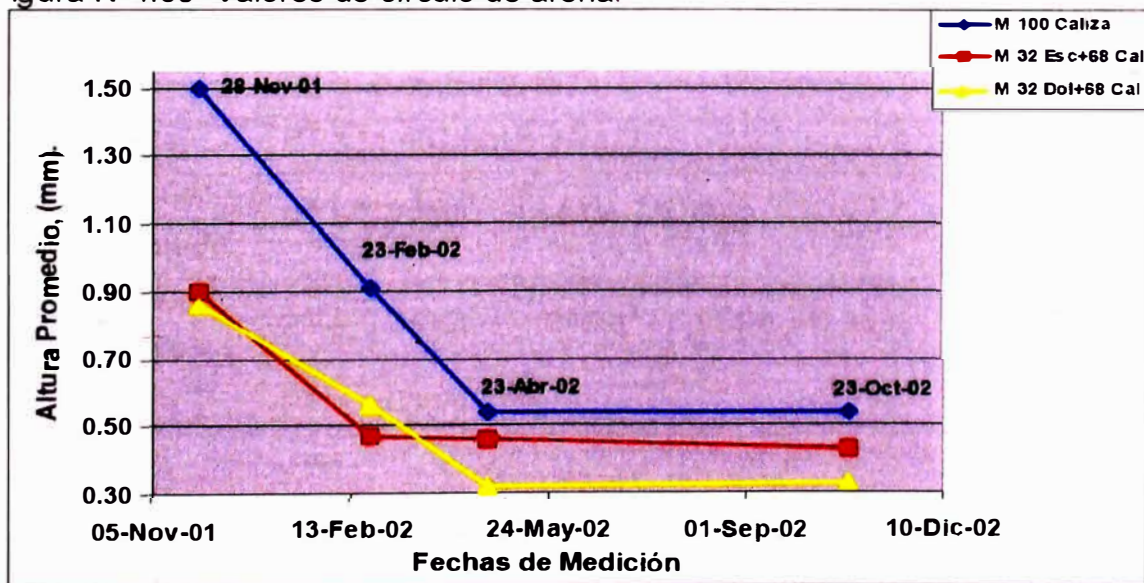
Figura N°4.08 Variación de la macrotextura del pavimento.



Fuente: AEPO Ingenieros Consultores

A consecuencia de la carencia de datos para el análisis de un modelo de deterioro del pavimento en función a la macrotextura, se realiza a modo de ilustración, un análisis con datos presentados tomados en la ciudad de Monterrey – México por Dr. Carlos H. Fonseca Rodriguez mostrado a continuación.

Figura N°4.09 Valores de círculo de arena.



Fuente: Dr. Carlos H. Fonseca R.

La figura N° 4.09 muestra evaluaciones de macrotextura realizadas en tramos de prueba de tres diseños de mezcla asfáltica. Para el análisis, se usará la evaluación realizada en el diseño con agregados 100% caliza, para ello se presenta la siguiente tabla donde muestra la macrotextura en periodos distintos.

Tabla N°4.02 Valores de profundidad de textura promedio (PT)

Fecha	Tiempo (años)	PT (mm)
2001-11-28	1.00	1.50
2002-02-23	1.20	0.91
2002-04-23	1.40	0.52
2002-10-23	1.90	0.53

Fuente: Elaboración propia

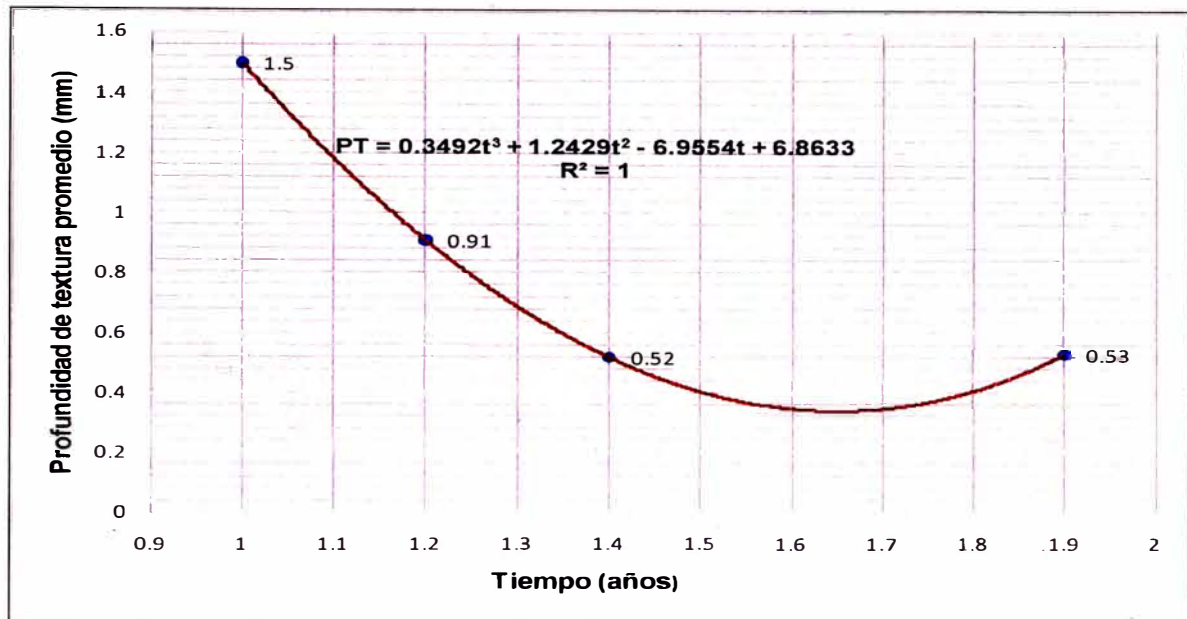
A continuación se realiza el ploteo del tiempo (t) versus la profundidad de textura promedio (PT) y análisis de regresión con la finalidad de determinar el modelo matemático que tenga mayor coeficiente de correlación.

Tabla N°4.03 Regresiones analizadas

Regresión	Modelo Matemático	Correlación (R ²)
Exponencial	$PT = 3.4779e^{-1.084t}$	0.6877
Lineal	$PT = -0.962t + 2.1878$	0.6507
Logarítmica	$PT = -1.457\ln(t) + 1.2877$	0.739
Polinómica de segundo grado	$PT = 2.7289t^2 - 8.9948t + 7.7682$	0.9999
Polinómica de tercer grado	$PT = 0.3492t^3 + 1.2429t^2 - 6.9554t + 6.8633$	1.0
Potencial	$PT = 1.2564t^{-1.629}$	0.7687

Fuente: Elaboración propia

Figura N°4.10 Regresión polinómica de tercer grado.



