



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE ROSARIO**

**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS,
INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
ESCUELA DE POSGRADO Y
EDUCACIÓN CONTINUA**

**MAESTRIA
VIAL**

TRABAJO DE TESIS:

“Fricción sobre Demarcaciones Horizontales en Pavimentos”

Maestrando: Ing. Beatriz Carnales
C.I. 1.738.548-1

Director: Mgter. Ing. Gerardo Fernández

Año 2025

INDICE.

1. Resumen Introductorio.....	13
2. Palabras Claves.....	13
3. Introducción. Marco Teórico	13
4. Objetivos.....	23
4.1. Objetivo General.....	23
4.2. Objetivos Específicos.....	24
5. Desarrollo.....	25
5.1. Justificación del Desarrollo de la Temática.....	25
5.2. Estado del Desarrollo de la Temática	31
5.3. Definiciones a tener en cuenta, equipos de medición a usar, tipo de obtención de la Información, génesis de la Investigación.....	36
5.4. Cronología de la investigación	44
5.4.1. Medición de la UDELAR.....	44
5.4.2. Mediciones Realizadas por el Maestrando para esta Investigación.....	54
5.4.3. Escala de mediciones Usadas para Macro y Microtextura y observaciones de la Investigación	60
5.4.4. Análisis de la Macrotextura en la Planilla 1- Central.....	66
5.4.5. Análisis del CRD en la Planilla 1- Central	69
5.4.6. Análisis del IFI en la Planilla 1- Central	73
5.4.7. Comparaciones de Valores obtenido con el GripTester y con Péndulo Británico.....	80
6. Diferencia de Fricción entre Demarcaciones Preformadas con Material Preformado y con Material Termoplástico	84
7. Comparaciones de Resultados de esta Investigación con las Normativas y Guías Internacionales	92
7.1. La Permanent International Association of Road Congresses (PIARC).....	92
7.2. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR),.....	93
7.3. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).....	94

7.4 Conclusiones de los Trabajos del Dr. Ing. David Calavia-1.....	95
7.5 Conclusiones de los Trabajos del Dr. Ing. David Calavia-2.....	.97
7.5.1 Recomendación 1.....	97
7.5.2 Recomendación 2.....	97
7.5.3 Selección de Materiales.....	99
7.6 Road Note N°27.....	104
7.7 FM (Nordisk Mode for Forbedret).....	105
7.8 Bitafal	107
7.9 Exigencias de Condiciones de Fricción en Uruguay.....	108
8. Especificaciones de Pintura para Demarcación.....	109
9. Resumen Metodología, Conclusiones y Sugerencias.....	110
10. Conclusiones Finales.....	116
11. Estudios a Futuro.....	119
12. Cierre de Investigación.....	120
13. Referencias Bibliográficas.....	.121
14. ANEXOS.....	125

GLOSARIO.

TERMINO	DEFINICION
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Official
Adherencia Neumático Calzada	Operación de interacción entre el Neumático y la Calzada.
Adhesión	Da la interacción entre neumático y la superficie de pavimento y se relaciona con la microtextura
AETEC - EUROVIAL	Asociación Española de Técnicos de Carreteras, Organización profesional de España que agrupa a los técnicos e ingenieros especializados en el ámbito de las infraestructuras viales y de transporte: en este trabajo se da la Definición de Marca Vial y las condiciones de las mismas: visibilidad diurna y nocturna, con lluvia y niebla y la condición de no deslizamiento.
Antiderrapante	Que no desliza
Anuario Estadístico del MTOP	Documento Anual donde se dan las Condiciones de Conservación y Confort de las Rutas Nacionales, el TPDA y proyecciones, Corredores de Carga y por donde salen/ entran al País las distintas materias primas necesarias para el Desarrollo
Bitafal	Grupo de Empresas dedicadas a brindar soluciones para construcción, basada en la producción de asfaltos con distintas especificaciones técnicas
BSI	British Standards Institution
BPN	British Pendulum Number que se obtiene haciendo la media de 5 mediciones y corrigiendo por temperatura, es el valor numérico que se obtiene en el ensayo realizado con el SRT. El SRT es otro nombre para el Péndulo Británico.
By Pass	Conexión ejecutada para Tránsito Pesado que vincula Ruta 3 con Ruta 11 y Ruta 3
CRD	Coefficiente de Fricción Longitudinal Coeficiente de Fricción: $\mu = \frac{F_R}{N}$ FR la fuerza de rozamiento, expresada en newtons. N es la fuerza normal, expresada en newtons.
Coefficiente μ medido	Rozamiento estimado en cada pista de aeródromo
CT meter	Equipo que determina la geometría de una superficie de pavimento
Demarcación	Cualquier Marca Vial en el Pavimento, lineal o con forma de Imagen
Demarcación Tipo Imagen	Expresa en el Pavimento Informaciones para el Usuario a través de una Imagen.

Despistes	Salida de la calzada de la carretera
D.N.V	Dirección Nacional de Vialidad
Estación Meteorológica	Lugar donde con Equipos se determinan en un lugar representativo la situación del clima
ETD	Profundidad de Textura Estimada para cada Hectómetro (mm).
FS	$FS = (V^2 / 15R) - e$ FS = Fricción Lateral, V = Velocidad del Vehículo, mi/h, R = Radio de la trayectoria del centro de gravedad del vehículo (también, el radio de curvatura de una curva), ft, y e = Peralte del pavimento, ft/ft.
Fricción	Es la fuerza que resiste el movimiento relativo entre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento.
FR (60)	Valor de Fricción ajustado. $FR(60) = FR(S).e^{((S-60)/Sp)}$ Donde: FR(S) = Valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento S. S = Velocidad de deslizamiento seleccionada para el dispositivo (km/h). Sp= Gradiente de velocidad calculado en el paso anterior.
F (60)	Estimación de la fricción a 60 km/h. $F(60) = A + B.FR(60)$ A, B = Constantes de calibración para el dispositivo seleccionado para la medición de la fricción (ASTM E1960).
FHWA	Administración Federal de Carreteras de EE. UU.
FM (Nordisk Mode for Forbedret): traducidos de Nordic Meeting for improved road equipment-2011: Performance of road markings and road surfaces.	La Reunión Nórdica para mejorar el equipamiento vial, se fundó en 1973 y es un foro permanente en los países nórdicos, para la cooperación entre las Administraciones Nacionales de carreteras y los investigadores en el campo del desarrollo y la mejora del equipamiento vial. Los países Nórdicos junto con España forman el Comité Europeo de Normalización (CEN), que desarrolla y estudia los Estándares Europeos. En el caso del Reino Unido. Se presenta un Texto preparado por el NMF (Nordisk Møde for Forbedret vejudstyr – traducido como Reunión Nórdica para la mejora de los equipos viales) con el fin de recopilar los conocimientos adquiridos en una serie de proyectos llevados a cabo por el NMF o con la asistencia de miembros del NMF, para poner estos conocimientos en una perspectiva internacional y práctica, y ponerlos a disposición para su uso futuro (en particular para la educación de las personas que trabajan en el campo de la señalización vial).

GN	Grip Number
Grip Tester	Equipo de Medición Dinámico de medición de Fricción a través de Grip Number
Histérisis	es consecuencia de la pérdida de energía a causa de la deformación del neumático, por lo que se relaciona con la macrotextura.
Highways Agency	Citado en la Dirección general de carreteras, 1999.
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFI	Indicador Internacional de Fricción o Índice de Fricción Internacional
INUMET	Instituto Uruguayo de Meteorología
LANAMME	Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales LanammeUCR: de la Universidad de Costa Rica
LCCP	Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos
Laser Texture Scanner (LTS)	Da el escaneo de la Textura de una superficie de pavimento mediante técnica láser
Macrotextura	Se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie.
Microtextura	Corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos (características ásperas o pulidas, composición de los agregados, angulosidad, forma y textura).
M.T.O.P	Ministerio de Transporte y Obras Públicas
MDP y MTD	Mean Depth Profile: usa técnica perfilométrica, basado en la determinación de la geometría del perfil o superficie. Para ello se divide el perfil en segmentos de 100 mm, cada segmento se divide en mitades y se determina el punto más alto en cada mitad. El promedio de estos dos puntos se conoce como la altura media del segmento. El MPD corresponde al promedio de las alturas medias de segmento para todos los segmentos que conforman el perfil. Es una medida lineal realizada con Equipo Perfilómetro Láser. MTD: Mean Texture Depth. Técnica Volumétrica con el Parche de Arena. Medida empírica de la macrotextura del pavimento y se obtiene a través del ensayo del parche de arena).
Marcas tipo II de España	Se asemejan a las Marcas Clases 1 de Uruguay
Norma ASTM E 1845 -01	Norma de EUA usada para determinar el ETD
Normas ASTM y NLT	ASTM: American Society for Testing and Materials de EUA

	NLT: Normas de España desarrolladas por el antiguo Laboratorio de Transporte y Cedex (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
NBS	National Building Specification
NLT 335/00	Norma que se usó en esta Investigación para la Medición del Círculo de Arena
Norma NLT -175/98	Norma de Medición de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento con Péndulo del TRRL (Transport Road Research Laboratory).
Norma UNE EN 13036-4	Norma Española brinda el método de ensayo para la medición de la resistencia al deslizamiento/ derrape con Ensayo del Péndulo
Norma EN 13197:2009	Norma de la Unión Europea donde se pueden observar la exigencia para Fricción de Valores de SRT según el tipo de Ruta dada por el Tráfico.
Norma UNE-EN 13197:2012+A1:2014	Versión actual de la Norma EN 13197:2009.
OACI	Organización de Aviación Civil Internacional
Péndulo Británico	Equipo de Medición de Fricción Estático con Péndulo con Zapata de Caucho
Perfilómetro Láser	Equipo de Medición Dinámico que brinda perfil transversal y longitudinal de una carretera
Preformado	Material que se viene en “moldes” que son colocados con calor para hacer la Señalización: por Ejemplo Señal de Escuela, etc.
PG-3	Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes
PIARC	Asociación Mundial de Carreteras: Es una organización sin fines de lucro que promueve el intercambio de conocimientos sobre carreteras y transporte por carretera. Establece directrices sobre los valores de aceptación de la fricción en carreteras, que son fundamentales para garantizar la seguridad vial.
PPP	Contratos de Participación Público Privada
Road Note N° 27	Nota del TRRL (Transport and Road Research Laboratory)
Resistencia al Deslizamiento	Es la habilidad de la superficie del pavimento de prevenir la pérdida de tracción con el neumático, debiendo proporcionar un adecuado nivel de fricción en la interfaz neumático - pavimento para proveer seguridad de operación a los vehículos, de modo de poder frenar a una distancia corta y mantener el vehículo en el camino, siendo un valor crítico en la seguridad vial cuando el pavimento se encuentra mojado.
SCRIM	Se trata de un vehículo equipado con un sistema que aplica una rueda de prueba en ángulo sobre la carretera.

	Esta rueda está mojada artificialmente y se mide la fuerza lateral que se genera al girar, lo que permite calcular el coeficiente de fricción.
Seal Coat	Es un tipo de tratamiento que se agrega a la superficie del pavimento. Este tipo de técnica es ideal para recuperar la resistencia al deslizamiento, así como para el sellado y preservación de un pavimento, ya que se basa en una emulsión modificada con cargas minerales que se emplea en bajos espesores con equipos que logran aplicar con lampazo o por spray con altos rendimientos”
Siniestros de Tránsito	Accidentes/ Incidentes en la Red Vial Nacional
Sp	Constante de velocidad mediante las mediciones de macrotextura (Norma: ASTM E1960). $Sp = a + b.Tx$ Tx= Medición de la macrotextura(mm) a, b = Constante para los diferentes métodos y dispositivos.
Tasas de Siniestralidad	Especifica la proporción de siniestros con lesionados cada 100000 habitantes vigente al 31 de diciembre del año 2023
Thermomat	Pintura Preformada realizada por la Empresa Viamás S.A.
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual
Tramo Homogéneo	La definición de Tramos Homogéneos sale de la aplicación del Método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) en los cuales se determinaron las” pendientes” que nos indican los mismos (donde hay un cambio de pendiente hay un fin de tramo homogéneo).
TRRL	Transport Road Research Laboratory
UDELAR	Universidad de la República Oriental del Uruguay
UDS SRT : Unidad de Deslizamiento del Test SRT	Unidad de Deslizamiento de la Medición de Deslizamiento
UNASEV	Unidad Nacional de Seguridad Vial
Vida útil de la Señalización	Luego de la misma no se cumplen las condiciones mínimas de retroreflexión y / o desgaste para que sean seguras para los usuarios de las carreteras
"µm"	unidad "µm" representa el micrómetro, que es una unidad de longitud del sistema métrico, $1\mu m = 0.000001m$.
UNASEV	Unidad Nacional de Seguridad Vial

INDICE DE ILUSTRACIONES.

1.	Fig.1- Esquema de Fricción.....	14
2.	Fig.2- Evolución de Fricción.....	17
3.	Fig.3- Comportamiento Teórico del Coeficiente de Fricción.....	18
4.	Fig.4- Ilustración de Macrotextura Microtextura.....	19
5.	Fig.5- Macrotextura.....	20
6.	Fig.6- Microtextura.....	20
7.	Fig.7- Diagrama de Flujo del Modelo Piarç.....	22
8.	Gráfico 1- Evolución de Siniestros según la gravedad de estos: 1/01/ 2019 al 31/12/2024.	27
9.	Gráfico 2- Evolución de víctimas en siniestros de tránsito en el tramo de estudio.....	28
10.	Gráfico 3- Distribución de Siniestros en el tránsito y por tipología.....	28
11.	Gráfico 4- Evoluc.de Siniestros en el tramo, de acuerdo a su Tipología.....	29
12.	Gráfico 5-Evolución de Siniestros Graves y Fatales en el tramo de acuerdo a su Tipología.....	30
13.	Mapa de Tramos de Ruta 3 Objeto de esta Investigación.....	42
14.	Fig 11- Fotografía del Equipo Grip Tester.....	45
15.	Gráfico 6- Fricción versus Velocidad de Deslizamiento.....	49
16.	Gráfico 7- Definición de Tramos Homogéneos.....	50
17.	Gráfico 8- Definición de GN medio.....	51
18.	Gráfico 9- Valor de GN.....	52
19.	Fig.13- Ensayo de Parche de Arena.....	54
20.	Planilla 1- Central.....	59
21.	Gráfico 10- Evolución del CRD con el Paso del Tiempo, en la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.....	71
22.	Gráfico 11 - Evolución del CRD con el Paso del Tiempo, en la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico.....	71
23.	Gráfico 12 - CRD Preformado versus CRD Pavimento.....	72
24.	Gráfico 13 - CRD Termoplástico versus CRD Pavimento.....	73
25.	Gráfico 14 - Curvas de IFI para Pavimentos versus Demarcación Tipo Imagen Preformado con Material ejecutado en el 2024.....	76
26.	Gráfico 15 - Curvas de IFI para Pavimentos versus Demarcación Tipo Imagen Preformado con Material ejecutado en el 2022.....	77
27.	Gráfico 16 - Curvas de IFI para Pavimentos versus Demarcación Tipo Imagen Preformado con Material ejecutado en el 2021.....	78

28.	Gráfico 17 - Curvas de IFI para Pavimentos versus Demarcación Tipo Imagen Preformado con Material Termoplástico ejecutado en el 2023.....	78
29.	Gráfico 18 - Curvas de IFI para Pavimentos versus Demarcación Tipo Imagen Preformado con Material Termoplástico ejecutado en el 2022.....	79
30.	Gráfico 19 - Curvas de IFI para Pavimentos versus Demarcación Tipo Imagen Preformado con Material Termoplástico ejecutado en el 2021.....	80
31.	Certificado de Durabilidad para Marcas Viales.....	104

INDICE DE FIGURAS.

1.	Fig.8 - Ceda al Paso en Rotonda de Ruta 3.....	24
2.	Fig.11 - Fotografía de Equipo Grip Tester.....	45
3.	Fig.12 - Imagen del Equipo Grip Tester.....	46
4.	Fig.13 - Ensayo de Parche de Arena.....	54
5.	Fig.14 - Fotografías de Parche de Arena sobre Demar.y Pavim.....	55
6.	Fig.15- Fotografías de Ejemplos de Medición de Fricción sobre Demarcación y Pavimento y Georreferenciación.....	57
7.	Fig.16- Georreferenciaciones sobre Mediciones sobre Demarcaciones.....	57
8.	Figs.17- Observación de la superficie con Demarcaciones Tipo Imagen Preformada.....	70
9.	Fig.18- Observación de la superficie con Demarcaciones Tipo Imagen Preformada.....	70
10.	Fig.19 - Preformado sobre la Ruta.....	86
11.	Fig.20 - Pintura sobre la Batea.....	86
12.	Fig.21 - Plancha de Preformado.....	86
13.	Fig.22 - Microesferas de Sembrado.....	87
14.	Fig.23 - Colocación de Esferas de Sembrado.....	87
15.	Fig.24 - Camino al Enfriamiento de la Lámina de Preformado.....	87
16.	Fig.25 - Camino al Enfriamiento de la Lámina de Preformado.....	87
17.	Fig.26 - Regulación del espesor entre 2,7 y 3 mm.....	87
18.	Fig.27 - Acopio de Láminas de Preformado.....	87
19.	Fig.28 - Ejemplo de Pintura Tipo Spray.....	88

20.	Fig.29 – Microesferas composición del Preformado.....	90
21.	Fig.30 - Microesferas de Sembrado en Termoplástica.....	90
22.	Fig.31 - Microesferas de Sembrado en Preformado.....	90
23.	Fig.32 - Demarcación H. Tipo Imagen con Mat.Preformado R1.....	91
24.	Fig.33 -Georreferenciación de la Demarcación anterior.....	91
25.	Fig.34 - Marca de Paso para Peatones.....	101
26.	Fig.35 - Marca de Paso para Motociclistas.....	102
27.	Fig.36 - Marca de Paso para Motociclistas.....	102
28.	Fig.37 - Marca de Paso para Peatones.....	102
29.	Fig.39 - Medición con Péndulo Británico en una carretera.....	106
30.	Fig.40 - Rutero en 67.300 km de R 3.....	112
31.	Fig.41 - Demarcaciones Preformadas con Señalización V.....	112
32.	Fig.42 - Demarcaciones Preformadas con Señalización V.....	112
33.	Figs.43 y 44 - Demarcaciones Preformadas de Escuela en el Pavimento de Hormigón acompañadas de Señalización V.....	113
34.	Fig.45 – Demarcaciones Preformadas sobre Pavimento de Hormigon visto de cerca.....	113

INDICE DE TABLAS.