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto el modelo que presenta mayor coeficiente de regresión es la polinómica de tercer grado

$$PT = 0.3492t^3 + 1.2429t^2 - 6.9554t + 6.8633, \quad R^2 = 1$$

Donde:

PT : Profundidad de textura en mm determinada con circulo de arena

t : Tiempo en años

CONCLUSIONES

- En la actualidad no existe una normatividad que especifique y permita predecir el deterioro del pavimento vasado en la evaluación de las profundidades de la macrotextura, mucho menos correlaciones estandarizadas de Índice de Fricción Internacional que involucre parámetros de fricción y macrotextura.
- De acuerdo a los resultados de evaluación de la macrotextura realizada por el método de círculo de arena, se optó por la presentación de métodos y procedimientos para la medición, procesamiento y armonización para la predicción del deterioro del pavimento.
- La falta de datos anteriores a los tomados en campo, limita el análisis para determinar un modelo de deterioro que permita predecir el comportamiento del pavimento en el tiempo, por tal motivo el presente informe no alcanza el objetivo trazado limitándose únicamente a plantear una propuesta de procedimiento para encontrar un modelo que prediga el deterioro del pavimento.
- Hay que recopilar una base de datos propia que documente las experiencias de los tratamientos, ya que los beneficios difieren de región en región, debido a los diferentes tipos de carreteras, los niveles de tránsito y las condiciones climatológicas. Es importante asignar una parte del presupuesto a este propósito. Otra parte del presupuesto de mantenimiento se debe dedicar para el programa de conservación de carreteras. Un programa de conservación de carreteras bien estructurado ahorra dinero a largo plazo y este servicio es siempre bien recibido por los usuarios, quienes como contribuyentes de impuestos proveen los fondos monetarios a las entidades gubernamentales.

RECOMENDACIONES

- Cabe indicar que resulta necesario profundizar el tema a través de investigaciones que permitan correlacionar la altura de macrotextura (PT), con el Índice de Fricción Internacional (IFI). Asimismo es necesaria la investigación para la obtención de resultados en diferentes condiciones de clima, tráfico vehicular, tipo de superficie, etc.

- Una de las limitaciones encontradas en el desarrollo del presente informe es la carencia de datos suficientes, en tal sentido, es recomendable seguir realizando el monitoreo de la vía en evaluación en diferentes periodos y tramos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barraza Eléspuru Giuliana, Resistencia al Deslizamiento en Pavimentos Flexibles Propuesta de Norma Peruana, VI Congreso Nacional Del Asfalto, Perú, 2003.
- Comité técnico AIPCR de Características superficiales, Experimento Internacional AIPCR de Comparación y Armonización de las Medidas de Textura y Resistencia Al Deslizamiento, 1995.
- Crespo del Río Ramón, El Índice de Fricción Internacional (IFI). Obtención y Aplicaciones, Madrid, 1996
- Echaveguren T., De Solminihac H., Bustos M., Chamorro A., Vargas Tejeda S., Análisis de la Oferta de Fricción en el Tiempo en Vías Pavimentadas de Chile, Chile, 2008.
- Fonseca Rodríguez C., Medición del Índice de Fricción Internacional, IFI, en Superficies de Rodamiento del Área Metropolitana de Monterrey Para Definir las Áreas con Mayor Índice de Accidentes, México, 2003.
- Hernández Domínguez R., Solomoro Murillo R y Gómez López J., ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO DEL HDM-4 PARA PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, México, 2004
- Meléndez Palma José H., Campos Vásquez María I., Cuantificación de la Resistencia al Deslizamiento y Textura Superficial, Primeros Resultados en Carreteras Peruanas, VI Congreso Nacional Del Asfalto, Perú, 2003.
- M.T.C. Especificaciones Técnicas Generales para la Conservación de Carreteras. Lima, 2005.
- M.T.C. Manual de especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito. Lima, 2005.

- M.T.C. Manual Técnico para el Mantenimiento Rutinario de Vías Departamentales No Pavimentadas. Lima, 2005.
- M.T.C. Manual Técnico para el Mantenimiento Periódico, de Vías Departamentales No Pavimentadas. Lima, 2005.
- <http://www.proviasnac.gob.pe>.

ANEXOS


- ANEXO 1 : REPORTE DE INSPECCIÓN
- ANEXO 2 : TEXTURA SUPERFICIAL – MÉTODO DE CÍRCULO DE ARENA
- ANEXO 3 : MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE FRICCIÓN

ANEXO 1

REPORTE DE INSPECCIÓN

TOMA DE DATOS DE LA EVALUACIÓN:

ANEXO N° 01 – A

	ACOMPañAMIENTO Y MONITOREO DE LOS TRABAJOS DE SERVICIO DE CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N° 13: CAÑETE - LUNAHUANÁ - PACARÁN - CHUPACA (REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA - DV. YAUYOS - RONCHAS)
---	---

MEDICION DE TEXTURA - METODO DEL CIRCULO DE ARENA

Obra: Corredor N 13
Tramo: KM 134+000 AL KM 139+000
Lugar: DV. YAUYOS - MAGDALENA - TINCO HUANTAN
Estructura: TRATAMIENTO MONOCAPA

LADO	PROGESIVA	VOL. (ml)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)
I	134+000	50	270	250	290
		100	310	260	270
		150	300	290	300
D	134+200	50	260	260	270
		100	290	280	280
		150	310	290	310
I	134+400	50	280	280	260
		100	300	270	290
		150	290	300	320
D	134+600	50	270	270	280
		100	290	280	300
		150	320	310	310
I	134+800	50	260	270	280
		100	300	290	300
		150	310	320	300
D	135+000	50	240	250	240
		100	260	270	250
		150	310	270	300
I	135+200	50	250	260	240
		100	280	280	260
		150	280	300	320
D	135+400	50	260	260	250
		100	270	280	280
		150	310	300	320
I	135+600	50	270	250	250
		100	280	290	280
		150	300	320	290
D	135+800	50	250	240	260
		100	300	300	290
		150	290	300	310
I	136+000	50	220	210	220
		100	230	230	240
		150	320	300	310
D	136+200	50	250	250	260
		100	290	270	270
		150	280	290	310
I	136+400	50	240	260	250
		100	280	290	280
		150	300	300	290



ACOMPANAMIENTO Y MONITOREO DE LOS TRABAJOS DE SERVICIO DE CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N° 13: CAÑETE - LUNAHUANÁ - PACARÁN - CHUPACA (REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA - DV. YAUYOS - RONCHAS)

MEDICION DE TEXTURA - METODO DEL CIRCULO DE ARENA

Obra: Corredor N 13
Tramo: KM 134+000 AL KM 139+000
Lugar: DV. YAUYOS - MAGDALENA - TINCO HUANTAN
Estructura: TRATAMIENTO MONOCAPA