1.	Tabla 1- Causas de Despistes entre 2019-2024.....	30
2.	Tabla 2- Incidentes de Tránsito de acuerdo a su gravedad sobre el ByPass (1° de enero -31 de agosto).....	31
3.	Tabla 3 - Tabla de Valor Mínimo de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.....	32
4.	Tabla 4 - Mínimos Valores de Resistencia al Deslizamiento (medidos con el Equipo Portátil).....	35
5.	Tabla 5 - Definiciones de Tramos de Obra del CC7: Ruta 3 y ByPass.....	44
6.	Tabla 6 - Características del Equipo Grip Tester.....	45
7.	Tabla 7- Ubicación de la Señalización entre los km 70 y 72.....	47
8.	Planilla 0:Central- LCCP-Udelar.....	47
9.	Tabla 8 -Planilla de Medición del Grip Tester.....	48
10.	Tabla 9 -Cálculo del F(s) para distintas velocidades del Grip Tester.....	49
11.	Tabla 10- Valores de GN medidos por Udelar.....	49
12.	Tabla 11- Mapa de Fricción para Distintos Tramos Homogéneos.....	50
13.	Tabla 12- Medición de Macrotextura con Perfilómetro Láser.....	51
14.	Planilla 1:Central- Maestrando.....	59

15.	Tabla 13- Especificaciones PIARC para valor de Profundidad Media de Macrotextura en mm.....	60
16.	Tabla 14- Especificaciones PIARC para el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento CRD.....	60
17.	Tabla-15- Valor de Fricción con CRD 0,45 para Pavimento y Demarcaciones Tipo Imagen con Material Preformado.....	62
18.	Tabla-16- Valor de Fricción con CRD 0,45 para Pavimento y Demarcaciones Tipo Imagen con Material Termoplástico.....	63
19.	Tabla 17- Valor de Fricción con CRD 0,45 al inicio de la ejecución y CRD 0,31 al año y medio de construido y un año después, con Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.....	64
20.	Tabla 18- Valor de Fricción con CRD 0,45 al inicio de la ejecución y CRD 0,31 al año y medio de construido y un año después, con Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico.....	64
21.	Tabla 19- Valor de Fricción con CRD 0,65 al inicio de la ejecución y CRD 0,45 al año y medio de construido y posterior, con Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.....	65
22.	Tabla 20- Valor de Fricción con CRD 0,65 al inicio de la ejecución y CRD 0,45 al año de construido y posterior, con Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico.....	65
23.	Tabla 21- Variación de Macrotextura a lo largo del tiempo entre la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico y el Pavimento circundante.....	67
24.	Tablas 22 y 23- Variación de Fricción a distintas velocidades de operación para Demarcación con Material Preformado y TermoPlástico con Valores de Macrotextura 0,35mm en la Recepción Provisoria y en el año 2022.....	68
25.	Tabla 24 - Valores Mínimos de Aceptación de Coeficiente de Fricción...	93
26.	Tabla 25 - Rango de Valores para GN.....	93
27.	Tabla 26 - Valores de Coeficiente de Fricción según la OACI.....	94
28.	Tabla 27 - Criterio de Selección de Materiales – Art.700.....	100
29.	Tabla 28- Valores de SRT (Resistencia al Deslizamiento).....	100
30.	Tabla 29- Condiciones de Resistencia al Deslizamiento según el tipo de Marca Vial.....	106
31.	Tabla 30- Requisitos de Macrotextura.....	109

1. Resumen Introductorio.

Esta Investigación tiene por objeto estudiar la relación existente entre la Fricción o Resistencia al deslizamiento, que se desarrolla sobre la superficie de Demarcaciones Tipo Imagen con respecto a la Superficie de Pavimento que rodea a la misma.

El origen de este estudio lo causó la duda que le generaba al Departamento de Seguridad en el Tránsito del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (Organismo generador de las Políticas de Seguridad Vial a aplicar en Rutas Nacionales de Uruguay), la colocación de un nuevo material Preformado llamado Thermomat (desarrollado por la Empresa Viamas S.A) sobre grandes superficies de la calzada en zonas urbanas y suburbanas, con respecto a este importante parámetro de Seguridad Vial.

Esta investigación amplió el estudio y también se analizó el comportamiento de Demarcaciones Tipo Imagen con Material Termoplástico que acompaña a este tipo de Demarcación con Material Preformado.

El enfoque de estudio fue mixto, porque se basó en un aspecto cualitativo que se centra en la comprensión profunda del fenómeno de fricción, usando técnicas de observación y de entrevistas y también en un aspecto cuantitativo porque realizó mediciones y análisis de datos numéricos, haciendo luego una generalización de resultados.

Las conclusiones obtenidas ayudarán a modificar el Artículo correspondiente a Fricción, en la nueva Norma de Señalización Horizontal que publique Uruguay y además se dan sugerencias que serán beneficiosas para lograr un desarrollo de los Contratos de Mantenimiento del Uruguay con mayor grado de seguridad para los usuarios.

2. Palabras Claves.

Microtextura, Macrotextura, Fricción, Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

3. Introducción. Marco Teórico.

Una carretera debe proporcionar al usuario seguridad y confort. No existe un sistema de medida que indique el grado de seguridad de una ruta, pues las variables intervinientes en la misma son numerosas y variadas, como ser: la velocidad de circulación, condiciones climáticas, estado del conductor, estado del vehículo en el cual se circula, características geométricas de la ruta o vía, características superficiales de la misma como ser macro textura, micro textura y rugosidad y tipos de elementos de seguridad vial presentes en la misma. Se centrará esta Investigación en una de ellas:

Coeficientes de Fricción, pues la fricción o resistencia al deslizamiento del

pavimento está directamente relacionada con el número de siniestros de tránsito viales, principalmente en condiciones de superficie húmeda. **La fricción** (ver Fig.1) es la fuerza que resiste el movimiento relativo entre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento. **La resistencia al deslizamiento** es la habilidad de la superficie del pavimento de prevenir la pérdida de tracción con el neumático, debiendo proporcionar un adecuado nivel de fricción en la interfaz neumático - pavimento para proveer seguridad de operación a los vehículos, de modo de poder frenar a una distancia corta y mantener el vehículo en el camino, siendo un valor crítico en la seguridad vial cuando el pavimento se encuentra mojado.

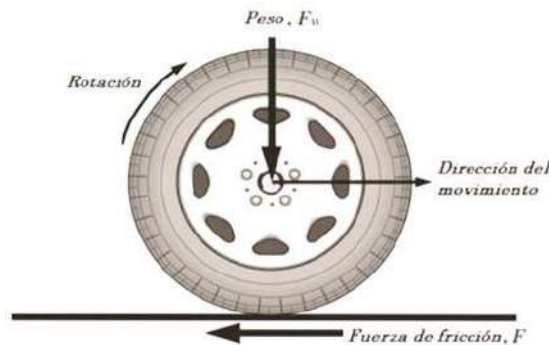


Figura1. Esquema de la Fricción (Fuente: Lanamme: Laboratorio Nacional de Materiales y Estructuras, Universidad Costa Rica. Extraído del Departamento de Geotécnica de la Facultad de Ingeniería de Uruguay (Udelar)- Instituto de Estructuras y Transporte: *Taller: "Evaluación de Pavimentos-2023"*).

El Coeficiente de Fricción (Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras y Junta de Investigación del Transporte (NCHRP): Guía para la fricción del Pavimento: Referencia Bibliográfica 4), es igual al cociente entre la fuerza de fricción (o fuerza de rozamiento) y la fuerza normal. El Coeficiente de Fricción es un coeficiente adimensional.

La Fórmula del **Coeficiente de Fricción** es la siguiente:

Ecuación 1:
$$\mu = \frac{F_R}{N}$$

- Donde:
- μ es el coeficiente de fricción es adimensional.
 - F_R la fuerza de rozamiento, expresada en newtons.
 - N es la fuerza normal, expresada en newtons.

Se debe tener en cuenta que F_R es la Fuerza de Rozamiento que se contrapone al movimiento del vehículo que circula en sentido longitudinal a una carretera, en la dirección de avance o frenado.

El **Coefficiente de Fricción Longitudinal** y el **Coefficiente de Fricción Lateral** son dos parámetros que describen cómo las ruedas de un vehículo interactúan con la superficie del pavimento en distintas direcciones. Ambos son cruciales para la seguridad y el rendimiento de los vehículos, ya que determinan la capacidad de frenado, aceleración y manejo en condiciones diversas.

Esta Investigación es sobre el Coeficiente de Fricción Longitudinal, pero se hace una breve referencia a la Fricción Lateral, porque es un elemento también para tener en cuenta cuando un vehículo al circular por la carretera cambia de dirección o compensa los efectos de la pendiente transversal del pavimento y/ o del viento cruzado: actúa como contrapeso a la fuerza centrífuga desarrollada cuando un vehículo realiza un movimiento lateral.

Además, se considera que según la “Guía para la Fricción de Pavimento”, 2008 de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials): Al combinarse frenado y viraje, el conductor corre el riesgo de no frenar tan rápido o de perder el control debido a la reducción de las fuerzas laterales. Al operar al límite de agarre de los neumáticos, la interacción de las fuerzas longitudinales y laterales es tal que, a medida que una fuerza aumenta, la otra debe disminuir proporcionalmente. Comúnmente conocido como círculo de fricción o elipse de fricción (Radt y Milliken, 1960), la suma vectorial de las dos fuerzas combinadas, al representarse gráficamente (fuerza longitudinal en el eje x y fuerza lateral en el eje y, o viceversa), permanece constante (círculo) o casi constante (elipse). Al operar dentro de los límites de agarre temporal, la cantidad de componentes de fricción de frenado y giro puede variar independientemente, siempre que la suma vectorial de estos componentes no exceda los límites de agarre de los neumáticos, definidos por el círculo de fricción o la elipse de fricción.

El grado de elipse o círculo depende de las propiedades del neumático y del pavimento (Gillespie, 1992). La relación básica entre las fuerzas que actúan sobre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento cuando el vehículo gira en una curva, cambia de carril o compensa las fuerzas laterales es la siguiente:

Ecuación 2:
$$F_s = (V^2 / 15R) - e$$

donde:

F_S = Fricción Lateral,

V = Velocidad del Vehículo, mi/h,

R = Radio de la trayectoria del centro de gravedad del vehículo (también, el radio de curvatura de una curva), ft, y

e = Peralte del pavimento, ft/ft.

Por lo tanto, si se considera que:

- la Fricción Longitudinal es la mayor en cuanto a valor (porque ocurre en la misma dirección que el movimiento del vehículo (acelere y frenado) y depende de la compresión directa entre el neumático y la superficie del pavimento, lo que genera una mayor resistencia, ya que se produce una mayor área de contacto en esa dirección)
- que la misma no presenta un valor máximo tan claro como el de la Fricción Lateral
- que la suma vectorial de las 2 Fuerzas combinadas permanece constante
- que los neumáticos están diseñados para proporcionar un mayor agarre en la dirección longitudinal (acelere y frenado) porque son fuerzas predominantes en la conducción diaria
- que el diseño de los neumáticos y la distribución de cargas sobre el pavimento están más optimizados para la fricción longitudinal
- que el dispositivo de medición que usamos para la Fricción implicaba contar con un equipo de personas: 2 personas para desviar el tránsito a cada lado del equipo de medición y otra ayudando al operador del equipo en la calibración, preparación de las superficies a medir y lectura, haciendo esta tarea muy onerosa.
- que las mediciones llevan mucho tiempo de hacerlas, manteniendo una ruta como la ruta 3 con desvío de tránsito en carriles y el By Pass que es de un solo carril de ida y otro de vuelta cerrado.
- que las Rutas Nacionales están diseñadas según AASHTO Green Book "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets": Referencia Bibliográfica 31, que recomienda para curvas cómodas y seguras, coeficientes de fricción laterales máximos
- que se observó a través de las Curvas de IFI obtenidas en esta Investigación no hay un empeoramiento de la condición de Fricción del Pavimento cuando colocamos Señalización sobre su Superficie a lo largo del tiempo
- Que entonces la variación importante en cuanto a Fricción se da en el sentido longitudinal.

No se hizo mediciones de comprobación en esta Investigación de Fricción Lateral.

La Fricción entre una superficie de rodamiento y el neumático del vehículo está condicionado por (Instituto de Estructuras y Transporte de la Universidad de la República de Uruguay- Departamento de Geotécnica).

- Las características del pavimento (tipo, composición, adherencia y macrotextura)
- Contaminación en la superficie (aceite, polvo, goma, etc.)
- El grado de humedad en la superficie
- La temperatura
- La densidad del tránsito
- La velocidad de circulación

Se observa asimismo el paso del tiempo y su incidencia en los Valores de Fricción (ver. Fig.2).



Figura 2. Evolución de la Fricción (Fuente: Lanamme: Laboratorio Nacional de Materiales y Estructuras, Universidad Costa Rica. Extraído del Departamento de Geotécnica de la Facultad de Ingeniería de Uruguay (Udelar)-Instituto de Estructuras y Transporte: Taller:” Evaluación de Pavimentos-2023”.

Asimismo, se confirma este Comportamiento de la Resistencia de deslizamiento considerando el Extraído del Capítulo 1. Introducción de la “Tesis Doctoral: Modelos de Comportamiento de la Adherencia Neumático Calzada”: Magister Ing. Marta Beatriz Pagola: Referencia Bibliográfica 5.

“La adherencia neumático-calzada es suficiente, salvo casos excepcionales, sobre superficie seca, disminuyendo extraordinariamente en períodos de lluvia debido a la película de agua que se interpone entre el neumático y la calzada.

La adherencia que brinda una superficie de rodamiento al usuario no se mantiene constante a lo largo de la vida en servicio. Su magnitud depende de la variación de dos parámetros: la macrotextura de la superficie y el coeficiente de fricción.

La adherencia neumático-calzada se valora en forma indirecta a través de la medición de dos indicadores de la superficie del pavimento: el coeficiente de fricción y la macrotextura.

La variación del coeficiente de fricción parecería seguir un patrón teórico formado por dos etapas, como el que se muestra en la siguiente Figura 3:

Durante la primera etapa, aproximadamente el primer año de servicio, el valor del coeficiente de fricción decrece rápidamente, es decir, sufre una pérdida inicial. Luego de ese período, en la segunda etapa, los valores se mantienen relativamente constantes, oscilando en torno a un “valor de equilibrio”. (LCPC, 1993) [1] (Del Val, 2010) [2].”

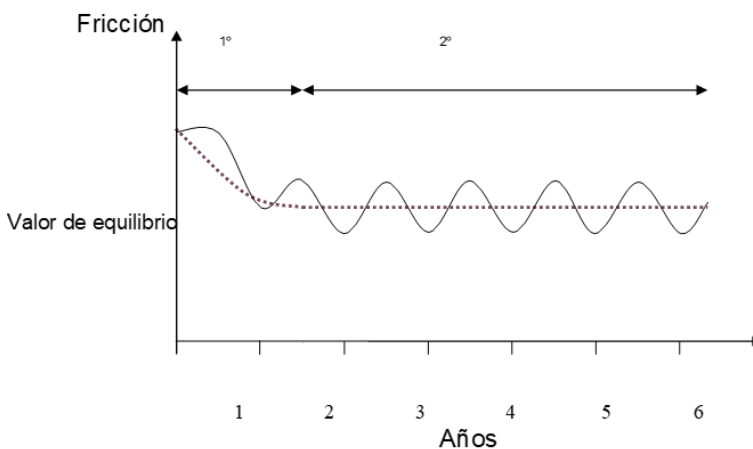


Figura.3.- Comportamiento teórico del coeficiente de fricción.

Se comprobará este comportamiento luego de las mediciones Realizadas del **CRD (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento: Es la medida de la fricción entre la zapata y la superficie de ensayo, proporcionando un valor normalizado de resistencia al deslizamiento cuyo valor es $CRD = \text{Valor efectivo medido con el Péndulo de Fricción del TRRL (Transport Road Research Laboratory)} / 100$ - Norma NLT-175/98): Referencia Bibliográfica 22** en esta Investigación. En la misma se hará mediciones del CRD de la Demarcación Horizontal y del Pavimento circundante, a los efectos de comparar comportamientos respecto a la Fricción.

Según la Norma Uruguaya de Señalización Horizontal de la Dirección Nacional de Vialidad – Referencia Bibliográfica 11 en esta Investigación, hay 3 Tipos de Demarcaciones: Demarcaciones Longitudinales, Transversales y Otras Demarcaciones: otros tipos de líneas, escritas, flechas, cebreados, cruces de tren, espacios para estacionar y otras.

Se incluyen igualmente las demarcaciones de otros elementos de la carretera (como ser lomos de burro), así como diversas combinaciones de las demarcaciones

anteriormente citadas para casos concretos de señalización horizontal. Para diferenciar el Objeto de esta Investigación, entonces se definirán como **Demarcaciones Horizontales tipo Imagen**, a los efectos de referirnos solo y exclusivamente a este tipo de Señalización.

Por lo anteriormente expuesto respecto a la evolución de la Fricción a lo largo del tiempo, es que en esta Investigación se considerará las fechas de ejecuciones de las Demarcaciones Horizontales (son las mismas que las de ejecución del pavimento a los efectos de realizar las comparaciones correspondientes correctamente).

Se considera las siguientes definiciones de textura de un pavimento que se necesitan para terminar de definir la Resistencia al Deslizamiento (*):

Microtextura: corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos (características ásperas o pulidas, composición de los agregados, angulosidad, forma y textura, ver Fig.4).

Macrotextura: se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie (ver Fig. 4).

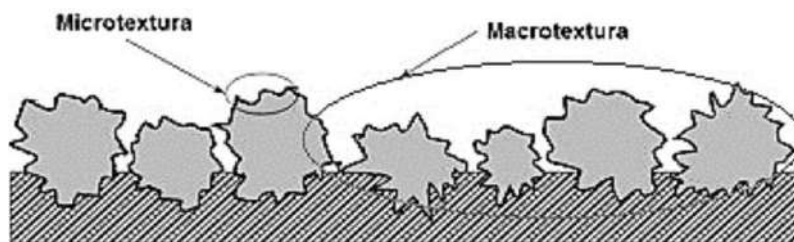


Figura 4. Macrotextura y Microtextura (Fuente: D. López Valdés, P. Garnica Anguas "Consideraciones para la Aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México")

(*) *Universidad Señor de Sipán-Chiclayo (Perú): Factores influyentes en la Resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles: una revisión literaria): Referencia Bibliográfica 2.*

Se considera que la pérdida de textura es la falla más recurrente en un pavimento, no solo en el periodo post construcción, sino también en su vida útil. La textura de un pavimento puede clasificarse en macro y microtextura (megatextura no se considera en esta Investigación).

La pérdida de macrotextura se observa por el relleno de los intersticios de la carpeta asfáltica y la pérdida de microtextura por el pulimento de la superficie de los áridos.

La macrotextura corresponde a la altura media existente entre la superficie expuesta del árido y la matriz en que está inserto, como se observa en la Figura 5. Proporciona los intersticios necesarios para el escurrimiento del agua superficial del pavimento.

La **microtextura**, como se observa en la Figura 6 corresponde a las pequeñas asperezas de los agregados ubicados en la superficie del pavimento que permiten la rotura de la película de agua entre el neumático y el pavimento logrando una adherencia adecuada. La **microtextura** debe proveer al pavimento el roce necesario para obtener **una adecuada resistencia al deslizamiento a baja velocidad** y puede presentar características del **tipo áspero o pulida**: por eso la atención se centrará en verificar que la resistencia al Deslizamiento en estas zonas urbanas tenga valores altos. Mientras que la **macrotextura** puede presentar características de **tipo gruesa o fina**. Una **macrotextura** gruesa provee el rápido drenaje del agua bajo el efecto de la presión de los neumáticos y es necesaria para una **adecuada resistencia al deslizamiento en velocidades medias y elevadas** con pavimento mojado, mejorando la visibilidad al reducir las proyecciones de agua (para permitir que el neumático expulse la película de agua que está en contacto con el pavimento).

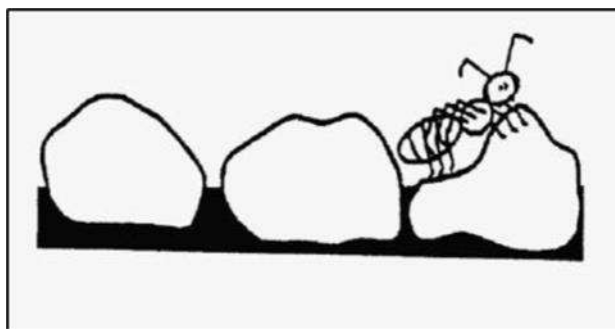


Figura.5 – Macrotextura

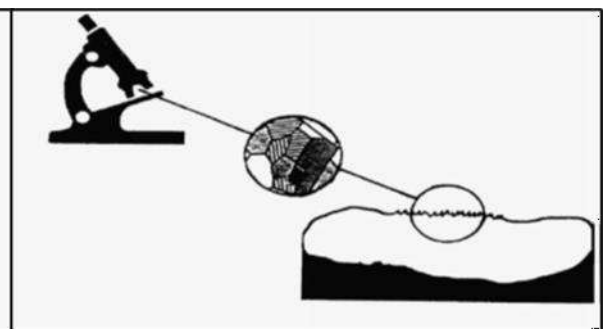


Figura.6 – Microtextura

Se puede evaluar la capacidad de resistencia al deslizamiento de un pavimento de dos formas: midiendo directamente el coeficiente de fricción entre el neumático y el pavimento mojado o midiendo la **macrotextura y la microtextura**. **Por lo tanto, la resistencia al deslizamiento está determinada por la micro y macrotextura.**

Debido a que la medición de estos parámetros se puede medir con distintos equipos y métodos surgiendo diferencias en las mediciones, entonces se determinó un único parámetro llamado **IFI (Indicador Internacional de Fricción o Índice de Fricción Internacional)** en el Experimento internacional (PIARC) de comparación y armonización de las medidas de Fricción y Textura (Publicación PIARC-01-04.T-1995). Se usó el IFI para expresar las mediciones de adherencia comparable entre todos los equipos de medición (nos independizamos de estos) y se puede describir como una escala de referencia de aplicación internacional, de la fricción y de la textura del pavimento. **En esta Investigación se vio que el cálculo del IFI realizado para el Pavimento y los Distintos Tipos de Demarcaciones ejecutadas en distintos años de**

su vida útil, aportó la valiosa información del comportamiento respecto a la Fricción de las mismas a distintas velocidades.

Cálculo del IFI:

El modelo PIARC descrito es la base de la definición del índice de Fricción Internacional, **IFI**, a través de los parámetros **F60 y Sp**. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el par de valores **(F60, Sp)** expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macrotextura.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia.

Ecuación 3:
$$\text{IFI} = (\text{F60}, \text{Sp}) \text{ (ver Fig.7)}$$

Dónde:

- F60: Estimación de la fricción a 60 km/h.
- Sp: Constante de velocidad mediante las mediciones de macrotextura (Norma: ASTM E1960).

Ecuación 4:
$$\text{Sp} = a + b.Tx$$

Dónde:

- Tx= Medición de la macrotextura(mm)
- a, b = Constante para los diferentes métodos y dispositivos.

En el caso particular del uso de Perfilómetro Laser (ASTM E1845): a=14,2 y b=89,7.

En el caso particular del uso del Parche de Arena (ASTM E1960 y 965): a=-11,59 y b=113,63 y:

Ecuación 5:
$$\text{FR}(60) = \text{FR}(S).e^{((S-60)/\text{Sp})}.$$

Donde:

- FR(60) = Valor de fricción ajustado.
- FR(S) = Valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento S.
- S = Velocidad de deslizamiento seleccionada para el dispositivo (km/h).
- Sp= Gradiente de velocidad calculado en el paso anterior.

Ecuación 6:
$$\text{F}(60) = A + B.\text{FR}(60)$$

Dónde

- A, B = Constantes de calibración para el dispositivo seleccionado para la medición de la fricción (ASTM E1960).

En el caso de utilizar el GripTester, A= 0,082 y B= 0,91.

En el caso de utilizar el Péndulo Británico; A= 0,07784 y B=0,0079.

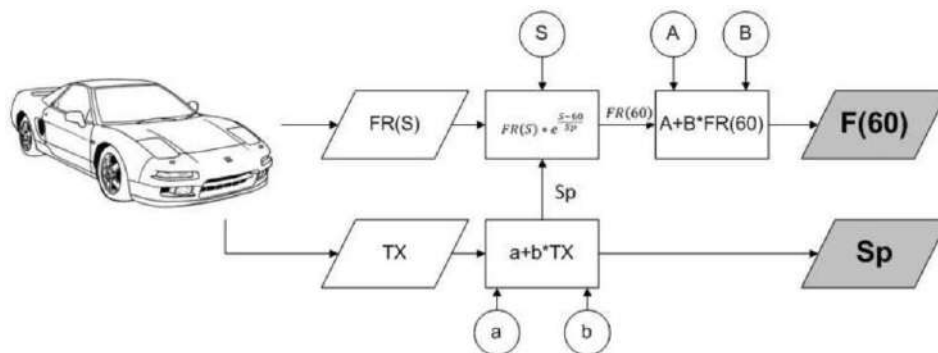


Figura 7- Diagrama de flujo del modelo PIARC (Fuente: Lanamme: Laboratorio Nacional de Materiales y Estructuras, Universidad Costa Rica. Extraído del Departamento de Geotécnica de la Facultad de Ingeniería de Uruguay (Udelar)-Instituto de Estructuras y Transporte: Taller: "Evaluación de Pavimentos-2023"): Referencia Bibliográfica 25.

En esta Investigación específicamente se estudia el IFI sobre Demarcaciones Horizontales Tipo Imágenes ya sea con Material Tipo Preformado y Termoplástico sobre el Pavimento (Flechas Direccionales, Cebreados, Símbolos de Escuelas y Hospitales, Señales de Ceda el Paso, Símbolos de Velocidad, Símbolos de Radares, etc.), que ocupan un Área importante del mismo y son relevantes, por lo expresado anteriormente en cuanto a la seguridad del usuario que circula por la ruta. No existen Especificaciones de la Fricción específicas para la Demarcación Tipo Imágenes para Material Preformado (Thermomat) en la Norma de Señalización Horizontal que rige para Uruguay (se da la condición de Fricción para toda la Demarcación Horizontal en conjunto), ni en los Pliegos de Mantenimiento de la Red Vial Nacional ni en las Condiciones de Recepción para este tipo de Demarcación.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo General.

Se valuó a través de distintos tipos de mediciones, la Relación existente en distintos momentos de la vida útil de la Demarcación Horizontal tipo Imagen, entre la Resistencia al Deslizamiento que se obtiene al circular sobre las Demarcaciones Horizontales tipo Imágenes con respecto a la que se obtiene cuando se circula por un pavimento sin Demarcación Horizontal tipo Imágenes y además se demostró si se está en condiciones seguras de circulación a distintas velocidades, para los usuarios con respecto a la variable fricción.

El propósito de esta Investigación fue la Determinación, Descripción y Definición de las condiciones seguras (Especificaciones Técnicas) para colocar Demarcaciones Horizontales tipo Imágenes sobre el Pavimento ejecutadas con distintos tipos de materiales, explicando los motivos de las diferencias que se dan entre uno y otro tipo de material usado. Por lo cual el **Alcance** de esta Investigación fue **Explicativo**: se encontraron relaciones entre variables que nos permitan conocer porque y cómo se produce el fenómeno de resistencia al deslizamiento, considerando como variable inherente al fenómeno la edad de ejecución y los distintos tipos de materiales usados en las Demarcaciones Horizontales tipo Imágenes. Se describieron en esta Investigación las especificaciones de los distintos tipos de Material usados para las Demarcaciones Horizontales.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas de Uruguay, con su Departamento de Seguridad en el Tránsito exige que las Demarcaciones Horizontales sean con Materiales en Caliente Tipo Termoplástico o Preformado, por un tema de Durabilidad ya que se tiene una mayor Resistencia al Desgaste al tener un Espesor mayor que el Material en frío (en caliente el espesor es de 1500 μm promedio y en frío 400 μm promedio). La mayoría de las Demarcaciones tipo Imágenes son ejecutadas con Material Termoplástico por Extrusión (porque con el Material Termoplástico Tipo Spray se hace la demarcación lineal del pavimento) o Material en caliente Preformado. Solo con Material en frío se ejecutan Tareas de Mantenimiento de las mismas, repintado o reconstituyendo parte de la misma para prolongar su vida útil (ver Fig. 8). Por lo tanto, esta Investigación se centra en estos dos tipos de Materiales.



Figura 8- Ceda al Paso en la Rotonda de Ruta 3, imágenes extraídas por el Maestrando. Son Imágenes en el Pavimento que tienen 2 años de antigüedad y son ejecutadas sobre Pavimento de Hormigón. Se ejecutaron tareas de repintado sobre la Pintura Preformada inicial, repintándose en frío. Febrero del 2024.

Se tomó como Hipótesis de partida para esta Investigación que la colocación de la Demarcación Horizontal tipo Imágenes en el pavimento disminuye la Resistencia al Deslizamiento entre el neumático del vehículo y la superficie del pavimento que tiene dicha Demarcación Horizontal. En el Desarrollo de esta Investigación se analizó la misma y se valuó con parámetros de fricción que permitieron ver si se afecta la seguridad de los usuarios. También se vió cual es la relación entre dicha disminución y el material usado para señalar.

4.2. Objetivos Específicos.

- Determinar cómo incide el tipo de Material con el cual se ejecuta la Demarcación Horizontal tipo Imágenes con respecto al IFI.
- Sugerir cómo y dónde se deberá colocar Demarcación Horizontal tipo Imágenes para obtener la mayor seguridad respecto a la Resistencia al Deslizamiento.
- Determinar qué tipo de Material es el más apto para tener seguridad en la circulación o que modificaciones se pueden llegar a hacer sobre el mismo.
- Analizar si se puede mejorar la adherencia de una Demarcación Horizontal tipo Imágenes agregando algún Material Superficial o cambiando el tipo de Material o agregando algún componente.
- Determinar rangos de valores de IFI para la Demarcación Horizontal tipo Imágenes que aumente la seguridad a los usuarios, que no genere puntos débiles en la ruta.
- Revisar las Especificaciones Técnicas sobre Demarcaciones Horizontales de la Norma Uruguaya de Señalización y se compararán con respecto a otras

Normas a Nivel Mundial para la Resistencia al Deslizamiento.

- Investigar sobre los Valores/ Umbrales de IFI y/ o de los Coeficientes de Resistencia al Deslizamiento, exigidos en otros países en Demarcaciones/ Señalizaciones y se harán las comparaciones con las Especificaciones Técnicas de Uruguay.

5. Desarrollo

5.1. Justificación del Desarrollo de la Temática.

Uruguay es uno de los países de América Latina con mayor Tasa de Siniestralidad en Rutas Nacionales (la Tasa de Siniestralidad especifica la proporción de siniestros con lesionados cada 100000 habitantes vigente al 31 de diciembre del año 2023): 11,8 fallecidos en el 2023 por cada 100.000 habitantes. De la totalidad de personas que mueren por causas violentas en el país, el 27% es por siniestros de tránsito en Rutas Nacionales (Información obtenida del Cuarto Informe de Gestión Estadística de Seguridad Vial del Año 2023).

Si bien Uruguay se comprometió a partir del año 2011 a alcanzar la meta marcada por el Plan Mundial para el Decenio Acción para la Seguridad Vial (ONU), en la cual se establece que en el plazo de 10 años (año 2021 al año 2030) la cantidad de fallecidos por siniestros de tránsito en el año 2030 sea la mitad de los registrados en el año 2010, la tasa de siniestralidad sigue siendo alta.

Últimamente (abril 2024) se dio a conocer el Informe de Gestión Estadístico de Seguridad Vial del año 2023 (Referencia Bibliográfica 29), donde comparando el año 2022 al 2023, se ve una faja de fallecimientos del 2,21 (se pasó de 431 fallecidos en el año 2022 a 422 fallecidos en el año 2023).

Se debe tener en cuenta que de 20 a 29 años se registran el 27,3% de los fallecidos por siniestros de tránsito, por mes se registra un promedio de 35 personas fallecidas por accidente de tránsito en Uruguay.

También de dicho Informe señalado anteriormente se extrae que de la cantidad de fallecidos en todo el Territorio Nacional, el 55,5% o sea 234 se debe a siniestros de tránsito causados por la colisión entre vehículos y el 25,1% o sea 106 por Despistes. Los siniestros de tránsito representan no sólo una pérdida a nivel social de las personas involucradas, sino una gran pérdida económica para la Sociedad en su conjunto. Se puede observar que el Parámetro Fricción del Pavimento es un tema muy delicado a tener en cuenta por la cantidad de Despistes que ocurren.

Por todo lo expuesto anteriormente, es un compromiso de los Técnicos idóneos en Temas Viales, contribuir con su conocimiento a la sociedad, para tratar de revertir

esta cifra. Por lo cual toda Investigación que contribuya a la Seguridad del Usuario bienvenida sea.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas viene desarrollando una Política Pública en todo el país, para llegar a cumplir la meta marcada por el Plan Mundial para el Decenio Acción para la Seguridad Vial (ONU): Doble vía en Rutas Nacionales, Terceros Carriles en Rutas Nacionales, Cerramiento de Rotondas, Plan Nacional de Radares y Construcción de Pasos a Nivel.

Cualquier variable que incida en la Seguridad Vial así sea con una mínima participación, debe ser objeto detallado de estudio. En esta Investigación, la fricción o resistencia al deslizamiento está directamente relacionado con los siniestros de tránsito viales sobre todo en las peores condiciones climáticas en la ruta: la lluvia. Esta temática fue elegida porque significa una gran componente en el desarrollo de la Seguridad del Usuario que circula por una carretera. Las Demarcaciones Horizontales tipo imágenes sobre el Pavimento, ocupan un Área importante del mismo (del 2 al 8% de un Hectómetro de ruta, dependiendo del Tipo de Señal) y son relevantes, y también porque no existen Especificaciones de la Fricción sobre Demarcaciones Tipo Imágenes en los Documentos que manejan la Gestión del Mantenimiento Vial en Uruguay.

Existe un gran compromiso de las Autoridades del Ministerio de Transporte para apoyar a la Seguridad Vial en todos sus aspectos y es por ello que se encargó de estudiar a Ruta 3 en el tramo comprendido entre Ruta 1 y San José y el By Pass, luego de construida la Doble Vía. Esto fue a pedido del Grupo San José (Serviam S.A; CVC S.A; Interagrovial S.A) que fue el Constructor de las citadas rutas, ya que se llevará a cabo por 17 años más la Gestión de este Contrato de Mantenimiento de Ruta 3. Y además, porque siempre que se recurre a construir dobles vías, que obviamente quitan toda la accidentalidad por choques de frente por sobrepaso, pero suma siniestros de tránsito por aumento de velocidad por la confianza que este tipo de Obra causa en los usuarios. Este aumento de Velocidad lleva a aumento de Despistes, que se dan generalmente los días de lluvia.

De dicho estudio realizado por el Departamento de Seguridad en el Tránsito que se adjunta en el Anexo 15, se obtiene que:

Siniestralidad en Ruta 3 del 67k600 al 92k100.

Se presenta la evolución de siniestros de tránsito ocurridos en el tramo en estudio, de acuerdo con la gravedad de estos, para el período 1 de enero 2019 al 31 de diciembre del 2024 (cómo se muestra en el Gráfico 1).

Para ello esta Investigación se basó en los **Estudios de Circulación, División**

Seguridad en el Tránsito, DNV, MTOP. Informe de siniestralidad en ruta 3 entre progresivas 67k600 a 92k100 - Período 2019 a 2024, abril 2025 que se presentan en el Anexo 15 de esta Investigación.

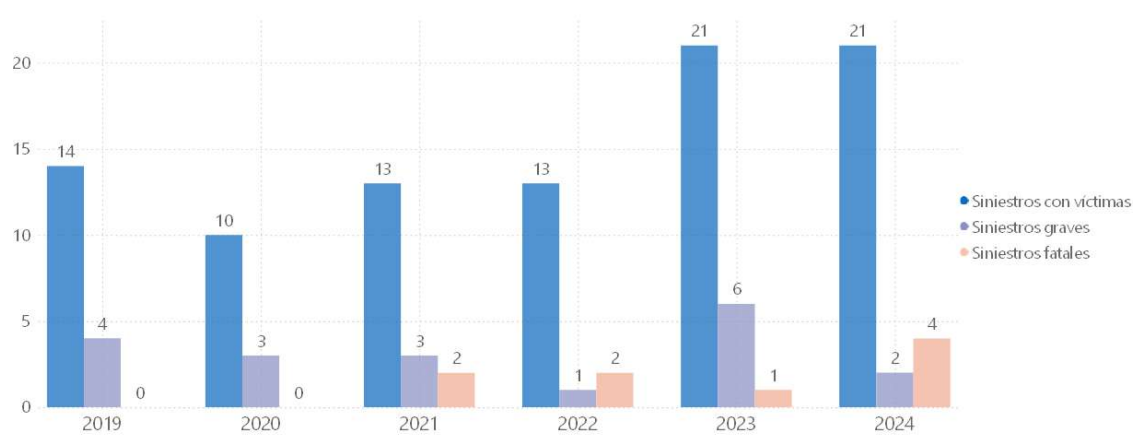
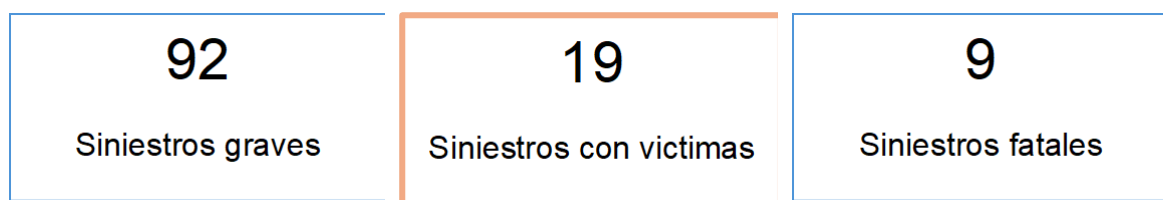


Gráfico 1: Evolución de siniestros según la gravedad de estos., Período: 01-01-2019 al 31-12-2024.



Para el período analizado, se registraron un total de 120 siniestros, de los cuales:

- 92 (76,6%) resultaron con víctimas leves
- 19 (15,8%) con víctimas graves
- 9 (7,5%) con víctimas fatales

Se muestra en el Gráfico 2 la Evolución de víctimas en siniestros de tránsito a lo largo del tiempo y en el Gráfico 3 la Tipología.



Gráfico 2: Evolución de víctimas en siniestros de tránsito en el tramo de estudio.

Sobre el total de las **118 víctimas involucradas**, el **27%** resultaron heridos graves o fallecidos.

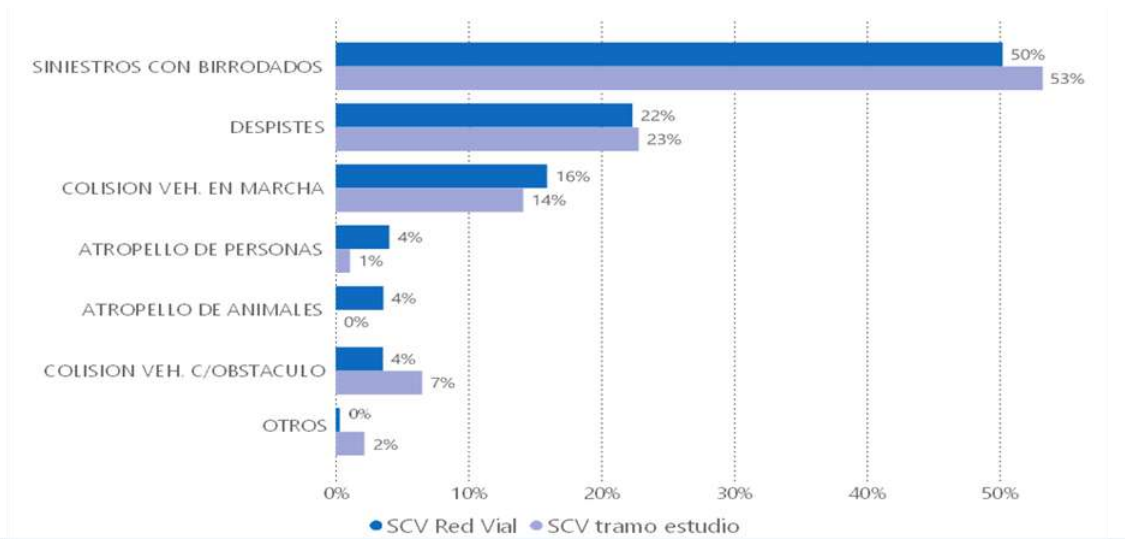


Gráfico 3: Distribución de siniestros de tránsito por tipología.

Se observa que en los Siniestros con Birrodados y en los Despistes la Tipología en la Red Vial de todo el Uruguay se repite prácticamente con los mismos valores en la Red Objeto de Estudio.

Las tipologías más recurrentes fueron:

- Siniestro con birrodados (53%)

- Despistes (23%)

En el estudio citado del Departamento de Seguridad en el Tránsito, se ve la evolución de siniestros en el tramo de acuerdo a su tipología, y se concluyó que en los siniestros de tránsito de despiste que son el objeto de esta Investigación, sobre ruta 3 del 67k600 al 92k100 hubo un total de 14 siniestros de tránsito entre el 2022 y el 2024, y 2 de ellos con víctimas fatales.

De las tipologías de siniestros presentadas, se realiza el análisis de cada una, discriminando en tres períodos:

- 1 enero 2019 – 31 enero 2021: período previo a comenzar las obras de duplicación de calzada
- 1 febrero 2021 – 14 diciembre 2022: período durante la ejecución de las obras
- 15 diciembre 2022 – 31 diciembre 2024: período posterior a finalizar las obras.

Se muestra en los Gráficos 4 y 5 la Evolución de los Siniestros en el tramo de acuerdo con su tipología y gravedad.