LADO	PROGESIVA	VOL. (ml)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)
D	136+600	50	230	250	250
		100	290	280	270
		150	290	310	290
I	136+800	50	240	260	240
		100	300	270	280
		150	310	300	280
D	137+000	50	310	320	320
		100	380	350	320
		150	390	380	380
I	137+200	50	270	280	280
		100	290	320	290
		150	340	330	330
D	137+400	50	280	290	290
		100	300	360	280
		150	360	340	320
I	137+600	50	290	300	290
		100	320	320	330
		150	340	350	340
D	137+800	50	260	260	260
		100	300	270	290
		150	310	300	310
I	138+000	50	270	280	270
		100	310	260	280
		150	320	310	320
D	138+200	50	220	200	200
		100	240	220	200
		150	290	270	300
I	138+400	50	290	260	280
		100	200	260	200
		150	330	290	260
D	138+600	50	190	160	210
		100	240	240	250
		150	300	290	320
I	138+800	50	280	260	260
		100	320	280	290
		150	320	310	330
D	139+000	50	340	330	340
		100	370	400	350
		150	420	430	410

TOMA DE DATOS DE LA EVALUACIÓN ANEXO N° 01 – B




PANEL FOTOGRAFICO



ACOMPañAMIENTO Y MONITOREO DE LOS TRABAJOS DE SERVICIO DE CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N° 13: CAÑETE - LUNAHUANÁ - PACARÁN - CHUPACA (REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA - DV. YAUYOS - RONCHAS)

Obra: 13
 Tramo: KM 134+000 AL KM 139+000
 Lugar: DV. YAUYOS - MAGDALENA - TINCO HUANTAN
 Estructura: TRATAMIENTO MONOCAPA

RESPONSABLE: GPSC
 TÉCNICO :

N°	FECHA	DESCRIPCIÓN	FOTO
1	27/11/2010	Tramo de evaluación correspondiente a las progresivas 134+000 al 139+000 la foto muestra un sector de la carretera rehabilitada con tratamiento superficial Slurry seal.	
2	27/11/2010	En la imagen se muestra una típica situación de como se encuentra la carretera en el tramo de evaluación (Prog. 134+000 - 139+000), presenta parches de rehabilitación	
3	27/11/2010	Evaluación de la macrotextura por el método de círculo de arena	



ACOMPANAMIENTO Y MONITOREO DE LOS TRABAJOS DE SERVICIO DE CONSERVACION VIAL POR NIVELES DE SERVICIO DEL CORREDOR VIAL N° 13: CAÑETE - LUNAHUANÁ - PACARÁN - CHUPACA (REHABILITACIÓN DEL TRAMO ZUÑIGA - DV. YAUYOS - RONCHAS)

Obra: 13
Tramo: KM 134+000 AL KM 139+000
Lugar: DV. YAUYOS - MAGDALENA - TINCO HUANTAN
Estructura: TRATAMIENTO MONOCAPA

RESPONSABLE: GPSC
TÉCNICO:

4	27/11/2010	Medición de diámetros del círculo de arena	
5	27/11/2010	En cada evaluación se realizó tres medidas para volúmenes de 50, 100 y 150 ml	
6	27/11/2010	Evaluación de la macrotextura por el método de círculo de arena en el Km 136+000	

ANEXO 2

TEXTURA SUPERFICIAL

MÉTODO DE CÍRCULO DE

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 (cm^3) de capacidad.

2.2 Un recipiente plástico para guardar arena, de unos 250 (cm^3) 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.
------	--------

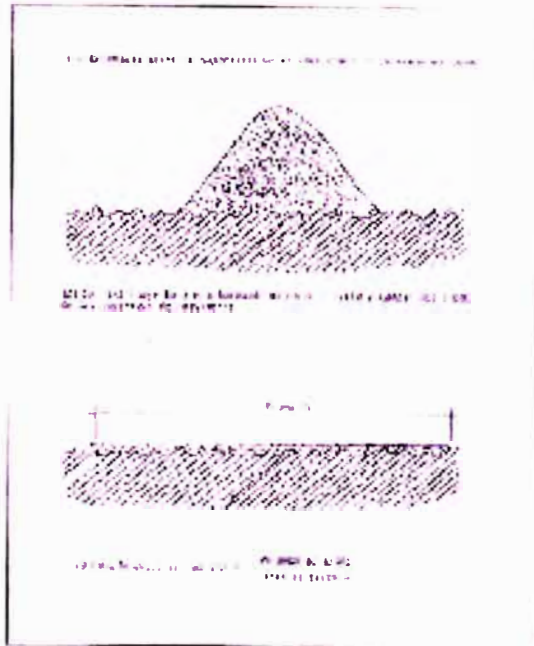


Figura 1: Perfil de la superficie de una carretera de pavimento rígido.

CATEGORÍA	USOS DE TIPO	
	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE
1-A	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE
2-A	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE
3-A	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE
4-A	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE
5-A	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE

Figura 2: Clasificación de los tipos de pavimentos rígidos y flexibles de acuerdo a la categoría de uso.

ANEXO 3

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE

FRICCIÓN



FRICCIÓN SOBRE SUPERFICIES PAVIMENTADAS (MU-METER)

MTC E 1003 – 2000

Este Modo Operativo está basado en la Norma ASTM E 670, 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 Determinación de la fuerza de fricción lateral sobre superficies pavimentadas utilizando un dispositivo comúnmente llamado el Mu-Meter.

1.2 La determinación mencionada se obtiene halando a una velocidad constante Mu-Meter el cual consta de dos ruedas de ensayo que rotan libremente y que forman un ángulo con la dirección del movimiento, el pavimento debe estar humedecido, debiendo estar las ruedas de ensayo bajo la aplicación de una carga estática constante. Se hace un registro gráfico continuo de la fuerza de fricción lateral, a lo largo de toda la longitud de la superficie de ensayo y permite obtener promedios para cualquier longitud especificada.

2. RESUMEN DEL MÉTODO

2.1 El Mu-Meter es un remolque similar al de la Figura 1, que es tirado por un vehículo o incorporado a un automóvil.

2.2 Las llantas especificadas se colocan en su posición de ensayo. El Mu-Meter se remolca a la velocidad establecida para la prueba. Se riega agua adelante de las llantas y se marca el comienzo del ensayo. Las fuerzas que actúan entre las llantas de ensayo y la superficie del pavimento se registran en un diagrama continuo. Se registra, además la velocidad con la ayuda de una instrumentación adecuada.

2.3 La fuerza de fricción lateral se determina a partir del análisis del diagrama continuo y se reporta como el número Mu (MuN).

3. USO Y SIGNIFICADO

3.1 El conocimiento de la fuerza de fricción lateral es una herramienta adicional en la caracterización de las superficies del pavimento. La información obtenida y relacionado en conjunto con otros parámetros, permite tener las características de un pavimento.