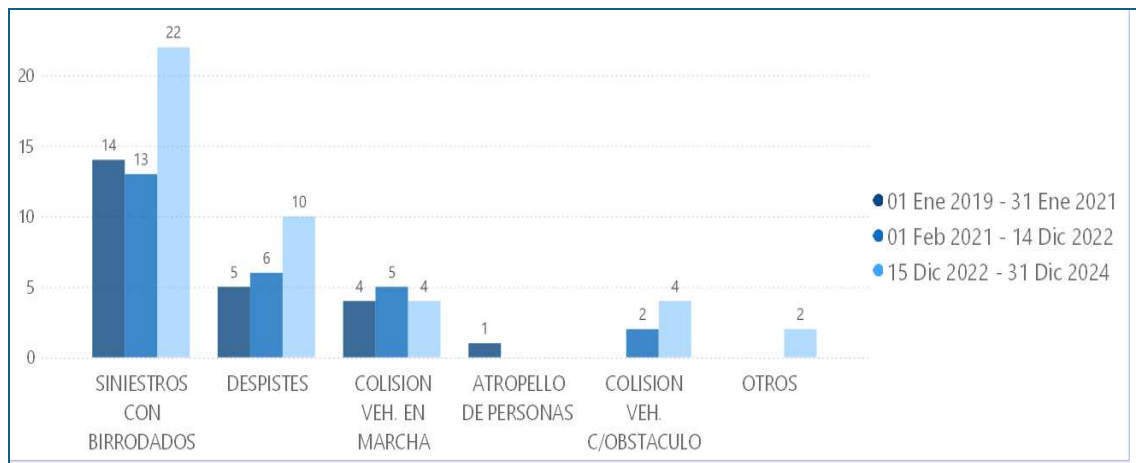


Gráfico 4: Evolución de siniestros en el tramo, de acuerdo con su tipología.

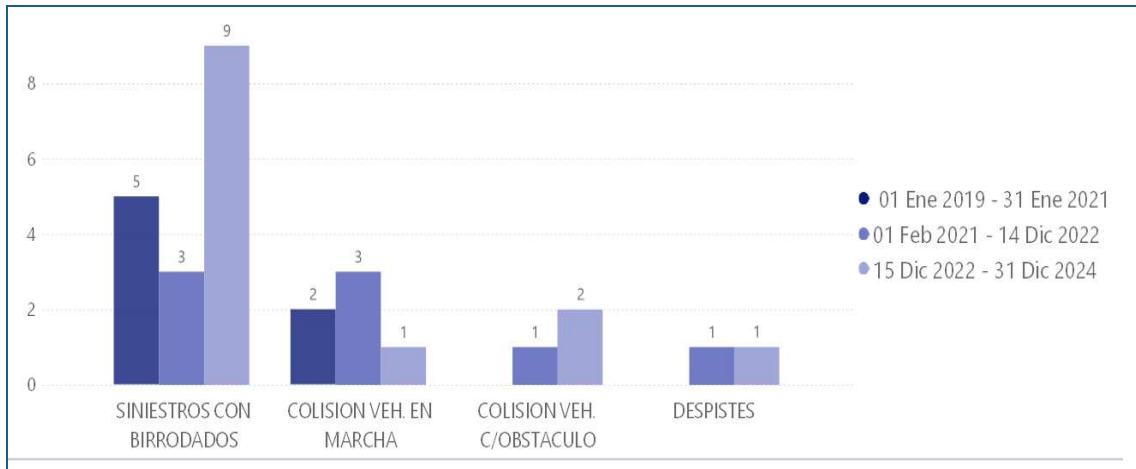


Gráfico 5: Evolución de siniestros graves y fatales en el tramo, de acuerdo con su tipología.

Se observa que tenemos 21 Despistes en el Período, que por más que sean graves solo 2, producen no solo inseguridad al usuario, sino daños materiales y psicológicos, y también trastornos al Contratista que se ocupa de Mantenimiento en la Vía.

Luego de finalizadas las obras se registra un aumento en los siniestros de tránsito con birrodados y despistes.

Igualmente se tiene un análisis de Evolución de Siniestros de Despiste, donde se analizan sus causas: ver Tabla 1.

Año	Fecha	Hora	Ruta	Progrsh	X(km)	Y(km)	Tipo	Subtipo	Consecuenci	Circunstancias concurrente	Grave
2019	14/1/2019	6:30:00	3	85	524388,97	6193911,32	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Desconocido	Leve
2019	9/5/2019	14:18:00	3	87	524962,3	6195847,99	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Imprudencia del conductor	Leve
2019	28/12/2019	12:30:00	3	89	525443,07	6197747,72	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Maniobra incorrecta	Leve
2020	20/5/2020	21:35:00	3	89	525443,07	6197747,72	DESPISTES	Salida a la Derecha		Hidroplaneación	Leve
2020	20/10/2020	7:10:00	3	75,5	522436,04	6184643,79	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Desconocido	Leve
2021	16/7/2021	0:10:00	3	87	524962,3	6195847,99	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Conductor dormido	Leve
2021	16/10/2021	15:45:00	3	75,8	522546,66	6184922,42	DESPISTES	Salida a la Izquierda	Con Vuelco	Conductor ebrio	Leve
2022	3/4/2022	2:59:00	3	72	521798,25	6181285,14	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Desconocido	Fatal
2022	19/4/2022	15:53:00	3	74	521879,25	6183249,67	DESPISTES	Salida a la Derecha		Falla mecánica	Leve
2022	7/7/2022	22:01:00	3	80	523189,04	6189062,87	DESPISTES	Salida a la Izquierda	Con Vuelco	Conductor ebrio	Leve
2022	14/8/2022	17:14:00	3	88	525249,91	6196810,81	DESPISTES	Salida a la Derecha		Conductor ebrio	Leve
2023	25/6/2023	18:55:00	3	90	526219,5706	6200321,999	DESPISTES	Salida a la Izquierda	Con Vuelco	Conductor ebrio	Leve
2023	10/11/2023	18:51:00	3	83	523997,34	6193101,28	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Colisión	Hidroplaneación	Leve
2024	1/1/2024	22:06:00	3	91	524944,64	6199683,83	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Colisión	Imprudencia del conductor	Leve
2024	16/1/2024	12:55:00	3	83	523832,84	6191995,87	DESPISTES	Salida a la Izquierda	Con Colisión	Desconocido	Fatal
2024	23/1/2024	14:59:00	3	69	522134,7	6178269,09	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Maniobra incorrecta	Leve
2024	1/2/2024	5:40:00	3	90	525262,52	6198575,76	DESPISTES	Salida a la Izquierda	Con Colisión	Maniobra incorrecta	Leve
2024	27/4/2024	15:47	3	90	525228,31	6198720,21	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Colisión	Animales sueltos	Leve
2024	27/6/2024	19:06:00	3	78	523013,87	6187069,44	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Colisión	Imprudencia del conductor	Leve
2024	18/8/2024	16:30:00	3	75	522250,93	6184179,91	DESPISTES	Salida a la Izquierda	Con Colisión	Imprudencia del conductor	Leve
2024	19/9/2024	19:03:00	3	90	525272,71	6198566,77	DESPISTES	Salida a la Derecha	Con Vuelco	Maniobra incorrecta	Leve

Tabla 1: Causa de Despistes entre 2019-2024.

Se observa que solo de los 21 despistes totales ocurridos se dan solo 2 por Hidroplaneo y 4 con causas desconocidas. Se recurrió al Instituto Nacional de Meteorología, y esos días en que se registraron los 4 siniestros de tránsito, hubo lluvias en el lugar. Todos los restantes son causados por Maniobras incorrectas o conductor alcoholizado o dormido. Por ello los Despistes, al ser una de las causas más importantes de accidentabilidad en ruta 3, deben ser investigados. Se muestra en la Tabla 2 los Incidentes de acuerdo con su gravedad sobre el By Pass.

Evento				
Año	Sin Lesionados	Leves	Graves	Fatales
2019	0	5	0	0
2020	0	1	0	0
2021	4	0	0	0
2022	4	1	1	0
2023	1	0	1	0
2024(*)	0	0	0	0
TOTAL	9	7	2	0

Tabla 2: Incidentes de tránsito de acuerdo con su gravedad sobre el By Pass.

(*)1ro enero al 31 de agosto.

Para el período analizado, se registraron un total de 9 siniestros con víctimas, de los cuales:

- 7 siniestros leves, con las siguientes tipologías:
- 5 despistes
- 2 caídas
- 2 siniestros graves, con las siguientes tipologías:
- 1 despiste
- 1 caída

O sea, del total de Eventos que son 18 siniestros hay uno Grave por Despiste y 5 leves por el mismo motivo, o sea el 30% de los siniestros son por despistes.

En este caso no se contó con Información de los motivos, pero se observa en el By Pass que el Número de Despistes es alto, por lo cual es muy importante estudiar la Fricción existente en la ruta.

5.2. Estado del Desarrollo de la Temática.

Si bien el tema adherencia neumático-calzada tiene amplia difusión en el mundo, en Uruguay a partir de algunos años atrás con los Contratos de Rehabilitación y Mantenimiento de Carreteras por intermedio de la Participación Privada (con sus nuevas exigencias de calidad a los usuarios y la incorporación de nuevos diseños de carpeta de rodamiento y de señalización horizontal) se ha tenido una mayor

consideración con este parámetro, aunque aún queda un camino a recorrer: se dan condiciones para Macrotextura en el tiempo pero no Fricción. Se cita a continuación a modo explicativo lo que dice la Norma Uruguaya de Señalización del año 1999 de Uruguay y su Adjunto del año 2001 (Referencia Bibliográfica 11 de la Bibliografía anexa). Se citan Especificaciones para la pintura de Pavimentos y con respecto a la resistencia al deslizamiento solo menciona que tenga características antiderrapante: “La pintura deber presentar características antiderrapantes”.

Y en los Contratos de Rehabilitación y Mantenimiento en la Red Vial (sólo en algunos), simplemente se menciona que las Demarcaciones Horizontales Lineales se tiene que usar Pintura antiderrapante, pero no se dan especificaciones técnicas ni cómo obtener estos valores.

La Norma Uruguaya de Señalización del año 1999 en su Adjunto: Especificaciones de Características de la Señalización Horizontal (Edición 2001), tiene condiciones de Recepción Provisoria para las Demarcaciones Viales Tipo 0,1 y 2 en la resistencia al deslizamiento, pero las mismas no son usadas ni fueron verificadas. A estos efectos se establecen tres clases de demarcaciones:

Clase 0: Marcas Viales No Reflectivas; Clase 1: Marcas Viales Reflectivas Normales y Clase 2: Marcas Viales Reflectivas de Carácter Superior.

Se puede inferir que las Demarcaciones Horizontales tipo Imágenes tienen las mismas exigencias de resistencia al deslizamiento que las Demarcaciones Horizontales lineales pues la clasificación de Demarcaciones solo depende de la posición de la misma respecto a la ruta:

Demarcaciones longitudinales: Dispuestas de manera paralela a la circulación de los vehículos; Demarcaciones transversales: Dispuestas de manera perpendicular a la circulación de los vehículos y Otras Demarcaciones: Otros tipos de líneas, escritas, flechas, cebreados, cruces de tren, espacios y otras. En su apartado 3.5 se enuncia:

• 3.5 Resistencia al Deslizamiento.

Se controlará en aquellos casos que así lo determine la Administración, exigiéndose en ese caso los valores mínimos establecidos en la siguiente tabla (ver Tabla 3), en función de la clase de marca.

Clase de marca	Valor Mínimo del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento
0	40

1	45
2	50

Tabla 3. Valor Mínimo de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento según Clase de marca, medido con Equipo Portable de Medición Péndulo del TRRL: Transport and Road Research Laboratory (Fuente: Adjunto de Especificaciones Características de la Señalización Horizontal-Segunda Edición 2001, Uruguay): Referencia Bibliográfica 11.

El control se realizará de acuerdo con el procedimiento establecido en la Road Note N° 27 del TRRL (Transport and Road Research Laboratory) -ver Fig.9.



Figura 9.- Medición con Péndulo Británico (Fuente: Intecpavsac: Inversión y Tecnologías de Pavimentos SAC- Empresa de San Martín de Porres-Lima Perú.Extraído “Ensayo de Coeficiente de Resistencia al deslizamiento en el Pavimento con Péndulo Inglés”).

La Road Note N°27: Instructions for using the portable Skid Resistance Tester, 2nd. Edition: Publication Year 1969, First Edition 1960: Referencia Bibliográfica 23.

- **Clase 0:** Marcas no reflectivas: Bajo Tránsito o aquellos casos en los que la visibilidad nocturna de las demarcaciones no depende de su reflectividad
- **Clase 1:** Marcas reflectivas normales: En las carreteras de la Red Nacional se usarán como Regla General las marcas clase 1.
- **Clase 2:** Marcas reflectivas de características superiores: Cuando por la importancia de la ruta o el alto volumen de tránsito sea conveniente que la demarcación presente unas características superiores la Administración (o sea el Departamento de Seguridad en el Tránsito del Ministerio de Transporte y Obras Públicas), especificará la utilización de la clase 2.

Lo correcto sería colocar en la Tabla 3, valores mínimos de Resistencia al Deslizamiento, porque los valores de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento serían esos valores divididos por 100. O sino colocar que son valores en Unidades del Ensayo del Péndulo Británico.

Se adjunta el Anexo 8 en esta Investigación, la Nota N° 27 del TRRL (Transport Research and Road Laboratory), que hoy es una nota obsoleta según la Norma Europea y es reemplazada por la Norma EN 13036-4: 2012- Anexo 21: de Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias con su Método

para la medición de la resistencia al deslizamiento/ derrape (Ensayo de Péndulo), que ha sido aprobada por el CEN (Comité Europeo de Normalización): Referencia Bibliográfica 24.

En esta Investigación se encontró que esta Road Note N° 27 aparece como obsoleto en la NBS (National Building Specification). La NBS junto con la BSI (British Standards Institution) es el Organismo Nacional de Normalización del Reino Unido, desempeñan roles complementarios en la estandarización y especificación de normas técnicas en el Reino Unido.

Por lo tanto, la Planilla de la Road Note N° 27 Table 4 sobre los “Suggested minimum values of “skid resistance” (measured with the portable tester) no se tendrá en cuenta. La Norma UNE-EN 13036-4 brinda el método de ensayo para la medición de la resistencia al deslizamiento/ derrape con Ensayo del Péndulo. Y define la Resistencia al deslizamiento/ derrape como una propiedad de una superficie sometida a tráfico que limita el movimiento relativo entre la huella de contacto del calzado del peatón o de un neumático de vehículo y la superficie. La fuerza de rozamiento (o fricción) es la fuerza que actúa de forma tangencial en el área de contacto. El valor del Ensayo del Péndulo (PTV) es la pérdida de energía que se produce cuando el conjunto del patín recubierto de caucho normalizado se desliza a lo largo de la superficie de ensayo y que proporciona un valor normalizado de la resistencia al deslizamiento/ derrape. **Se sugiere usar esta Norma para lograr una correcta medición** porque da un detalle del método de medición, las calibraciones que se deben hacer del equipo de medición, su manipulación, de todos los elementos necesarios para el ensayo, de las precauciones a tomar, del cálculo del PTV (como promedio de las 5 oscilaciones), las correcciones por Temperatura, especifica el tipo de Patín de Caucho a usar dando dos opciones y sus especificaciones, tipo de Informe del ensayo, como se validan las medidas efectuadas con el Equipo, cómo se detectan errores de medición y de calibración del equipo. **Si bien la Norma UNE EN 13036-4 y la Norma NLT-175/ 98 usan el mismo Péndulo de Fricción para la medición, el mismo Equipo y se mide de la misma forma, en el caso de la Norma UNE es más detallado el Método de Medición y de Calibración.** Además, la Norma NLT-175/98 se basa en documentos de consulta como la Road Research Laboratory, Road Note N° 27 que está obsoleta. A partir de las mediciones realizadas en lugares de siniestros de tránsito por deslizamiento y en otros lugares, se ha elaborado una Tabla (ver Tabla 4 Extraída del TRRL: Transport and Road Research Laboratory- Road Note N° 27-Second Edition: Instructions for using the portable skid resistance tester-1969) como guía para “los valores de resistencia al deslizamiento” necesarios en distintos diseños de carreteras y condiciones de tráfico.

Categoría	Tipo de sitio	Minimos valores de Resistencia al Deslizamiento- Superficie mojada
A	<p>Sitios dificultosos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> (i) Rotondas. (ii) Curvas con radio menor que 150 m en carreteras sin restricciones. (iii) Pendientes de 1 en 20 o más pronunciadas , de longitudes superiores a 100 (iv) Aproximaciones a lossemáforos en carreteras sin restricciones 	65
B	Autopistas, carreteras troncales y de clase 1 y carreteras con mucho tráfico en zonas urbanas (más de 2000 vehículos por día)	55
C	Todos otros sitios	45
<p>Note: Para las categorías A y B, los sitios donde la velocidad del tráfico es alta o sea en exceso de 95km/h un requerimiento adicional es una macrotextura mín de 0.65 mm.</p>		

Tabla 4.- Valores Mínimos Sugeridos de Resistencia al Deslizamiento medidos con un Equipo Portátil

En el caso de Uruguay como la Norma Uruguaya de Señalización es del año 2001 y estas consideraciones de resistencia al deslizamiento no son usadas, no ha sido aún reemplazada las Especificaciones por la nueva Norma Europea que es posterior del 2012. Por lo tanto, la Planilla de la Road Note N° 27 Table 4 sobre los “Suggested minimum values of “skid resistance” (measured with the portable tester) no se tendrá en cuenta.

También se publicó en Setiembre del 2022 en Uruguay la Serie 200 – Norma de Señalización Horizontal: 210: Requerimientos para la Ejecución de Demarcaciones en Pavimentos en Rutas Nacionales (Trabajo 32 de esta Bibliografía). Pero en ellos no se dan condiciones para la Resistencia al Deslizamiento, se dan condiciones para la Recepción Provisoria y Definitiva de 6 parámetros: Q_d : Coeficiente de luminancia con iluminación difusa; R_L : Coeficiente de Retrorreflexión y Coordenadas Cromáticas de las Marcas Viales Blancas y Amarillas, Color, Desgaste y Espesor.

La Norma Europea armonizada EN13036-4:2012 relativa a las propiedades de resistencia al deslizamiento ha sido aplicada para unificar los ensayos entre los diferentes países de Europa. La Norma UNE EN 13036-4:2012 en Resumen especifica el

método para la determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento o la fricción de superficies de pavimentos mediante el uso del Péndulo de Fricción, o British Pendulum Tester.

Esta Norma forma parte de una serie de especificaciones que se ocupan de las propiedades superficiales de los pavimentos en términos de su textura y resistencia al deslizamiento.

Finalmente, en Uruguay a la fecha, no hay Requerimientos Técnicos para la Fricción ya sea para la Recepción de Obra ni para el posterior Mantenimiento de pavimentos, si los hay para las Demarcaciones en su conjunto, pero no se aplican. Si hay condiciones de Recepción Provisoria en cuanto a la Macrotextura en los Contratos Cremaf (Contrato Rehabilitación y Mantenimiento y Financiamiento), para la Recepción Definitiva y Posterior Mantenimiento y en los Contratos de Participación Público Privada (PPP) como el de Ruta 3 y By Pass a la Ciudad de San José, se exige condiciones mínimas de Macrotextura para Recepción de Obra.

5.3. Definiciones a tener en cuenta, equipos de medición a usar, tipo de obtención de la Información, génesis de la Investigación.

La adherencia neumático-calzada se valora en forma indirecta a través de la medición de 2 indicadores de la superficie del pavimento: **Coefficiente de Fricción y Macrotextura.**

La **macro y microtextura** son los componentes claves necesarios para el desarrollo de las condiciones óptimas de resistencia al deslizamiento.

La textura del pavimento y su influencia en el coeficiente de fricción determina la buena o mala adherencia entre la rueda-neumático del vehículo y la superficie de rodamiento. El coeficiente de fricción depende del número de puntos de contacto entre el neumático y los pétreos del pavimento.

La fricción entre el pavimento y el neumático se basa en los mecanismos de histéresis y adhesión que se producen en el contacto neumático-pavimento. Los dos mecanismos dependen en gran medida del área de superficie de contacto entre el neumático y el pavimento, que a su vez dependen de varios factores, incluida la textura del pavimento, la contaminación de la superficie (por ejemplo, mojada, seca, polvorienta) y la rigidez del caucho del neumático.