3.2 Los valores medidos con el equipo y procedimientos establecidos en esta norma no necesariamente concuerdan o se correlacionan con aquellos obtenidos por otros métodos para medición de la fricción en la superficie de los pavimentos.

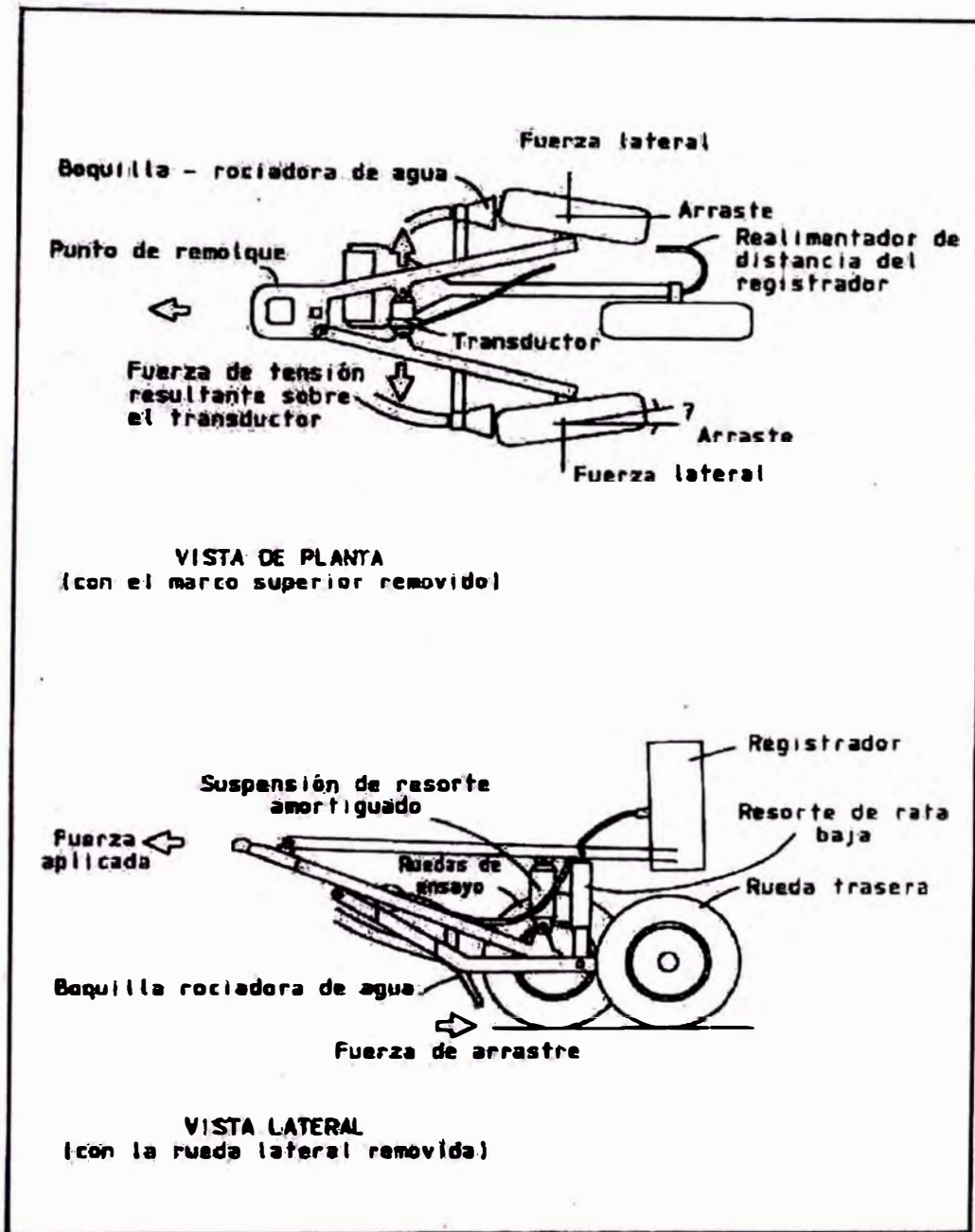


Figura 1. Esquema de Mu - Meter

4. APARATO

4.1 Vehículo remolcador. El vehículo remolcador debe ser capaz de remolcar el Mu-Meter a una velocidad mínima de 65 km/h (40 mph) y de mantener esta velocidad dentro de una variación de ± 0.8 km/h (± 0.5 mph). Si los ensayos se conducen a velocidades superiores a los 65 km/h (40 mph), el vehículo debe ser capaz de mantener estas velocidades dentro de una variación de ± 1.5 km/h (± 0.93 mph).

mph). El vehículo debe tener un dispositivo apropiado para tirar (gancho), centrado a una altura de 457 ± 13 mm (18 ± 0.5 ") del piso, para Mu-Meter con -gancho no ajustable. Para Mu-Meter con ganchos ajustables, el conjunto debe disponerse de tal manera que la línea de referencia (datum) normalizada sobre el Mu-Meter se encuentre a 305 ± 13 mm (12 ± 0.5 ") del piso. En ambos casos, la altura del gancho no variará más de 50 mm (2") entre la condición con el vehículo remolcador cargado y la condición con aquel sin cargar.

4.2 Sistema de medición. El sistema de instrumentación deberá estar de acuerdo con los siguientes requisitos generales, determinados a una temperatura ambiente entre 4 y 38 °C (40 y 100 °F):

- Precisión general del sistema $\pm 3\%$ de la escala total.
- Calibración de la estabilización del tiempo 10 horas mínimo.

Aquellas partes del sistema de medición que se encuentran expuestas al ambiente deben tolerar 100% de humedad relativa (lluvia o llovizna) y todas aquellas condiciones adversas como polvo, golpes y vibraciones que pueden encontrarse durante las operaciones de ensayo del pavimento.