Mientras que la adhesión se asocia con la **microtextura** del pavimento, la histéresis es consecuencia de la pérdida de energía a causa de la deformación del neumático, por lo que se relaciona con la **macrotextura**.

En términos cuantitativos, la **microtextura** es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda inferior a 0.5 milímetros en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.001 a 0.2 milímetros. Por su parte

la **Macrotextura** es la desviación de la superficie del pavimento medida sobre una longitud de onda en un intervalo comprendido entre los 0.5 milímetros y los 50 milímetros medidos en la horizontal, en tanto que en la vertical es del orden de 0.2 a 10 milímetros. (Kolher F, Salgado Torres, & Achurra Torres, 2009). Por lo tanto, la fricción será mayor si se presenta en la superficie de rodamiento agregados pétreos más angulosos o ásperos, o sea una Microtextura mayor. Asimismo, si la capacidad drenante de la Superficie es importante, o sea, una **Macrotextura** mayor, implica una salida de agua de la superficie de rodadura (reduce el hidro planeo) produciendo una fricción mayor.

La **Microtextura** es significativa a bajas velocidades y causa adhesión entre la rueda-neumático y la superficie de rodamiento, en cambio la **Macrotextura** es la responsable de la fricción y del hidro planeo. La **Macro- y Microtextura** afectan significativamente los valores de la fricción.

Para la evaluación de la **Microtextura** se usan múltiples técnicas, entre las cuales las más utilizadas son; el Péndulo Británico, Grip Tester y el SCRIM. Todas las Técnicas miden la Fricción (Combinación de la Macro y Micro Textura).

En esta Investigación la UDELAR realizó mediciones de Fricción y con ellos determinó el IFI, a los efectos de realizar la determinación primaria de la fricción en los kilómetros de ruta que presentan Demarcación Horizontal tipo Imágenes y Flechas direccionales. Luego para esta Investigación, se midió sobre determinados puntos de la carretera, usando el Péndulo Británico.

Para la evaluación de la **Macrotextura** se usan distintas técnicas: Se agrupan en técnicas volumétricas y perfilométricas.

A las técnicas volumétricas pertenece el Ensayo de Parche de Arena y otros similares, que usan microesferas de vidrio, en lugar de arena como en esta Investigación. Estos ensayos están basados en la determinación de un volumen asociado a un área y la respectiva altura.

Las técnicas perfilométricas son procedimientos basados en la determinación de la geometría del perfil o de la superficie. Entre estos figuran el CTmeter, el Laser Texture Scanner (LTS) y los perfilómetros laser de alta velocidad como ser a través de Equipos que midan el MPD: Mean Depth Profile.

En este Estudio de la UDELAR: (Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos) usó para la medición el Perfilómetro Láser que se basa en técnicas perfilométricas para la determinación de la Macrotextura en los kilómetros 70 y 72 de la ruta, a los efectos de determinar el IFI sobre la Demarcación Horizontal tipo Imágenes y en el Pavimento.

El Maestrando usó en esta Investigación el Ensayo del Parche de arena.

Se usó entonces el IFI para expresar las mediciones de adherencia comparable entre todos los equipos de medición y en esta investigación, sobre su variación en las Demarcaciones Horizontales sobre el Pavimento.

La elección de la Técnica / Instrumentos de Recolección de Datos es Sistemática y organizada porque resultaron mediciones de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, efectuadas en el mismo lugar en distintos momentos del Proyecto, con distintos equipos de medición.

Los Datos serán confiables y válidos pues se hacen las mediciones de acuerdo con las normas ASTM y NLT, con equipos calibrados y realizados por personal idóneo y Certificado en Normas de Calidad. Siendo los mismos equipos y personal que realiza mediciones en toda la Red Vial Nacional (UDELAR y Consultoras contratadas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas). En Resumen, los equipos usados son:

- Parche de Arena: Empresa Serviam S.A.
- Sensores de Perfilómetro Laser Crack Measurement System 2 (LCMS-2) para Macrotextura: Consultora CSI y Asociados y Facultad de Ingeniería - Departamento de Calidad de Pavimentos.
- Péndulo Británico (NLT-175/98): Empresa Bitafal S.A.
- Equipo Grip Tester para medición de Fricción Braked Wheel fixed slip (15%): Universidad de la República, Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos.

Además, la realidad sobre la ruta no cambió por las observaciones y mediciones que se realizaron, pues son no destructivas. La búsqueda está dirigida hacia datos medibles u observables, objetivos y estables.

Las Herramientas de Registro serán básicamente Notas de Campo y Fotografías, Planillas, Software de los Equipos de Medición. La del Maestrando será una Observación participante (en algunos casos observará y en otros registrará datos) y estructurada pues los aspectos a observar están claramente definidos, así como también las guías de observación.

En el caso de equipos dinámicos de Medición, las Técnicas de Procesamiento de Datos ya vienen estructuradas en los Protocolos de los Equipos: Determinados Software con Datos de Salida.

En el caso de uso de equipos manuales se elaborarán Planillas Excel con Datos de Campo que permitan cruzar la Información, graficar y determinar rangos.

Los Análisis de Datos se hicieron analizando los datos descriptivamente por variable y analizando e interpretando los resultados obtenidos y entrevistando al Personal idóneo de la Empresa Viamás S.A que ejecuta la Demarcación.

Esta investigación como se dijo en el Resumen tiene su génesis en una inquietud planteada por la División de Seguridad en el Tránsito del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), relacionada con los posibles riesgos que esta nueva técnica “Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado sobre pavimentos” pudiera representar para la seguridad de los usuarios que circulaban por Rutas Nacionales. Teniendo en cuenta que es un nuevo producto y no contaba con estudios previos, solo especificaciones del vendedor. Este Producto de nombre Thermomat se comenzó a desarrollar por la Empresa Viamás S.A, hace un poco más de 4 años. En particular, la variable que generaba preocupación entre las autoridades de seguridad vial era el coeficiente fricción que estas desarrollen para el contacto del neumático con dicha superficie y más aún en días de lluvia.

Es así que definido el objetivo primario de esta Investigación que apunta a estudiar este tipo de Demarcación, se tomaron muestras (Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico) de distintas ubicaciones y edades de construídas para obtener el banco de datos para realizar comparaciones, y también sobre el Pavimento Circundante a dichas Demarcaciones Tipo Imágenes. De esta forma se pudo observar si la aplicación de dicha Demarcación sobre la superficie del pavimento perjudica o mejora el rendimiento con respecto a la Seguridad de los usuarios que circulan sobre la misma. Y también verificar si dicha Demarcación en algún momento de su vida útil, representa algún riesgo en determinadas condiciones para los usuarios de la Red Vial.

Se pudo obtener este banco de datos amplio de Demarcaciones, porque esta Obra fue entregada por Tramos en distintos años.

La “Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado” es usada en zonas urbanas-suburbanas básicamente, pero también puede aparecer en Rotondas cuando se pintan los “Ceda al Paso” o en “Ruteros o Informaciones en otros lugares de la Ruta”.

Asimismo, se decidió también investigar sobre “Demarcación Tipo Imágenes con Material Termoplástico” porque observamos que en estas Zonas Urbanas-Suburbanas se complementa la Demarcación con “Flechas Direccionales” que ocupan un Área muy similar a las de la Demarcación con Material Preformado. Algunos Ceda el Paso que se observan en la ruta están realizados con esta técnica, por esto se decidió incluirlos en esta Investigación. También existe, pero en un número muchísimo menor (recién al finalizar esta Investigación la Empresa

Viamás S.A) incurrió en esto, alguna Demarcación sobre el Pavimento con Técnica Mixta: por ejemplo, en un Indicador de Velocidad, el cuerpo se hizo en Preformado y la “línea roja exterior” en Material Termoplástico.

Pero estas Demarcaciones con Técnica Mixta de Material Preformado una Parte y Material Termoplástico otra, no fueron incluidas en esta Investigación.

En esta Investigación se midió la Macrotextura superficial, con la norma NLT 335/00 Círculo de arena: Referencia Bibliográfica 21, y de forma indirecta la microtextura mediante las resistencias al deslizamiento medidas con el Péndulo Británico (NLT-175/98): Referencia Bibliográfica 22. Estos fueron los equipos que se encontraron disponibles para hacer las mediciones, considerando que debían ser usados por un tiempo prolongado y las Empresas que los cedieron los necesitan para su trabajo diario.

Previo a comenzar con las mediciones que conlleva esta Investigación, se recurrió como se mencionó anteriormente, al Organismo que en Uruguay que realiza Investigación sobre el Estado de los Pavimentos: el Laboratorio de Calidad de Pavimentos del Instituto de Estructuras y Transportes de la UDELAR. Estas mediciones realizadas por este Laboratorio fueron para esta Investigación un modo de corroboración entre lo que fue indicado por el Departamento de Seguridad del Tránsito del Ministerio de Transporte y Obras Públicas y el propio parecer de usuarios asiduos de las Rutas Nacionales de Uruguay.

Pareció fundamental, que alguien imparcial marcara externamente una medición para esta Investigación, teniendo en cuenta la experiencia del mismo en estos estudios contratados, la mayoría de las veces por Empresas Contratistas de Obras y Mantenimiento de Pavimentos del Uruguay.

En una primera instancia se recurrió al Equipo GripTester de la UDELAR (Universidad de la República Oriental del Uruguay: LCCP (Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos), a los efectos de determinar esa disminución de adherencia del neumático con el pavimento que presenta Demarcación Horizontal. Se solicitó medir del kilómetro 70 al 72 de RUTA 3, porque al ser un pasaje urbano se tenía la mayor concentración de señalización de distinto tipo: con Material Termoplástico y con Material Preformado Thermomat (6 imágenes Preformadas y 2 Imágenes Termoplásticas). Toda la Demarcación tanto horizontal como vertical de estos kilómetros, fue realizada junto con la calzada de mezcla asfáltica en diciembre del 2021 o sea tienen al momento de la medición 1 año y medio de antigüedad. Se darán las especificaciones técnicas de los distintos tipos de materiales usados y se analizará su relación con la fricción.

Se presenta el Estudio realizado por la UDELAR con Equipo Grip Tester, notándose el descenso de la adherencia al pasar con el equipo por encima de las Demarcaciones tipo Imágenes, con los distintos Tipos de Materiales.

Una vez obtenida todas las mediciones que formarán la columna vertebral de esta Investigación, analizaremos por IFI (Índice de fricción internacional) y por Coeficiente de Rozamiento y por Macrotextura los resultados obtenidos.

El lugar geográfico elegido para la investigación fue la ruta 3 en los siguientes tramos: ver Fig.10.

- Ruta 1: entre Km 67.600 y Km 92 .104 (Ruta 11)
- By pass de la ciudad de San José (km 0.000-km 8.400)

Se trabajó en esta investigación en la Demarcación Horizontal de dicho Proyecto ejecutada por la Empresa Viamás S.A (propiedad de Serviam S.A).

La obra consistió en la ejecución de una Doble Vía en Carpeta Asfáltica de 22 kilómetros de extensión, 3 kilómetros de Doble Vía en Pavimento de Hormigón (sobre la ruta 3 original de simple vía) y una Simple Vía en Carpeta Asfáltica llamado By Pass que va del kilómetro 87 de Ruta 3 hasta el 8K100 de la intersección del By Pass con Ruta 11 en San José.

El ámbito de estudio fue la propia Red Vial Nacional, en particular sobre Ruta 3 que es un Corredor Internacional de Uruguay (pavimento superior de mezcla asfáltica, TPDA actual de 5200 vehículos, una ruta 1 (otro Corredor Internacional) con la ciudad de San José (una de las capitales departamentales más importante del interior del país). Es un tramo de Ruta construida bajo la Gestión de Participación Público Privada (PPP) por Contrato entre Grupo San José (Serviam S.A; CVC S.A e Interagrovia S.A) y el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO). La muestra a tomar de estas carreteras será en aquellos kilómetros donde se concentra la mayor cantidad de Demarcación Horizontal Tipo Imágenes y aquellos lugares donde se tiene diferentes edades de construcción de Demarcación Horizontal Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico. Se debe tener en cuenta que el Pavimento de Ruta 3 y el By Pass fue ejecutado por la misma Empresa Constructora Consorcio Grupo San José (iguales materiales y especificaciones de diseño para todos los tramos) y la Demarcación Vertical y Horizontal por la Empresa Viamás S.A (con el mismo tipo de material, personal y elementos de demarcación para todos los tramos).

Se tuvo la Colaboración de:

- Facultad de Ingeniería con su Laboratorio de Calidad de Pavimentos del Instituto de Estructuras y Transporte de la Universidad de la República (Facultad de

Ingeniería).

- Departamento de Seguridad en el Tránsito del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- La Empresa Contratista que se encarga de la construcción y mantenimiento de Ruta 3: Consorcio Grupo San José.
- La Empresa Privada Bitafal S.A.
- La Empresa Viamás S.A.

Básicamente en la obra se realizó la duplicación de la calzada, de forma que resultaran dos carriles hacia el norte y otros dos carriles hacia el sur, separados por un cantero central. También incluyó sendas peatonales y / o calzadas de servicio en Villa María (km 71 al 72), Cañada Grande (km 77) y San José de Mayo (km 92) y el refuerzo y ensanche de una Obra de Arte Mayor y la construcción de una nueva. El diseño también incluyó señalización de alto estándar: Clase 1 (de acuerdo con la Norma de Señalización Uruguaya-diciembre 1999) con borde sonorizados exteriores en toda la extensión del tramo.

Salvo en los casos de vías con muy baja intensidad de tránsito todas las demarcaciones sobre el pavimento deberán ser claramente visibles durante la noche, para lo cual serán reflectivas.

En la Ruta 3 objeto de esta Investigación, según Reporte 110-Tránsito Promedio Anual por Tramo, el TPDA de la doble vía al año 2023 (último año procesado por el MTOP) es de 5200 vehículos. O sea, se corresponde con un tránsito medio en Rutas Nacionales de Uruguay, por eso la clasificación de Clase 1.

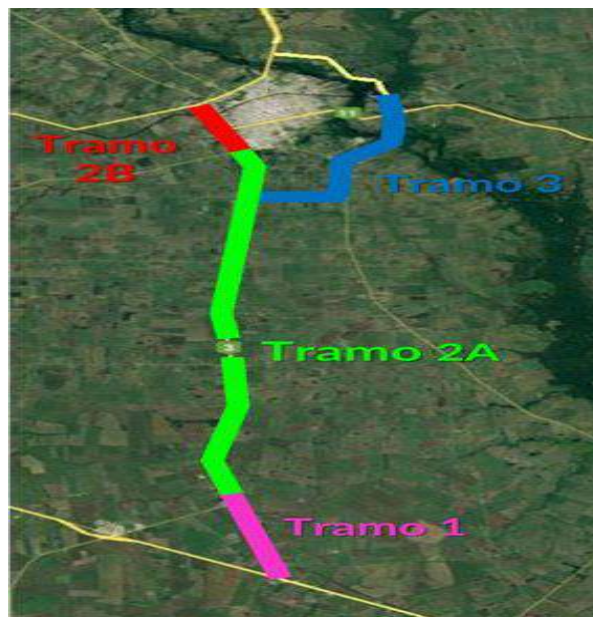


Fig.10: Tramos de Ruta 3 objeto de este estudio

Se detalla en los Adjuntos de esta Investigación las Especificaciones Técnicas extraídas de los Proveedores de los distintos Materiales usados en la Demarcación: Anexos 13,14,16,17,18,19,20,24,25,26.

Esta Investigación fue sobre la Demarcación Tipo Imágenes sobre Carpeta Asfáltica en Material Preformado y Termoplástico. Pues es donde comúnmente se ejecuta este tipo de Demarcación: la red Vial Uruguay que tiene 8833 kilómetros de longitud, de los cuales 4255 son en carpeta asfáltica y solo 512 en hormigón. El resto es de pavimentos de tratamientos bituminosos y granulares (Información del Instituto Nacional de Estadística 2023). **No se indagó sobre la Demarcación en la Zona de Hormigón** porque no se dispone de la base de datos suficientes para extraer una conclusión: el tipo de Demarcación con Material Preformado (Imágenes de Ceda el Paso) solo se colocó en una en las Rotondas de Hormigón del Contrato porque las demás se hicieron con Material Termoplástico y el otro Ceda al Paso Con Material Termoplástico, se ejecutó sobre Ruta 3 sobre Carpeta Asfáltica.

Sobre los 32 kilómetros del Contrato no se colocó Demarcación tipo Imágenes sobre el Pavimento de Hormigón.

Sobre el Pavimento de Hormigón se hizo Demarcación con Material Termoplástico, debido a una mayor durabilidad que usar el Material Tipo Acrílico o en Frío.

Además de esto se consideró que: sobre el Pavimento de Hormigón en las Rotondas, se entra a las mismas según la Normativa Uruguay a una velocidad de 30 km/ h. Si se considera que la entrada a la Rotonda es zona de frenado, donde el Coeficiente de Fricción debe ser mayor que en una zona sin frenado, se tiene una maniobra segura del usuario (ver curvas de Fricción de esta Investigación). O sea, a una velocidad muy baja que no tiene comparación con la velocidad de circulación de los usuarios en este Corredor Internacional, ni siquiera en las Zonas Urbanas- Suburbanas donde se colocan principalmente, se tiene una maniobra segura.

Por los argumentos que se expusieron anteriormente es que se investigó **sobre Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico colocadas sobre Carpeta Asfáltica.** Se quiere señalar que el Resultado de la colocación del “Ceda el Paso” con Material Preformado en Rotondas sobre Pavimento de Hormigón, no fue bueno según la Empresa Viamás S.A (obviamente las fuerzas de tracción sobre las imágenes desarrolladas principalmente por los camiones al frenar y doblar inciden en el deterioro) y a simple vista: el desgaste que sufrieron sobre su Superficie fue muy grande, arrancándose “sectores” de la imagen pintada. La Empresa Viamás S. A, se encuentra estudiando este tema para su mejora.

Si bien al colocar un imprimante para mejorar la adherencia entre el Pavimento de Hormigón y la Demarcación los resultados mejoraron, nunca se llega a mantener la Imagen sobre el Pavimento por tiempo prolongado como en carpeta asfáltica, sin sufrir un deterioro de algún sector muy importante. Por la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico, sólo nos referiremos a Flechas indicativas de Circulación de Carril, Corte de Cantero, etc.

Esta Obra según Contrato fue entregada por Tramos, y en el momento que se terminaba de hacer la Obra se pintaba. Por eso es cuando decimos Año 2024 por ejemplo de la Demarcación, se está diciendo que el Pavimento se hizo junto con la Señalización en el 2024 y así sucesivamente.

En la siguiente **Tabla 5** se detallan los tramos de estudio, con su fecha de liberación al tránsito y la superficie del pavimento en donde fue aplicada la Demarcación, dato sobre el cual se hará énfasis en este estudio para determinar el ciclo de vida de dichas imágenes.

IDENTIFICACION DETRAMO	UBICACIÓN	FECHAENTREGA	PAVIMENTO
1	67.600-72.000	Dic-21	carpeta asfáltica
2A	72.000-89.600	Dic-22	carpeta asfáltica
2B	89.600-92.104	Dic-21	hormigón
3	0-8.100	Dic-23	carpeta asfáltica
Ampliación	70-72	May-24	carpeta asfáltica

Tabla 5: Definiciones de Tramos de Obra del CC7: Ruta 3 y By Pass.

5.4. Cronología de la investigación.

5.4.1. Medición de la UDELAR.

El Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos de la Facultad de Ingeniería hizo una medición usando el Equipo de Medición Dinámico Grip Tester (Figs.11 y 12), en un tramo de ruta 3 que presentara la mayor cantidad de Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico, para poder comparar con los Sectores de la carretera que no la tenían.

Esta medición (que se adjunta en el Anexo 1) fue realizada por el Laboratorio de Calidad de Pavimentos de la Udelar, en junio del 2023 y entregada en setiembre del 2023.

Corresponde aclarar que no hay en Uruguay un estudio de este tipo comparando entre Demarcaciones Horizontales y Pavimentos circundantes y no se encontró en la Bibliografía a nivel internacional un estudio como este.

Las características del Equipo usado Grip Tester son las presentadas en la Tabla 6:

(esto es solo a modo referencial, pero en el Anexo 10 se adjuntan las Fichas Técnicas y Calibraciones de los 2 Equipos usados por la Facultad de Ingeniería):

Dimensiones	1010 mm: largo 790 mm: ancho 510 mm: altura
Peso	85 – 90 kg
Sistema de medición	Braked wheel, fixed slip (15%)
Medición de fuerza de arrastre (Drag) y carga vertical (Load)	Medidas directamente
Rango de espesores de película de agua	0.05 a 1.0 mm
Intervalos de medición	5, 10, 20, 50 m
Valor de fricción desplegado	Gripnumber (GN) 0.00 a 1.20
Rango permisible de velocidades	5 km/h hasta 130 km/h ICAO recomienda 65 y 95 km/h para pistas de aeropuerto. En carreteras la velocidad usual es de 50 km/h para zonas de alta velocidad y 20 km/h para zonas de baja velocidad.
Condiciones de superficie	ICAO recomienda espesor de película de agua de 1 mm. El requerimiento estándar para carreteras es de 0.25 mm de espesor.
Tipo de llanta de medición	Conforme a la norma ASTM E1844
Expectativa de vida de la llanta de medición	Entre 700 y 1000 km dependiendo de la textura de la superficie.
Expectativa de vida del equipo	Al menos 20 años.

Tabla 6: Características del Grip Tester- rueda lisa



Figura11: Imagen del Equipo Grip Tester (Facultad de Ingeniería)



Figura12: Imagen del Equipo Grip Tester (Facultad de Ingeniería)

El Laboratorio de Calidad de Pavimentos de la Facultad de Ingeniería midió del km 72 al km 70 de ruta 3 del lado a menos (se indica en la **Tabla 7** la Señalización encontrada), haciendo una pasada con su Equipo Grip Tester y también hizo varias pasadas con su Equipo Perfilómetro Láser, a los efectos de la medición de Macrotextura del tramo. Las mediciones se realizaron sobre el Pavimento y sobre las Demarcaciones Horizontales tipo Imagen: cada vez que el Operador encontraba una Demarcación lo anotaba a los efectos de poder identificar los sectores de ruta donde se encontraban las mismas. En este tramo de Ruta se tiene Material Preformado indicando Escuela, Radares, Velocidad a 45km/h porque es una zona Urbana: Villa María. Se presenta en el Anexo 23 la Calibración realizada por la Facultad de Ingeniería, a la rueda principal del Equipo Grip Tester. Se solicitó que fuera allí porque era el lugar de la ruta donde se tenía mayor concentración de Demarcación tipo Imágenes, por ser una zona urbana.

Se muestran en la Tabla 8 la Planilla de mediciones, en la Tabla 9 el cálculo del $F(s)$ para distintas velocidades y el Gráfico 6 Fricción versus Velocidad de Deslizamiento. Se encontró con Demarcación **Tipo Imágenes con Material Preformado, que databan de fines del año 2021** cuando fue entregado este tramo de ruta (referenciado en los tramos como 1). Por lo tanto, **cuando la UDELAR realizó las mediciones se estaba a un año y medio de ejecutadas las Señalizaciones (ejecutada en diciembre del 2021 y medido por la Udelar en junio del 2023- 1 año y 6 meses)**. El resultado arrojado de dicha medición dio una disminución del Grip number (GN) en un promedio del 45 al 50%, si se compara dicho número entre sectores que solo tienen la superficie del pavimento y sectores que tienen la Demarcación Tipo Imágenes de Material Preformado y Termoplástico ejecutado: **Tabla 7.**

Por lo cual se puede inferir que, sobre la Demarcación Tipo Imágenes con Material

Preformado y Termoplástico, hay una disminución de la Fricción comparada con la Superficie del Pavimento. Fue marcado por el Operador del Equipo las zonas donde se encontraba la Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico a medida que se iba midiendo. Se adjunta en los Anexos las Planillas Excel obtenidas de dicha medición.

Progresiva	Tipode Señalización
70.070-70.072	Preformado
70.800-70.810	Preformado
70.935-70.937	Termoplástico
71.100-71.105	Termoplástico
71.400-71.408	Preformado
71.480-71.490	Preformado
71.570-71.575	Preformado
71.610-71.630	Preformado

Tabla 7: Ubicación de la Señalización entre el km 70 y km 72

ID	PROGRESIVA	PROGRESIVA (m)	GNaverage	PROM GN	GN Pintura	Speed	PROM Vel	AWSFlowRate	EMmap	GPS	runDuration	Tx (Macro tex. en mm)	Sp	S (Vel desl)	FR60	F(60)	IFI
2001	70600	70000	0.645			49.5	10.8	0.777777	140.0586	1.093	112.28	7.18	0.4029	0.4487			(0.45-112.28)
2002	70601	70001	0.640			50.0	10.8	0.777777	139.9961	1.093	112.28	7.25	0.4001	0.4461			(0.45-112.28)
1999	70602	70002	0.640			49.5	10.8	0.777777	139.9961	1.093	112.28	7.18	0.3998	0.4458			(0.45-112.28)
1998	70603	70003	0.647			50.0	10.7	0.777777	139.8516	1.093	112.28	7.25	0.4042	0.4499			(0.45-112.28)
1997	70604	70004	0.640			50.0	10.5	0.777777	139.7734	1.093	112.28	7.25	0.4001	0.4461			(0.45-112.28)
1996	70605	70005	0.640			50.0	10.5	0.777777	139.707	1.093	112.28	7.25	0.4001	0.4461			(0.45-112.28)
1995	70606	70006	0.640			50.0	10.5	0.777777	139.6409	1.093	112.28	7.25	0.4001	0.4461			(0.45-112.28)
1994	70607	70007	0.640			50.0	10.5	0.777777	139.5625	1.093	112.28	7.25	0.4001	0.4461			(0.45-112.28)
1993	70608	70008	0.645			50.0	10.5	0.777777	139.4844	1.093	112.28	7.25	0.4032	0.4489			(0.45-112.28)
1992	70609	70009	0.657			50.0	10.5	0.777777	139.418	1.093	112.28	7.25	0.4035	0.4555			(0.45-112.28)
1991	70610	70010	0.645			50.0	10.5	0.777777	139.3498	1.093	112.28	7.25	0.4033	0.4498			(0.45-112.28)
1990	70611	70011	0.630			50.3	10.7	0.777777	139.2773	1.093	112.28	7.29	0.3940	0.4405			(0.44-112.28)
1989	70612	70012	0.630			50.0	10.7	0.777777	139.1953	1.093	112.28	7.25	0.3938	0.4404			(0.44-112.28)
1988	70613	70013	0.630			50.7	10.7	0.777777	139.1484	1.093	112.28	7.35	0.3942	0.4407			(0.44-112.28)
1987	70614	70014	0.630			49.5	10.7	0.777777	139.0598	1.093	112.28	7.33	0.3941	0.4406			(0.44-112.28)
1986	70615	70015	0.650			51.0	10.7	0.777777	139.0039	1.093	112.28	7.40	0.4068	0.4532			(0.45-112.28)
1985	70616	70016	0.650			51.0	10.7	0.777777	138.9219	1.093	112.28	7.40	0.4068	0.4532			(0.45-112.28)
1984	70617	70017	0.627			51.0	10.7	0.777777	138.8594	1.093	112.28	7.40	0.3922	0.4389			(0.44-112.28)
1983	70618	70018	0.645			51.0	10.8	0.777777	138.7813	1.093	112.28	7.40	0.4037	0.4494			(0.45-112.28)
1982	70619	70019	0.627			51.0	11.1	0.777777	138.7148	1.093	112.28	7.40	0.4110	0.4550			(0.46-112.28)
1981	70620	70020	0.635			51.0	11.1	0.777777	138.6307	1.093	112.28	7.40	0.3975	0.4437			(0.44-112.28)
1980	70621	70021	0.640			51.0	11.1	0.777777	138.5742	1.093	112.28	7.40	0.4006	0.4465			(0.45-112.28)
1979	70622	70022	0.655			51.0	11.1	0.777777	138.4952	1.093	112.28	7.40	0.4010	0.4551			(0.46-112.28)
1978	70623	70023	0.645			51.0	11.1	0.777777	138.4414	1.093	112.28	7.40	0.4037	0.4484			(0.45-112.28)
1977	70624	70024	0.640			51.0	11.1	0.777777	138.3747	1.093	112.28	7.40	0.4006	0.4465			(0.45-112.28)
1976	70625	70025	0.650			51.0	11.1	0.777777	138.3008	1.093	112.28	7.40	0.4068	0.4522			(0.45-112.28)
1975	70626	70026	0.645			51.0	11.1	0.777777	138.2499	1.093	112.28	7.40	0.4037	0.4494			(0.45-112.28)
1974	70627	70027	0.637			51.0	11.1	0.777777	138.1561	1.093	112.28	7.40	0.3987	0.4448			(0.44-112.28)
1973	70628	70028	0.645			51.0	11.1	0.777777	138.0781	1.093	112.28	7.54	0.4042	0.4499			(0.45-112.28)
1972	70629	70029	0.647			51.7	11.1	0.777777	138.0273	1.093	112.28	7.50	0.4051	0.4507			(0.45-112.28)
1971	70630	70030	0.635			51.0	11.1	0.777777	137.9492	1.093	112.28	7.54	0.3980	0.4442			(0.44-112.28)
1970	70631	70031	0.630			51.0	11.1	0.777777	137.8749	1.093	112.28	7.54	0.3948	0.4413			(0.44-112.28)
1969	70632	70032	0.640			51.0	11.1	0.777777	137.8047	1.093	112.28	7.54	0.4011	0.4470			(0.45-112.28)
1968	70633	70033	0.650			51.0	11.1	0.777777	137.7578	1.093	112.28	7.54	0.4074	0.4527			(0.45-112.28)
1967	70634	70034	0.640			51.0	11.1	0.777777	137.6802	1.093	112.28	7.54	0.4011	0.4470			(0.45-112.28)
1966	70635	70035	0.630			51.0	11.1	0.777777	137.6131	1.093	112.28	7.54	0.3948	0.4413			(0.44-112.28)
1965	70636	70036	0.620			51.0	11.1	0.777777	137.5508	1.093	112.28	7.54	0.3886	0.4356			(0.44-112.28)
1964	70637	70037	0.610			51.0	11.1	0.777777	137.4688	1.093	112.28	7.54	0.3823	0.4299			(0.43-112.28)
1963	70638	70038	0.610			51.0	11.1	0.777777	137.3867	1.093	112.28	7.54	0.3813	0.4299			(0.43-112.28)
1962	70639	70039	0.610			51.0	11.1	0.777777	137.3131	1.093	112.28	7.54	0.3829	0.4299			(0.43-112.28)
1961	70640	70040	0.615			51.0	11.1	0.777777	137.2578	1.093	112.28	7.54	0.3854	0.4328			(0.43-112.28)
1960	70641	70041	0.627			51.0	11.0	0.777777	137.1953	1.093	112.28	7.54	0.3928	0.4384			(0.44-112.28)
1959	70642	70042	0.620			51.0	10.8	0.777777	137.1172	1.093	112.28	7.54	0.3886	0.4356			(0.44-112.28)
1958	70643	70043	0.620			51.0	10.8	0.777777	137.0654	1.093	112.28	7.54	0.3948	0.4413			(0.44-112.28)
1957	70644	70044	0.635			51.0	10.8	0.777777	136.9883	1.093	112.28	7.54	0.3980	0.4442			(0.44-112.28)
1956	70645	70045	0.647			51.0	10.8	0.777777	136.9219	1.093	112.28	7.54	0.4053	0.4508			(0.45-112.28)
1955	70646	70046	0.635			51.0	10.8	0.777777	136.8438	1.093	112.28	7.54	0.3980	0.4442			(0.44-112.28)
1954	70647	70047	0.620			51.0	10.8	0.777777	136.782	1.093	112.28	7.54	0.3970	0.4435			(0.44-112.28)
1953	70648	70048	0.645			51.0	11.2	0.777777	136.6992	1.093	112.28	7.54	0.4042	0.4499			(0.45-112.28)
1952	70649	70049	0.650			51.0	11.2	0.777777	136.6523	1.093	112.28	7.54	0.4074	0.4527			(0.45-112.28)
1951	70650	70050	0.640			51.0	11.2	0.777777	136.5742	1.093	112.28	7.54	0.4011	0.4470			(0.45-112.28)
1950	70651	70051	0.620			51.0	11.2	0.777777	136.5234	1.093	112.28	7.54	0.3969	0.4423			(0.44-112.28)
1949	70652	70052	0.645			51.0	11.2	0.777777	136.4727	1.093	112.28	7.54	0.4042	0.4499			(0.45-112.28)
1948	70653	70053	0.640			51.0	11.2	0.777777	136.3789	1.093	112.28	7.54	0.4011	0.4470			(0.45-112.28)
1947	70654	70054	0.630			51.0	11.2	0.777777	136.3008	1.093	112.28	7.54	0.3948	0.4413			(0.44-112.28)
1946	70655	70055	0.637			51.0	11.1	0.777777	136.2383	1.093	112.28	7.54	0.3960	0.4451			(0.45-112.28)
1945	70656	70056	0.645			51.0	10.8	0.777777	136.1563	1.093	112.28	7.54	0.4042	0.4499			(0.45-112.28)
1944	70657	70057	0.637			51.0	10.8	0.777777	136.1172	1.093	112.28	7.54	0.3990	0.4451			(0.45-112.28)
1943	70658	70058	0.630			51.0	10.8	0.777777	136.0773	1.093	112.28	7.54	0.3948	0.4413			(0.44-112.28)
1942	70659	70059	0.645			51.0	10.8	0.777777	136.0402	1.093	112.28	7.54	0.4042	0.4499			(0.45-112.28)
1941	70660	70060	0.640			51.0	10.8	0.777777	135.9828	1.093	112.28	7.54	0.4011	0.4470			(0.45-112.28)
1940	70661	70061	0.625			51.0	10.8	0.777777	135.9047	1.093	112.28	7.54	0.3917	0.4385			(0.44-112.28)
1939	70662	70062	0.627			51.0	11.1	0.777777	135.7939	1.093	112.28	7.54	0.3928	0.4394			(0.44-112.28)
1938	70663	70063	0.630			51.0	11.1	0.777777	135.6982	1.093	112.28	7.54	0.4074	0.4527			(0.45-112.28)
1937	70664	70064	0.640			51.0	11.1	0.777777	135.6133	1.093	112.28	7.54	0.4011	0.4470			(0.45-112.28)
1936	70665	70065	0.635			51.0	11.1	0.777777	135.5313	1.093	112.28	7.54	0.3980	0.4442			(0.44-112.28)
1935	70666	70066	0.650			51.0	11.1	0.777777	135.4688	1.093	112.28	7.54	0.4074	0.4527			(0.45-112.28)
1934	70667	70067	0.645			51.0	11.										

Esta es Parte de la Planilla de 2535 filas que se extrae del Software del Grip Tester, madre de todos los cálculos.

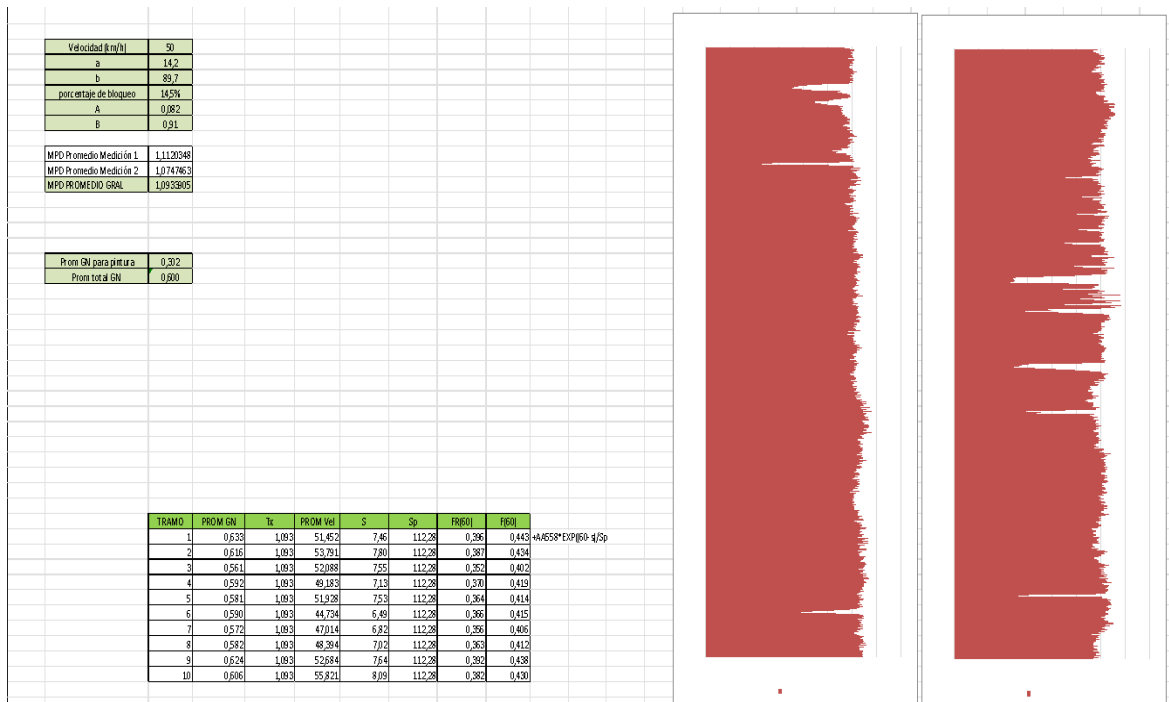


Tabla 8.- Planilla de mediciones- Grip Tester Udelar, donde se da el GN de la zona sin Señalización y el GN de la zona con Señalización. A la derecha superior se presentan los dos diagramas obtenidos del GN (izquierdo corresponde a la medición del km 70 al km 71; derecho corresponde a la medición del km 71 al 72). Las hendiduras mayores correspondientes a un GN menor se corresponden con la Tabla 7 de la Señalización presente en ese momento en el tramo.

Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3		Tramo 4		Tramo 5		Tramo 6		Tramo 7		Tramo 8		Tramo 9		Tramo 10	
V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)	V(km/h)	F(S)
150	0,199	150	0,195	150	0,180	150	0,188	150	0,186	150	0,186	150	0,182	150	0,185	150	0,197	150	0,193
140	0,217	140	0,213	140	0,197	140	0,205	140	0,203	140	0,204	140	0,199	140	0,202	140	0,215	140	0,211
130	0,237	130	0,233	130	0,215	130	0,224	130	0,222	130	0,223	130	0,218	130	0,221	130	0,235	130	0,230
120	0,259	120	0,254	120	0,236	120	0,245	120	0,242	120	0,243	120	0,238	120	0,242	120	0,257	120	0,252
110	0,284	110	0,278	110	0,258	110	0,268	110	0,265	110	0,266	110	0,260	110	0,264	110	0,281	110	0,275
100	0,310	100	0,304	100	0,281	100	0,293	100	0,290	100	0,291	100	0,284	100	0,289	100	0,307	100	0,301
90	0,339	90	0,332	90	0,308	90	0,320	90	0,317	90	0,318	90	0,311	90	0,316	90	0,336	90	0,329
80	0,370	80	0,363	80	0,336	80	0,350	80	0,346	80	0,347	80	0,340	80	0,345	80	0,367	80	0,359
70	0,405	70	0,397	70	0,368	70	0,383	70	0,378	70	0,380	70	0,372	70	0,377	70	0,401	70	0,393
60	0,443	60	0,434	60	0,402	60	0,419	60	0,414	60	0,415	60	0,406	60	0,412	60	0,438	60	0,430
50	0,484	50	0,474	50	0,439	50	0,458	50	0,452	50	0,454	50	0,444	50	0,451	50	0,479	50	0,470
40	0,529	40	0,519	40	0,480	40	0,500	40	0,494	40	0,496	40	0,485	40	0,493	40	0,524	40	0,513
30	0,578	30	0,567	30	0,525	30	0,547	30	0,540	30	0,542	30	0,531	30	0,539	30	0,573	30	0,561
20	0,632	20	0,620	20	0,574	20	0,598	20	0,590	20	0,593	20	0,580	20	0,589	20	0,626	20	0,613
10	0,691	10	0,677	10	0,627	10	0,653	10	0,645	10	0,648	10	0,634	10	0,644	10	0,684	10	0,671
0	0,755	0	0,740	0	0,686	0	0,714	0	0,706	0	0,708	0	0,693	0	0,704	0	0,748	0	0,733

Tabla 9.- Calculo de F(s) para distintas velocidades- Grip Tester Udelar y para cada tramo homogéneo.