- **Remolque.** La configuración del remolque para ensayo deberá ser esencialmente la mostrada en la Figura 1 con dos ruedas especificadas, cada una desviada $7.5 \pm 0.75^\circ$ hacia afuera del eje del Mu-Meter. Las dos ruedas de ensayo deberán tener una deformación angular limitada de manera que la fuerza de fricción pueda ser transmitida a la celda de fuerza con un mínimo de distorsión angular. El plano principal de las ruedas de ensayo deberá variar aproximadamente 20 hacia fuera de la vertical cuando se encuentre en la posición abierta. La tercera rueda o rueda estabilizadora hace avanzar el registro de la gráfica continua.
- **Celda de fuerza.** La celda de fuerza deberá montarse en una posición tal que 2225 N (500 lbf) de fuerza de tensión, sean equivalentes a la fuerza lateral ejercida por las ruedas sobre un pavimento que tenga un número (MuN) de 100 deformación de la celda de fuerza durante la carga debe ser suficientemente pequeña para que el ángulo total conformado entre las llantas, no varíe más de 0.50 durante el ensayo. La celda de fuerza deberá montarse de tal manera que sufra una rotación angular menor a 1° , medida a partir del plano horizontal cuando se cargue con la máxima carga esperada.
- **Carga en las ruedas.** El equipo deberá tener las siguientes cargas estáticas verticales cuando la unidad se encuentre en la posición abierta, lista para el ensayo y cuando las llantas se encuentren infladas a sus presiones adecuadas:

Cada rueda de ensayo :	761 ± 9 N (171 ± 2 lbf)
Rueda trasera :	525 a 614 N (118 a 138 lbf)
Gancho del remolque :	360 N (80 lbf)

- **Llantas.** La presión de inflado en las dos ruedas de ensayo deberá ser de 69 ± 3 kPa (10 ± 0.5 lb/pug 2) medidas a la temperatura ambiente (frío). La llanta estabilizadora trasera, por el contrario de las de ensayo, deberá ser labrada (no-lisa) y deberá tener el mismo tamaño que aquellas. La presión en la llanta trasera deberá ser de 207 ± 14 kPa (30 ± 2 lb/pug 2) medidos a la temperatura ambiente (frío).



Los requisitos generales para las llantas del Mu-Meter para medir la fuerza de fricción lateral se dan en el Apéndice A.

- **Registrador.** El registrador deberá medir y registrar la fuerza de tensión de la celda de fuerza sobre el diagrama continuo. Los valores de la tensión en la celda de fuerza, que van de 0 a 2225 N (0 a 500 lbf), deberán ser convertidos linealmente por el registrador, a la escala de 0 a 100 MuN y el avance del diagrama deberá ser lineal con la distancia. El registrador deberá tener por lo menos un marcador de eventos, con control remoto, para indicar el inicio y terminación de las corridas de ensayo u otros eventos que se presenten durante este. Se permiten otros dispositivos de lectura digitales en el equipo.
- **Transductores medidores de la velocidad del vehículo.** Deberán proveerse transductores, como el llamado "quinta rueda" o tacómetros acoplados a la transmisión, que midan la velocidad con una precisión de $\pm 1.5\%$ de la velocidad indicada para el ensayo, o de ± 0.8 km/h (± 0.5 mph), la que sea mayor. Los datos de salida deberán poder ser vistos directamente por el operador. La velocidad deberá poder ser registrada.

4.3 Sistema de humedecimiento del pavimento.

El agua que se aplica al pavimento por delante de las llantas de ensayo deberá ser suministrada a través de una boquilla adecuada diseñada para asegurar que la capa de agua, sobre la cual van a rodar las llantas, tenga una sección transversal uniforme a cualquier velocidad, con un mínimo de salpicaduras y de rociado excesivo. La cantidad de agua aplicada a 65 km/h (40mph) deberá ser $0.541 \pm 10\%$ por milímetro de ancho mojado (3.6 galones $\pm 10\%$ por pulgada de ancho mojado). La capa de agua deberá ser por lo menos 25 mm (1") mas ancha que el ancho de contacto entre la llanta de ensayo y el pavimento y deberá aplicarse de manera tal que la llanta se encuentre centrada entre los extremos mojados. El volumen de agua por milímetro (pulgada) de ancho mojado deberá ser directamente proporcional a la velocidad.

La configuración de la boquilla y su posición deberán asegurar que la línea central de la boquilla apunte hacia la superficie del pavimento, con un ángulo de $25 \pm 2^\circ$ a menos que se utilice una brocha. El agua deberá golpear la superficie del pavimento en un punto situado entre 150 y 200 mm (6 y 8") por delante del eje vertical de la rueda ensayo del Mu-Meter. La boquilla deberá ser de una altura tal, que limpie todos los obstáculos que el Mu-Meter pueda encontrar en su camino y deberá proveer un ancho mojado como el especificado anteriormente, pero en ningún caso la boquilla deberá encontrarse a más de 100 mm (4") por encima de la superficie pavimentada. El agua usada deberá ser razonablemente limpia, sin componentes químicos añadidos, como agentes humedecedores o detergentes.

5. TRATOS DE ENSAYO

No deberán mezclarse en los tramos de ensayo de la vía, curvas cerradas y pendientes pronunciadas, con tramos rectos y a nivel; tampoco deberán mezclarse carriles de adelantamiento con carriles de circulación. Se deberán escoger los tramos de ensayo tan uniformes como sea posible, de manera que el promedio resultante del ensayo registrado, sea un promedio de una superficie uniforme. Normalmente, el ensayo de las autopistas deberá efectuarse con la rueda de

ensayo izquierda, en la posición central del patrón que siguen comúnmente las ruedas izquierdas de los automóviles que transitan sobre el carril ensayado. Deben anotarse en el informe, todas aquellas áreas donde el Mu-Meter se desvíe de su posición transversal a la vía.

6. CALIBRACIÓN

6.1 Velocidad. Calibrase sobre un pavimento recto y a nivel, el indicador de la velocidad del vehículo a la velocidad constante de ensayo, mediante la determinación del tiempo que dura el vehículo atravesando una longitud determinada, apropiada para el método de cronometraje utilizado. La longitud del pavimento debe ser medido con apropiada precisión la longitud del pavimento. Deberá cargarse el vehículo con su peso normal de aparecían, cuando se efectúe esta calibración. Regístrense las variaciones de velocidad que se presenten durante un recorrido, con el sistema registrador. Hágase un mínimo de 6 determinaciones de la velocidad, incluyendo todas las velocidades a las cuales serán efectuados los ensayos, para completar la calibración.

6.2 Calibración del registrador. Calíbrese el registrador y la celda de carga a la tensión. La fuerza de tensión, tanto en aumento como en disminución, entre 0 y 2.225 N (0 y 500 lbf) deberá ser proporcional a la escala del diagrama de 0 a 100 MuN, con tolerancia entre los siguientes límites:

Fuerza, N (lb.)	Lecturas del diagrama
0 (0)	0 a 3
100 (445)	18 a 22
200 (890)	38 a 43
300 (1335)	58 a 63
400 (1780)	78 a 84
500 (2225)	98 a 104

6.3 Procedimiento de calibración de la fuerza. Una vez que las cubiertas (cocadas) de las llantas de ensayo se hayan desgastado por el uso, debe calibrarse el aparato. El aparato puede requerir calibraciones adicionales a intervalos estimados o cuando sean necesarias durante la vida de la llanta. Efectúese la calibración, tirando el Mu-Meter sobre una mesa de ensayo estándar (véase el apéndice X1 de la norma ASTM E 670 para la calibración de la mesa estándar de ensayo). Antes de la calibración, límpiense y séquense cuidadosamente tanto las llantas, como la mesa estándar de ensayo.