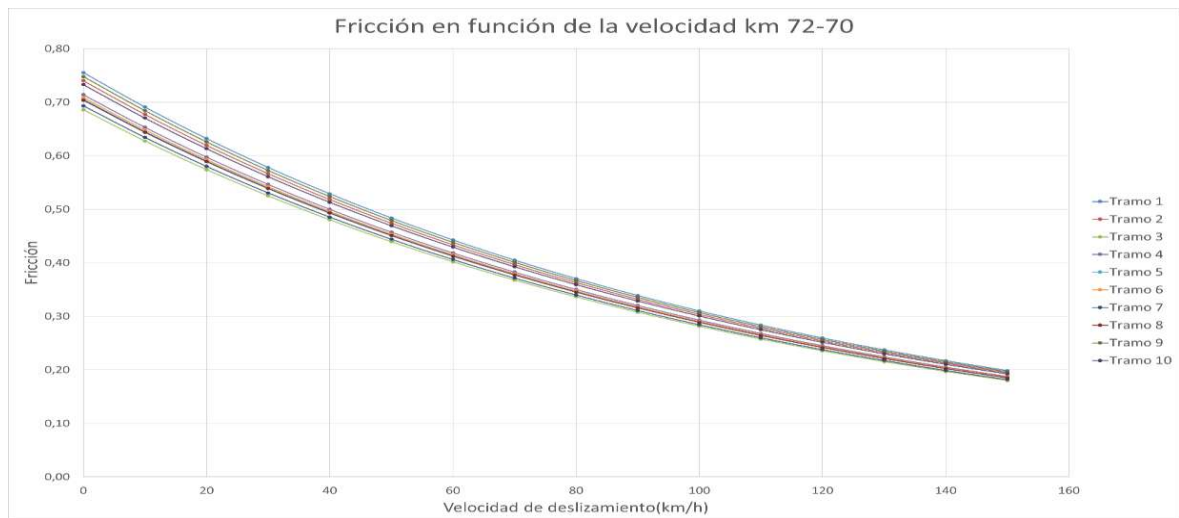
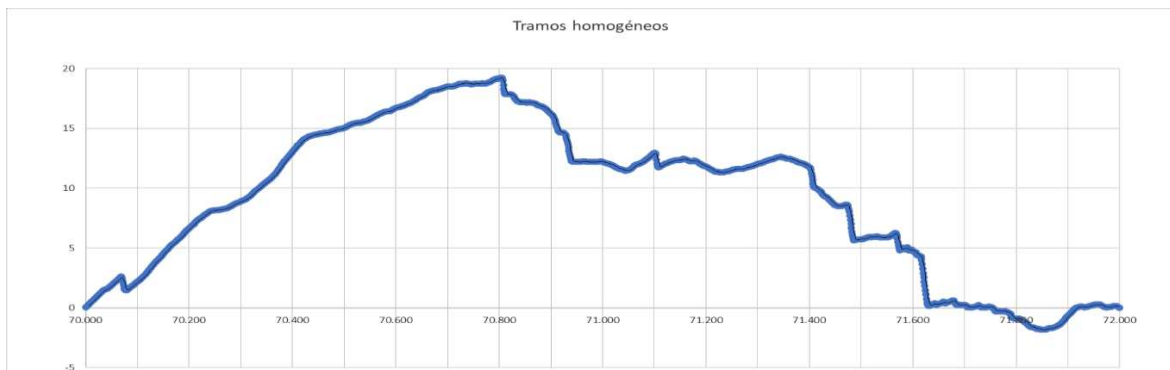


Gráfico 6: Fricción Versus Velocidad de deslizamiento

Se observa casi el mismo comportamiento para los distintos tramos homogéneos de la ruta (se muestra en el Gráfico 7 la definición de los mismos y en la Tabla 11 el Mapa de fricción).

Prom GN para Material Pref./Term.	0,302
Prom total GN	0,600
Prom total Pav.	0,607

Tabla 10. Valores de GN medidos por Udelar



Definición de tramos										
Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Prog final	70400	70800	70930	71350	71500	71600	71800	71850	71900	72000

Gráfico 7: Definición de Tramos Homogéneos

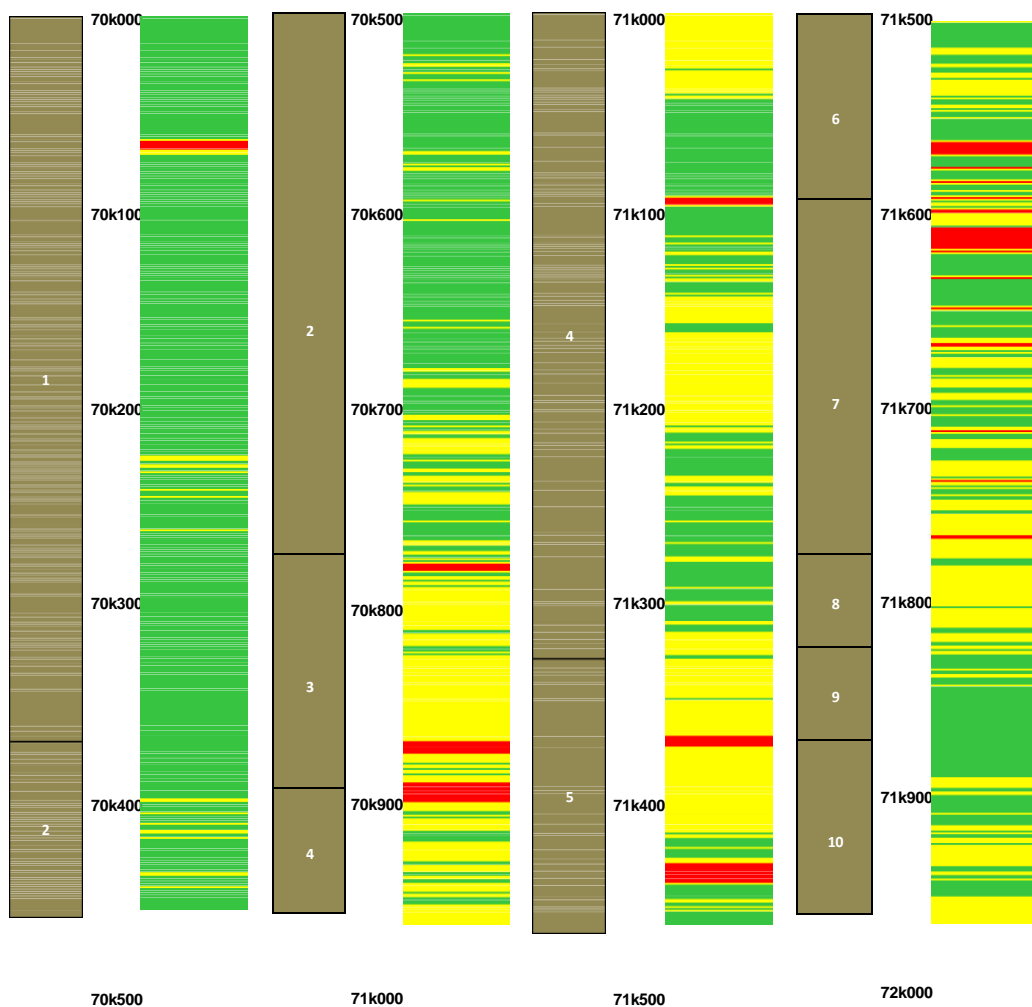


Tabla 11.- Mapa de Fricción para los Distintos Tramos Homogéneos definidos, el color rojo indica los valores bajos de Fricción.

Se presenta en la **Tabla 12** los valores de Macrotextura (MPD) obtenidos con el Perfilómetro Láser y en los **Gráficos 8 y 9** el valor de GN medio y su distribución.

Valores estadísticos					
	Media	1,075			
	Mediana	1,062			
	Desv	0,100			
	Moda	1,130			
	COV	9,3%			

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
MPD	1,18	1,09	1,01	0,97	1,07

Tabla 12.- Medición de Macrotextura con Perfilómetro Láser (MPD)

Se adjunta en el Anexo 2- Tramos Homogéneos la Metodología usada por el Departamento de Calidad de Pavimentos, al hacer esta Medición: “Instructivo de Tramos homogéneos y estadística” y “Definición de Tramos Homogéneos”. La definición de Tramos Homogéneos sale de la aplicación del Método AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Official) en los cuales se determinaron las” pendientes” que nos indican los mismos (donde hay un cambio de pendiente hay un fin de tramo homogéneo).

Valores estadísticos	
Media	0,600
Mediana	0,610
Desv	0,056
Moda	0,610
COV	9,4%

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6	Tramo 7	Tramo 8	Tramo 9	Tramo 10
Prom GN	0,633	0,616	0,561	0,597	0,555	0,590	0,572	0,582	0,624	0,607

Gráfico 8: Definición de GN medio.

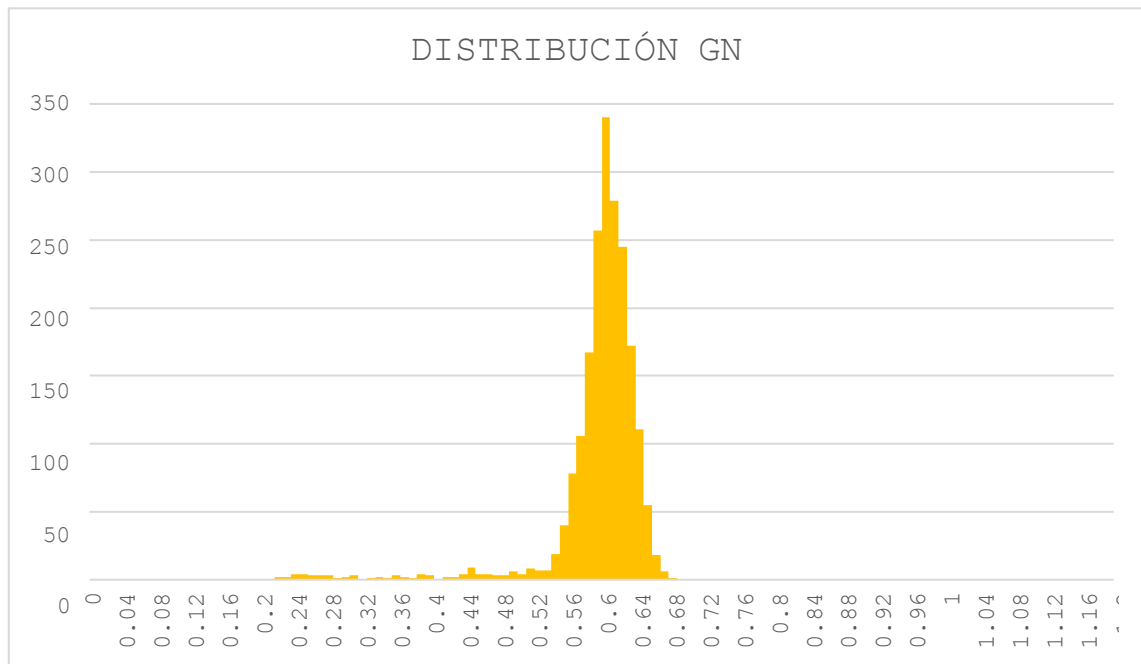


Gráfico 9: Valor de GN.

El GN o Grip Number es el Promedio del número de lecturas de fricción instantánea en una longitud definida.

El rango del GN es de 0,00 a 1,20.

Disminución de GN comparando Superficie sobre Demarcación Tipo Imagen con Superficie sobre Pavimento= 50%, cuando la Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado y Termoplástico, lleva 1 año y medio ejecutada.

Las mediciones de MPD (Mean Profile Depth, parámetro cuantitativo que se mide utilizando el Perfilómetro Láser) del 72 al 70 se adjuntan en el Anexo 1.

Este tipo de Demarcación tipo Imágenes de Material Preformado/ Termoplástico, son usadas para estampar Imágenes sobre el Pavimento en general en tramos urbanos-suburbanos (Señales de Radares, de Escuela, Flechas termoplásticas indicando Corte de Canteros, Ceda el Paso o Pares en Rotondas, Indicadores de Velocidad de Operación) o sea donde la velocidad demarcada es de 30km/ h o 45 km /h. Por lo tanto, el riesgo de enfrentar una superficie de pavimentos a velocidades mayores de operación de 80, 90 y 100 km/ h en un día de lluvia intensa (donde la película de agua se interpone entre el neumático y la superficie del pavimento) sería más improbable. También es cierto que existen cebreados a velocidad de 90 km/h en otras partes de la Red Nacional.

Como responsable de una Carretera, uno no puede quedarse tranquilo sólo con esta medida: se sugeriría la colocación de Cartelería Vertical que asegurara una

velocidad de operación del usuario dentro de los límites seguros de Fricción.

Se tiene también el caso de los Ruterros colocados en la ruta, que es el caso por ejemplo en el comienzo de la ruta 3 o Señales de Material Preformado ubicadas en Zonas Escolares.

Se hace un análisis de estas situaciones al llegar a las Conclusiones en esta Investigación.

Sin haber finalizado el Análisis profundo de los resultados obtenidos se comenzó a analizar una forma de mejorar la situación de baja Fricción: por ejemplo, colocando Cartelería indicando velocidad controlada y así evitar los despistes

Otra forma es que en los pavimentos se podría llegar a lograr con algún tipo de aditamento superficial o Seal Coat para el pavimento un aumento de la Fricción por ejemplo cuando el pavimento presenta fallas de fricción ya sea por exudaciones, por pérdida de textura de la mezcla o desgaste de los agregados pétreos. Esta alternativa que se encuentra disponible para mejorar la seguridad vial y para preservar la vida útil del pavimento es la aplicación de un tratamiento **tipo Seal Coat**.

Este tipo de técnica es ideal para recuperar la resistencia al deslizamiento, así como para el sellado y preservación de un pavimento, ya que se basa en una emulsión modificada con cargas minerales que se emplea en bajos espesores con equipos que logran aplicar con lampazo o por spray con altos rendimientos”: Ingeniera Antonella Lasso: 1 Bitafal Asfaltos Especiales, Colonia Nicolich, Uruguay, antonella@citevi.com.uy.

Presentado en el CILA en diciembre 2022. Referencia Bibliográfica 10 de la Bibliografía presentada en la Investigación.

Esta técnica se dificulta para aplicarla sobre una Señal y no comprometer el mensaje, pero por ejemplo se podría insertar a presión Microesferas de sembrado que contribuyeran al aumento de la Fricción de la superficie. Como se conoce la Granulometría de la Superficie pintada de la Señalización, podría “jugar” con la Granulometría del Material para Seal Coat que voy a agregar de modo de ver que si, en este el tamaño medio del árido es mayor que la profundidad media de la macrotextura existente, se entretejen trabando con la textura existente y se puentean unos con otros generando nuevos vacíos y una nueva macrotextura. O directamente se llenan los espacios existentes en la superficie con el árido del Seal Coat que estoy agregando. Por eso se debe estudiar bien las granulometrías que se tienen y la del material que agrego como componente del Seal Coat (tener en cuenta que la arena tiene formas redondeadas a diferencia del vidrio que muestra formas angulares).

En la Empresa Viamas S.A se estudiará la posibilidad de esta técnica.

Llegado el próximo cumplimiento de la Vida útil de la Señalización, se evaluará si conviene reponer la Demarcación por una nueva o tratar de recomponerla con estas técnicas indicadas anteriormente.

5.4.2. Mediciones Realizadas por el Maestrando para esta Investigación

Se hicieron entre junio y setiembre del 2024 las mediciones sobre Ruta 3 y By Pass con Péndulo Británico proporcionado por la Empresa Bitafal S.A y con Parche de Arena proporcionado por la Empresa Serviam S.A.

Para la medición de Macrotextura se usó la Norma NLT-335/00 (Referencia Bibliográfica 21) que describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la profundidad media de la macrotextura superficial de un pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material granular a la superficie y la subsiguiente medida del área total cubierta. En el ensayo se obtiene la profundidad media de su macrotextura. (Ver Fig.13).

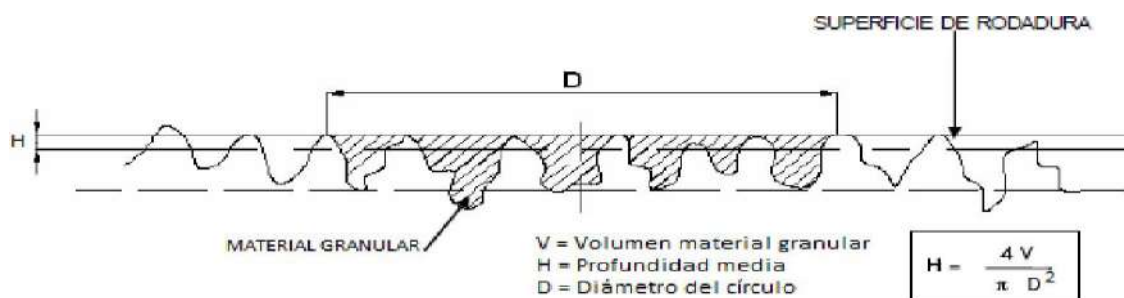


Figura13: Ensayo del Parche de Arena

Al realizarse este ensayo se tuvo que cerrar en media calzada la ruta 3 y el By Pass a la ciudad de San José, para crear un área segura de medición para el operario.

Se usó como material Microesferas de vidrio.

La unidad "µm" representa el micrómetro, que es una unidad de longitud del sistema métrico, 1µm=0.000001m.

En las Microesferas de vidrio que usamos para la investigación, la granulometría es tal que el 90% en masa pase por el tamiz UNE 250 µm y quede retenida en el tamiz 180 µm.

Una vez obtenido el material suficiente para hacer el ensayo, se buscan los puntos sobre la calzada que abarquen distintos tipos de Demarcación Horizontal tipo Imágenes con Material Preformado y Termoplástico.

Una vez que se eligió la Muestra de Investigación estudiando profundamente la variabilidad de Demarcaciones que presentaba la ruta (teniendo en cuenta entonces

que abarque Demarcación que acompañan al pavimento, hecha por la misma Empresa Viamás S.A (con los mismos materiales , metodología y personal) de distintas fechas de ejecución (con tres años, dos años, seis meses y con un mes de ejecutada), viendo que las superficies donde se hizo el ensayo de parche de arena sean homogéneas, que no presente ni grietas, ni descascaramientos, ni materiales pegados a la superficie y que sea representativa del estado de toda la Demarcación tipo Imágenes y que si no se presenta homogeneidad de la superficie entonces se toma más de una medida de Parche de arena o se descarta esa medición), se procedió a tomar la Medición sobre la Demarcación y sobre el pavimento de la carretera circundante sin afectación de la misma.

Se realiza la medición sobre la zona de la Demarcación donde se ve visualmente un “mayor desgaste” superficial, por donde pasan mayormente el tránsito lo que provoca una disminución de fricción.

Se hizo Georreferenciación de todas las Imágenes. Se muestra un ejemplo en la Fig.14.

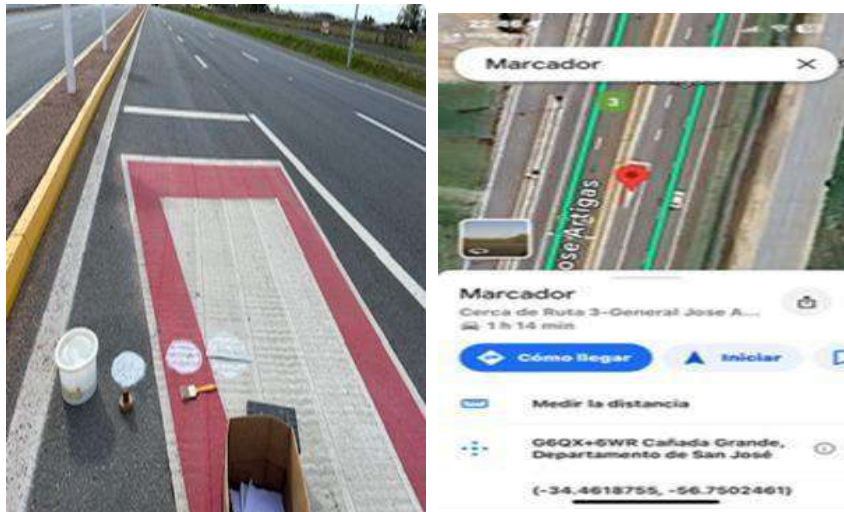


Fig.14- Ejemplo de Medición de Parche de Arena sobre Señalización y Georreferenciación

Luego de tomada esta muestra y cuando se comenzó la medición del parche de arena, se tomó en cuenta que la superficie esté seca y se le pasó un cepillo de modo de limpiarla de cualquier tipo de material externo.