Cepillense las llantas, la superficie de aproximación y la mesa estándar de ensayo con la ayuda de un cepillo de cerdas, para remover las partículas livianas y el polvo.

La presión de las llantas deberá estar de acuerdo con el numeral 4.2 y la temperatura ambiente deberá ser superior a 7 °C (46 °F). Remólquese el Mu-Meter sobre la mesa estándar de ensayo, con las ruedas de ensayo en la posición requerida para este, a una velocidad baja y constante, inferior a los 5 km/h (3 mph). Efectúense 3 ensayos limpiando cuidadosamente las llantas, la superficie de aproximación y la superficie de la mesa de ensayo en cada, ensayo. Los resultados de los 3 ensayos consecutivos deberán concordar con una tolerancia de ± 1 MuN del promedio obtenido entre ellos y deberán concordar con el MuN de la superficie de ensayo con una tolerancia de ± 0.2 .

7. GENERALIDADES

7.1 Preparación de las llantas. Acondiciónense las llantas que sean nuevas rodándolas con el Mu-Meter a su presión de inflado normal, hasta aquel momento que estas en que se hayan desgastado las pestañas que tienen las llantas nuevas en su contorno y se encuentren completamente lisas. Si anticipadamente se conoce que el ensayo será efectuado a una velocidad superior a los 97 km/h (60 mph), hágase el balance dinámico de las ruedas, las llantas y su conjunto después de haberlas acondicionado. Inspecciónense las llantas para encontrar daños u otras irregularidades que puedan afectar los resultados del ensayo y descártense aquellas que hayan sido dañadas o que tengan un desgaste excesivo.

7.2 Preparación del ensayo. Verifíquese que las llantas no tengan desgastes excesivos, irregularidades y otros daños antes de comenzar el ensayo. Verifíquese también que las presiones de inflado estén de acuerdo con el numeral 4.2. Verifíquese que la suspensión se encuentre libre. Antes de cada una de las series de ensayo, caliéntense las llantas mediante un recorrido de por lo menos 8 km (5 millas), a las velocidades de tránsito normales. Colóquense las llantas de ensayo en la posición abierta y la tercera rueda en su posición baja. Las ruedas de ensayo deberán estar libres para rotar, pero ajustadas en su posición abierta. La rueda trasera deberá quedar con libertad de moverse hacia arriba y hacia abajo, restringida solamente por la carga de su resorte.

7.3 Velocidades de ensayo. Efectúese el ensayo normalizado a 65 ± 0.8 km/h (40 ± 0.5 mph). Manténgase la velocidad de 65 km/h dentro de ± 0.8 km/h y las velocidades de ensayo que estén por encima de los 65 km/h dentro de ± 1.5 km/h. Para todas las velocidades diferentes de las de 65 km/h, anótese su valor cuando se cite el número Mu. Esto puede hacerse añadiendo al número Mu un subíndice con la velocidad de ensayo.

7.4 Determinación del gradiente de la velocidad del Mu-Number. La variación del número Mu con respecto a la velocidad será informada como MuN por km/h (MuN por mph) y debe obtenerse como la pendiente de la curva de MuN versus velocidad, cual se dibuja con 3 velocidades como mínimo, con incremento entre ellas de aproximadamente 15 km/h (10 mph). El gradiente normalizado de la velocidad se define como la pendiente de la curva de MuN-velocidad a los 65 km/h (40 mph) y deberá indicarse de esa forma.

8. PROCEDIMIENTO

8.1 Prepárese el Mu-Meter como en el numeral 7.2. Remólquese el equipo llevándolo a la velocidad de ensayo. Libérese el agua de ensayo aproximadamente un segundo antes de que el ensayo se inicie y continúese hasta que el ensayo se complete. Indíquese el comienzo y el final del ensayo por medio del marcador de eventos. Deténgase el flujo de agua aproximadamente un segundo después de haber completado el ensayo.

8.2 Evalúese el registro entre las dos marcas de estos eventos. La línea promedio del diagrama entre estos dos puntos es el Mu-Nuber.



9. INFORME

9.1 Informe de campo. El informe de campo debe reportar por cada tramo de ensayo los datos de los siguientes temas:

- Localización e identificación del tramo de ensayo.
- Fecha y hora.
- Condiciones ambientales (temperatura, nubosidad y viento).
- Tipo de carril y de tramo ensayados.
- Velocidad del vehículo de ensayo y espesor del agua superficial (para cada ensayo).
- El número Mu (para cada ensayo).

9.2 Reporte resumido. El reporte resumido deberá incluir, para cada ensayo, datos de los siguientes temas cuando sean aplicables a las variables o combinaciones de variables bajo investigación:

- Localización e identificación del tramo de ensayo.
- Número de carriles y presencia de separadores de carriles.
- Pendientes y alineamientos.
- Tipo de pavimento (diseño de la mezcla de la capa superficial, condición y tipo de agregado, si se dispone de esta información).
- Edad del pavimento.
- Transito promedio diario.
- Velocidad promedio diaria (o mezcla de velocidades como en el caso de una carretera con pendiente inclinada y transito pesado de camiones).
- Fecha y hora del día. e Condiciones ambientales. e Carril y tramo de ensayo.
- Número Mu promedio para cada tramo; velocidades del vehículo y espesores del agua superficial a los cuales el promedio reportado fue obtenido.
- Valores máximos y mínimos que entran en el calculo del promedio. (Si los valores son reportados pero no fueron usados en el cálculo del promedio, este hecho debe informarse).
- Dibujo de los datos de gradiente de velocidad (si fue obtenido).

10. REFERENCIAS NORMATIVAS

ASTM

E 670



APÉNDICE A

ESPECIFICACIONES DE LLANTAS PARA MU-METER

A.1 OBJETO

Este apéndice establece los requisitos generales que deben cumplir las llantas estándar para el Mu-Meter, correspondientes a las dos ruedas laterales del aparato, denominadas ruedas de ensayo.

A.2 REQUISITOS DE FABRICACIÓN

Los requisitos químicos y físicos de las llantas deberán ajustarse a los valores contenidos en el anexo de la norma ASTM E-670.

Ver Figura A.1.

La llanta deberá tener un tamaño 4.00-8 (16 x 4) x 6. El diámetro exterior deberá ser de 417 mm (16.40"), el ancho de la sección transversal de 109 mm (4.30") y la distancia entre bordes de la sección transversal de 64 mm (2.50").

La llanta RL2 usada corrientemente, tiene un patrón de labrado de siete canales de 1 mm (0.04") de profundidad. Para propósitos de aplicación en el Mu-Meter, se puede considerar, que esta llanta tiene un patrón plano.

A.3 REQUISITOS DE USO Y DESGASTE

Cuando se monte un conjunto de llantas nuevas en el Mu-Meter, no deberá hacerse medición alguna hasta que las llantas hayan sido rodadas, en la posición cerrada del Mu-Meter, para desgastar las pestañas.

No existen indicadores del desgaste de la llanta como para determinar un estado de máximo desgaste de ella. Sin embargo, teniendo en cuenta que cada lado de la llanta consta de seis pestañas, tan pronto como se haya desgastado la primera pestaña, deberán efectuarse observaciones frecuentes: la llanta deberá ser desmontada y desechada poco después de haberse desgastado la primera pestaña, y antes de que comience a verse el neumático.

A.3.1 Cuando se haga necesario colocar una llanta nueva en una de las dos ruedas, debe colocarse también una llanta nueva en la otra rueda.

A.4 CERTIFICACIÓN

El fabricante deberá proporcionar al comprador, cuando este lo solicite, los certificados de que las llantas cumplen con estas especificaciones. Todas las llantas certificadas deberán estar sujetas a las tolerancias normales del fabricante.

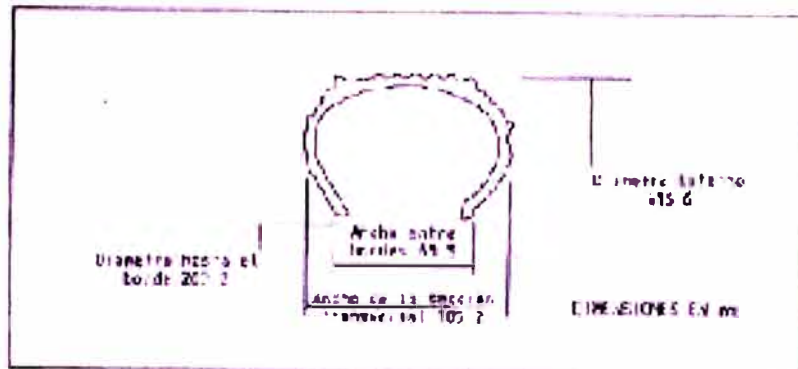


Figura 4.1. Dimensiones de la llanta de caucho del Mu - (MTC)

A.5 PRESENTACIÓN

Las llantas deberán guardarse en una condición seca bajo condiciones atmosféricas normales y a la sombra.

A.6 RECOMENDACIONES

La llanta RL2 se considera inservible cuando su patrón de labrado de 1 mm (0.04") se ha desgastado.

La presión de las llantas deberá ser de 69 ± 3 kPa (10 ± 0.5 lb/pulg²), medida a la temperatura ambiente.



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 cm² y 80 mm de largo total, para utilizarlo en la limpieza de la superficie a medir.

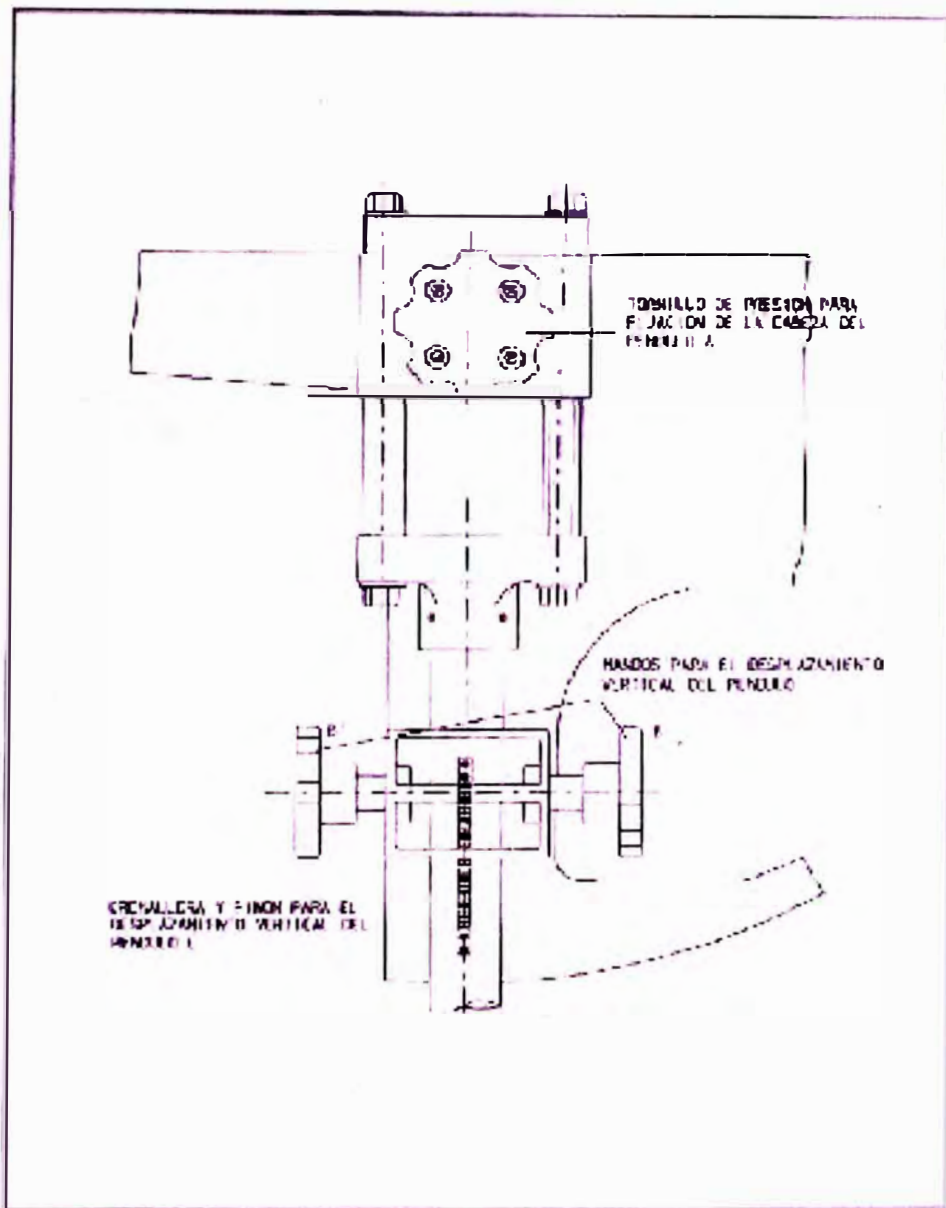


Figura 4. Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo.

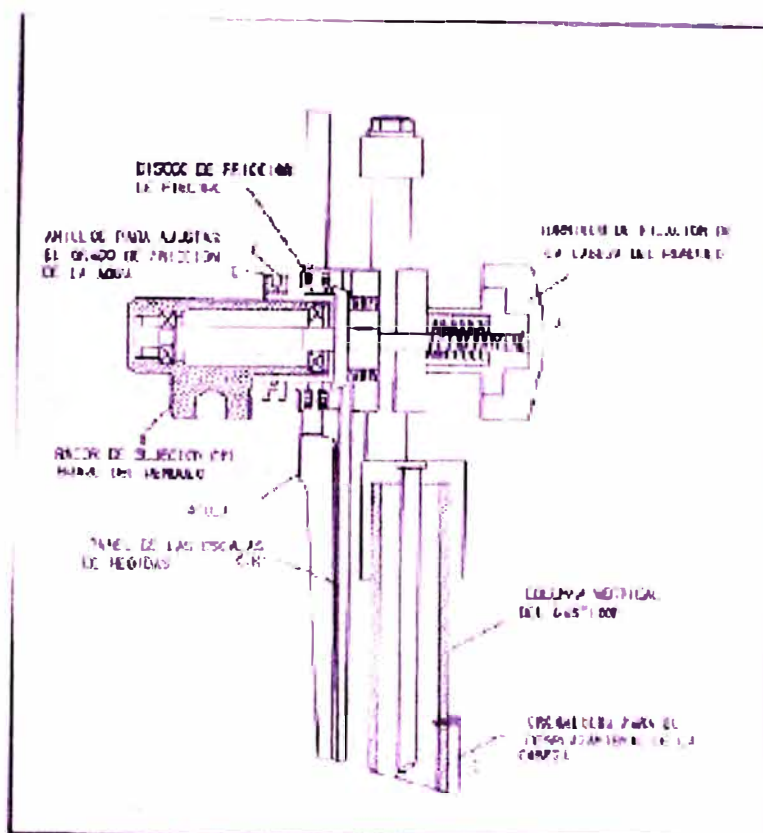


Figura 4.1. Detalle del mecanismo de sujeción del pénculo

- 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 siente al realizar medidas en el campo.

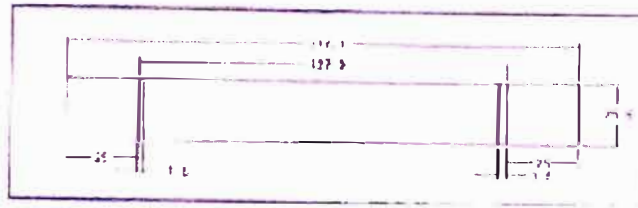


Figura 5. Aguja graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo.

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 períodos 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.

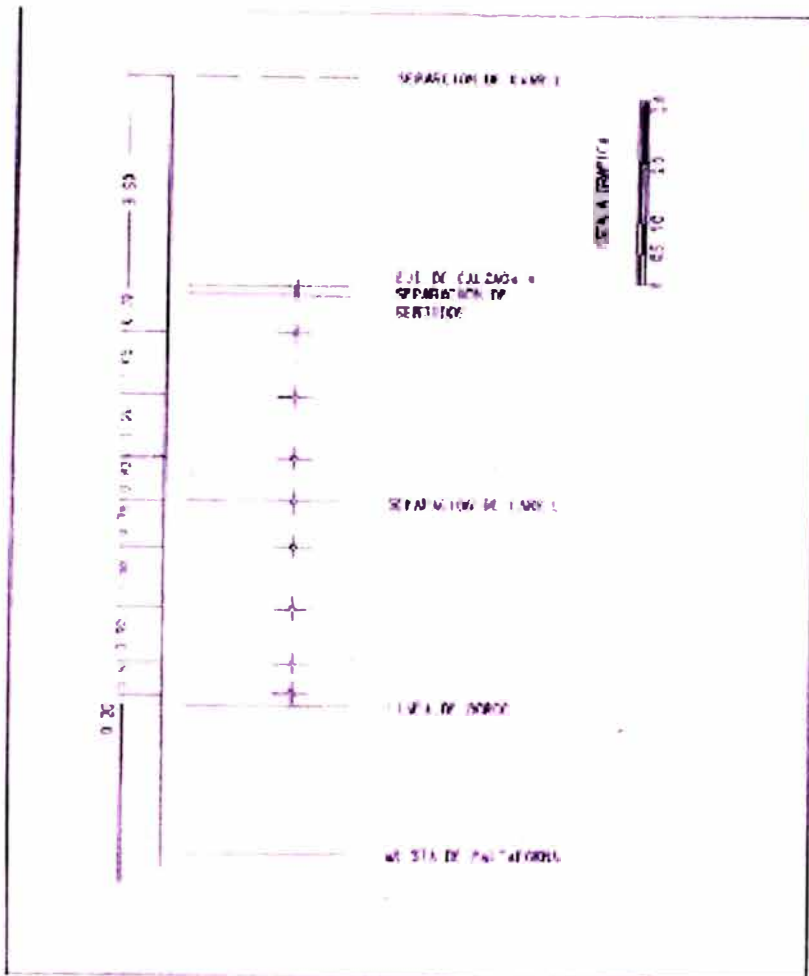


Figura 4. Ejemplo de la utilización de un instrumento de puntas de ensayo sobre la superficie del asfalto.

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.

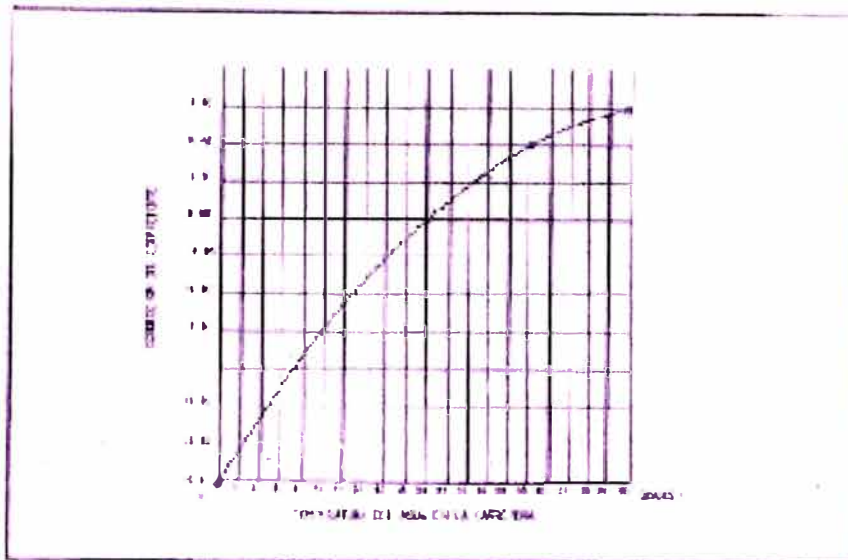


Figura 6. Relación de la temperatura con el coeficiente de resistencia al deslizamiento a diferentes temperaturas para obtener el valor que se encuentra en 20°C

- 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