Luego se llenó el recipiente de volumen conocido (metálico) con el material de esferas de vidrio que se consiguió para esta Investigación

Se empleó un recipiente de 25.000 mm³.

Se tomaron 4 mediciones de diámetro en cada ensayo y se calculó el Promedio: dicho valor es usado en la fórmula del esquema para calcular la profundidad media del material.

Se tuvo en cuenta en este ensayo de tomar las mismas condiciones de temperatura y humedad, sobre todo esta última porque incide en el esparcimiento del material sobre la superficie del pavimento.

Se tomaron medidas de macrotextura sobre la superficie pintada de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico y sobre el pavimento, al lado de la Demarcación de estudio para poder comparar los resultados de Fricción.

Se adjuntan en el Anexo 3 las mediciones de Macrotextura de esta Investigación. **Con respecto a la Microtextura**, este parámetro en la práctica no es medido de forma directa. Las mediciones de resistencia al deslizamiento, por ejemplo, le permiten evaluarlo indirectamente.

La resistencia al deslizamiento es una medida de la fricción entre los neumáticos de los vehículos y la superficie de rodadura de la vía. Evaluando en primera instancia la seguridad del usuario, mediante el coeficiente de fricción.

Este parámetro depende de la microtextura de los áridos, la macrotextura de la superficie y la presencia de agua, polvo, aceites, etc. en dicha superficie.

Para medir el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento sobre la Demarcación Tipo Imágenes y sobre el Pavimento usamos la Norma NLT 175/98 - Referencia Bibliográfica 22: Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento con péndulo del TRRL (Transport Road Research Laboratory). Se adjunta en el Anexo 7 dicha Norma.

Se consideró en los días de medición la temperatura, que no hubiera viento, superficie limpia, empapar la misma para medición con la zapata sobre película de agua. Se ejecutó primero la calibración del equipo en el lugar y luego se procedió a las mediciones. Se realizaron 5 mediciones en cada punto: dentro de la Señalización Tipo Imágenes con Material Preformado / Termoplástico y sobre el Pavimento.

Se adjunta en el Anexo 4 todas las mediciones efectuadas con el Péndulo, así como las ubicaciones Georreferenciadas de todas las mediciones de Macro y Micro textura. Se muestran unas mediciones ejecutadas con el Péndulo Británico en las Figura N° 15, así como su Georreferenciación (Fig. 16).



Figura 15: Ejemplo de Medición de Fricción sobre Señalización y Pavimento

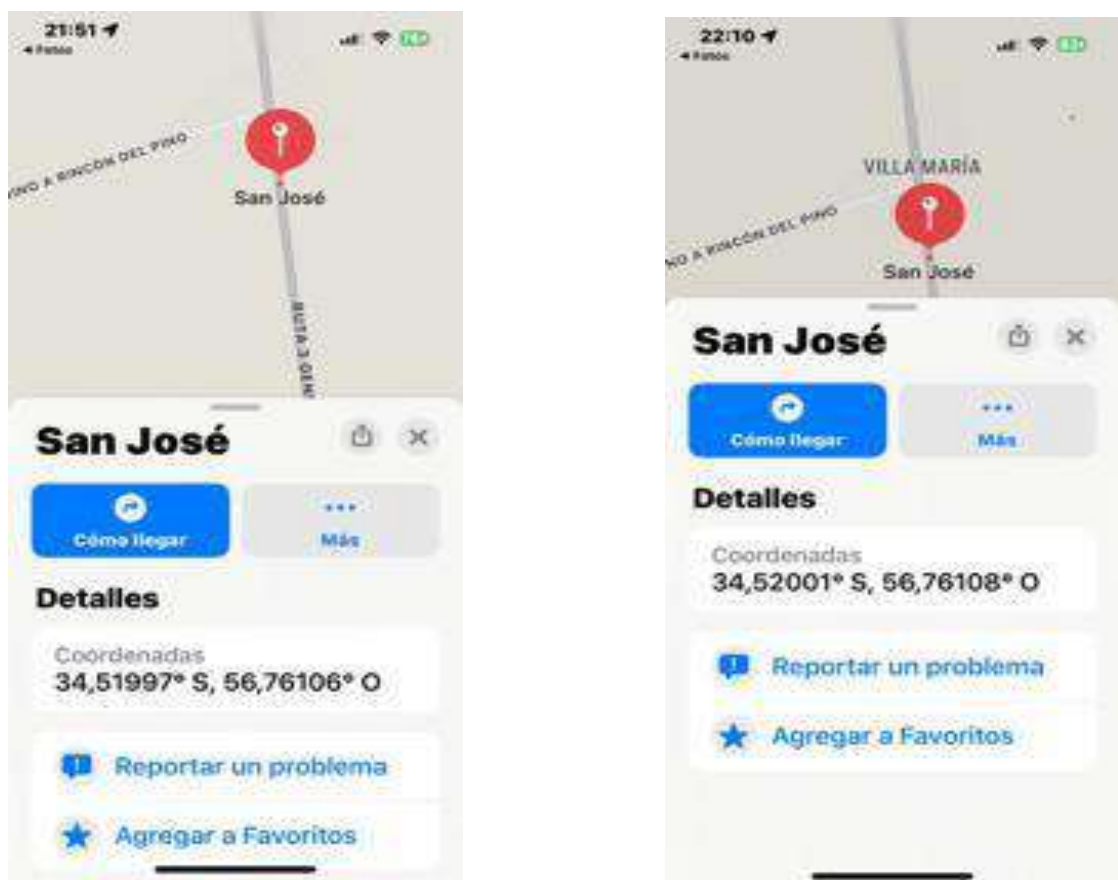


Fig.16- Georreferenciación sobre mediciones realizadas sobre Seguridad Vial y Pavimentos

De todas estas mediciones surge el Análisis de la investigación: esta Planilla que de ahora en más para referirnos a ella diremos **Planilla 1-Central** que se adjunta para cualquier consulta en el Anexo 5.

Se presenta la misma con Corrección por Temperatura según la Norma NLT 175/98: Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento con Péndulo del TRRL (Transport Road Research Laboratory).

Según el Art. 5.2 de dicha Norma “Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad del valor de las medidas a realizar, bajo cualquier condición climatológica exige una corrección del coeficiente obtenido mediante Gráfico Fig. 8 de la Norma”

Se observa que la temperatura del pavimento medida sobre la superficie del mismo y sobre la señalización siempre estaba 3 o 4 grados por encima de la del aire. A su vez como se moja la superficie que vamos a medir fricción, podemos decir que la temperatura del agua tiende a igualarse con la del pavimento (viendo además que el agua queda entre la superficie del pavimento y entre la masa de aire atmosférico). En virtud de esto, se puede apreciar que los Coeficientes de Corrección de las Medidas con el Péndulo, son del orden de los centésimas tanto por encima o por debajo del 0 de corrección. Por dicho motivo solo se corrigieron aquellas temperaturas del Pavimento que nos daba en el lugar de medición 16°C como temperatura del pavimento y por ende del agua que afecta la zapata del péndulo, siendo su coeficiente de corrección - 0,01. Por lo cual se presenta en aquellas medidas a esta temperatura, dicha corrección del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, indicados en color rojo en la Planilla 1- Central.

En el Anexo 5 se presenta la **Planilla 1- Central- Maestrando**

Maestrando: Ing. Beatriz Carnales - Fricción sobre Demarcaciones Horizontales en Pavimentos

MEDICION DE ADHERENCIA NEUMÁTICO CALZADA

Coefficiente de fricción con Péndulo de Fricción
 Macrotextura con Parche de arena
 RUTA N°:
 TRAMO: Kms

0003

Promedio
 Percentil 100
 Percentil 80
 Percentil 50

* Diámetro 2 es un promedio de 2 mediciones

* Diámetro 1 es un promedio de 2 mediciones

	Temperatura (°C)	MEDICIÓN EN CAMPAÑA							CÁLCULOS							
		Parche de Arena				Péndulo de Fricción										
		Cilindro Vol (mm ³)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Lecturas					Hs = V / (π * (D / 2)²)	BPN [0 a 110]	SP	FR60	F80	IFI (SP,FR60)
						1	2	3	4	5	Parche de Arena - Hs (mm)	Péndulo de Fricción	Sp = -11,5981 + 113,63 x Hs	FR60 = BPN x e ^(0,0017 x BPN)	F80 = 0,07784 + 0,00709 x FR60	
AÑO 2024																
1- Preformado Escuela 71.300 ++	18	25000	248	244	246	85	80	90	85	80	0.53	84	47.79	29.50	0.29	(048 ; 000)
1- Pavimento Escuela 71.300 ++	18	25000	219	218	219	65	66	68	62	60	0.67	64	63.78	29.31	0.29	(064 ; 000)
2- Preformado Escuela 71.300 ++	18	25000	231	232	232	80	85	85	80	85	0.59	83	55.51	33.72	0.32	(056 ; 000)
2- Pavimento Escuela 71.300 ++	18	25000	218	216	217	64	66	60	62	60	0.68	62	64.83	28.86	0.28	(065 ; 000)
3- Preformado radar 71.900 --	19	25000	270	270	270	85	80	80	80	85	0.44	82	37.64	21.72	0.23	(038 ; 000)
3- Pavimento radar 71.900 --	19	25000	222	222	222	66	65	70	60	62	0.65	65	61.41	28.62	0.28	(061 ; 000)
4- Preformado radar 71.900 ++	19	25000	262	264	263	90	85	90	90	95	0.46	90	40.31	26.04	0.26	(040 ; 000)
4- Pavimento radar 71.900 ++	19	25000	221	219	220	60	64	60	66	60	0.66	62	62.75	27.95	0.28	(063 ; 000)
5- Preformado Escuela 71.550 --	19	25000	268	266	267	85	90	85	90	85	0.45	87	38.76	23.95	0.25	(039 ; 000)
5- Pavimento Escuela 71.550 --	19	25000	219	217	218	65	65	70	65	65	0.67	66	64.13	30.26	0.29	(064 ; 000)
6- Preformado Escuela 71.550 ++	19	25000	230	232	231	90	90	85	85	92	0.60	88	55.80	36.08	0.33	(056 ; 000)
6- Pavimento Escuela 71.550 ++	19	25000	204	202	203	60	62	66	64	64	0.77	63	75.79	32.67	0.31	(076 ; 000)
Promedio Macrotextura Año 2024 Preformados																
Promedio diámetros Parche de Arena Preformados	19	25000			251						0.51		45.97			
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos	19	25000			216						0.68		65.45			
Promedio BPN Preformados											86		28.89	0.28	(046 ; 000)	
Promedio BPN Pavimento											64		29.69	0.29	(065 ; 000)	
AÑO 2023																
1- Señal Ceda al Paso Termoplástica : 2.750	22	25000	241	244	243	87	85	85	87	87	0.54	86	49.53	31.41	0.30	(050 ; 000)
1- Pavimento 2.750	22	25000	202	203	203	68	70	68	66	66	0.78	68	76.23	35.08	0.33	(076 ; 000)
2- Flecha Termoplástica senda a +: 2500	22	25000	252	249	251	85	83	83	85	85	0.51	84	45.66	28.17	0.28	(046 ; 000)
2- Pavimento +2500	22	25000	232	236	234	60	68	68	68	62	0.58	65	54.08	25.86	0.26	(054 ; 000)
3- Flecha Termoplástica senda a -:2500	22	25000	260	262	261	87	85	85	85	83	0.47	85	41.12	25.19	0.26	(041 ; 000)
3- Pavimento -2500	22	25000	228	229	229	63	63	60	60	63	0.61	62	57.30	25.82	0.26	(057 ; 000)
Promedio Macrotextura Año 2023 Termoplástica																
Promedio diámetros Parche de Arena Termoplástica					251											
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos					222											
Promedio BPN Termoplástica											0.51	85	45.43	28.32	0.28	(045 ; 000)
Promedio BPN Pavimento											0.66	65	62.53	29.16	0.28	(063 ; 000)
AÑO 2022																
1- Señal de Velocidad 45 Preformada 70.800++	17	25000	244	246	245	60	60	62	60	60	0.53	60	48.28	21.44	0.23	(048 ; 000)
1- Pavimento 70.800++	22	25000	221	223	222	64	62	62	60	64	0.65	62	61.41	27.64	0.27	(061 ; 000)
2- Señal Escuela Preformada 76.900 ++	22	25000	238	234	236	62	60	62	62	60	0.57	61	52.96	23.81	0.25	(053 ; 000)
2- Pavimento ++76.900	22	25000	222	218	220	64	62	62	64	64	0.66	63	62.75	28.49	0.28	(063 ; 000)
3- Señal Escuela Preformada 76.900 ++	22	25000	258	260	259	60	60	60	62	60	0.47	60	41.94	18.33	0.21	(042 ; 000)
3- Pavimento ++76.900	22	25000	228	228	228	64	64	64	62	62	0.61	63	57.60	26.53	0.27	(058 ; 000)
4- Señal Ceda al Paso 76.650 lado Mdeo.	16	25000	234	236	235	62	65	60	60	60	0.58	60	53.52	23.73	0.25	(054 ; 000)
4- Pavimento 76.650 lado Montevideo	16	25000	224	228	226	64	64	64	62	62	0.62	62	58.84	26.59	0.27	(059 ; 000)
5- Señal Ceda al Paso 76.650 lado S. José.	16	25000	244	240	242	60	62	60	60	55	0.54	58	49.78	21.39	0.23	(050 ; 000)
5- Pavimento 76.650 lado San José	16	25000	217	226	222	66	64	64	60	60	0.65	62	61.74	27.50	0.27	(062 ; 000)
6- Señal de Escuela Preformada 83.400++	16	25000	238	240	239	60	55	65	55	60	0.56	58	51.34	21.90	0.23	(051 ; 000)
6- Pavimento 83.400++	16	25000	222	223	223	66	64	64	66	60	0.64	63	61.08	27.79	0.27	(061 ; 000)
7- Señal de Escuela Preformada 83.400++	16	25000	232	233	233	62	55	58	60	62	0.59	59	54.93	23.90	0.25	(055 ; 000)
7- Pavimento 83.400++	16	25000	222	219	221	66	64	62	60	60	0.65	62	62.41	28.01	0.28	(062 ; 000)
Promedio Macrotextura Año 2022 Preformada																
Promedio diámetros Parche de Arena Preformada					241											
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos					223											
Promedio BPN Preformada											0.55	60	50.39	22.15	0.23	(050 ; 000)
Promedio BPN Pavimento											0.64	63	60.83	27.52	0.27	(061 ; 000)
AÑO 2021																
1- Señal Ceda al Paso Termoplástica 77.250++	20	25000	238	239	239	62	60	60	60	60	0.56	60	51.61	22.92	0.24	(052 ; 000)
1- Pavimento 77.250 ++	20	25000	222	223	223	66	62	62	60	60	0.64	62	61.08	27.35	0.27	(061 ; 000)
2- Flecha Termoplástica 72.500 ++	22	25000	222	220	221	60	58	58	60	60	0.65	59	62.08	26.46	0.27	(062 ; 000)
2- Pavimento ++72.500	22	25000	212	210	211	60	64	58	58	64	0.71	61	69.26	29.54	0.29	(069 ; 000)
3- Flecha Termoplástica 72.500++	22	25000	270	272	271	60	62	60	58	60	0.43	60	37.27	15.69	0.19	(037 ; 000)
3- Pavimento ++72500	22	25000	236	234	235	62	62	66	64	68	0.58	64	53.52	25.30	0.26	(054 ; 000)
Promedio Macrotextura Año 2021 Termoplástica																
Promedio diámetros Parche de Arena Termoplástica					244											
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos					223											
Promedio BPN Termoplástica											0.55	60	50.32	22.16	0.23	(050 ; 000)
Promedio BPN Pavimento											0.64	62	61.29	27.60	0.27	(061 ; 000)
AÑO 2020																
1- Señal Rutero de Ruta 3-67.800++Preformado	16	25000	238	239	239	58	60	58	55	60	0.56	58	51.61	22.09	0.23	(052 ; 000)
1- Pavimento 67.800 ++	16	25000	221	221	221	64	62	60	62	60	0.65	62	62.08	27.53	0.27	(062 ; 000)
2- Señal Rutero de Ruta 3-67.800++-Preformado	16	25000	231	229	230	65	60	60	65	55	0.60	61	56.39	25.14	0.26	(056 ; 000)
2- Pavimento ++67.800	16	25000	223	221	222	62	60	62	62	62	0.65	62	61.41	27.29	0.27	(061 ; 000)
3- Señal Radar Preformado 71.120++	16	25000	245	245	245	60	55	55	60	55	0.53	57	48.28	20.23	0.22	(048 ; 000)
3- Pavimento ++71120	16	25000	231	230	231	58	58	56	58	56	0.60	60	56.10	24.61	0.25	(056 ; 000)
4- Señal Radar Preformado 71.120++	16	25000	237	239	238	55	60	60	58	58	0.56	58	51.88	22.20	0.24	(052 ; 000)
4- Pavimento ++71120	16	25000	226	220	223	66	64	66	60	64	0.64	64	60.75	28.10	0.28	(061 ; 000)
Promedio Macrotextura Año 2020 Preformado																
Promedio diámetros Parche de Arena Preformado					238											
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos					225											
Promedio BPN Preformado											0.56	59	52.04	22.42	0.24	(052 ; 000)
Promedio BPN Pavimento											0.63	62	60.09	26.89	0.27	(060 ; 000)
AÑO 2019																
1- Flecha Termoplástica 68.050++	16	25000	248	250	249	60	55	55	60	64	0.51	59	46.36	20.00	0.22	(046 ; 000)

5.4.3. Escala de mediciones usadas para Macro y Microtextura y observaciones de la investigación

Se usó como rangos de valores que delimitan zonas de cambio de estado, las Especificaciones PIARC (Asociación Mundial de Carreteras-Ver Tablas 13 y 14). Se consultó con la Universidad de la República (Udelar) y con el Departamento de Gestión del Mantenimiento y se indicó la correcta viabilidad de usar dichos valores.

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

Tabla 13. Especificaciones PIARC para valor de Profundidad media de Macrotextura en mm

CONDICIÓN	CALIFICACIÓN	RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO
$CRD \geq 1.50$	Excelente	Superficie muy rugosa y áspera apropiada para el tránsito intenso o altas velocidades incluso con pavimento mojado.
$0.82 \leq CRD \leq 1.5$	Bueno	Superficie con rugosidad y aspereza aceptable para tránsito medio, propician condiciones satisfactorias de seguridad con pavimento mojado a moderadas velocidades de seguridad.
$0.45 \leq CRD \leq 0.82$	Regular	Superficie con rugosidad y aspereza adecuada para intensidades bajas o hasta media con precauciones. Condiciones garantizadas de seguridad sólo con pavimento seco. Se debe evaluar periódicamente el CRD y PT.
$0.21 \leq CRD \leq 0.45$	Malo	Condiciones inseguras de circulación con pavimento mojado y aún incluso con pavimento seco. Superficie con rugosidad y aspereza inadecuadas, con peligro, velocidad limitada y marcado pavimento.
$CRD \leq 0.21$	Pésimo	Circulación insegura con pavimento seco y crítico con pavimento mojado. Se debe reponer las características antideslizantes del pavimento. Establecer señalización vertical y horizontal con medidas extremas de control mientras permanezcan las condiciones inseguras.

Tabla 14. Especificaciones PIARC para el Coeficiente de Resistencia a l
slizamiento CRD

En cuanto al Pavimento en este Contrato, se exige que a los efectos de la Recepción Provisoria de los tramos de Carretera por parte del MTOP, que se logre una Macrotextura (según NLT 335/00) lo más alta posible (mayor a 0,5mm) cumpliendo

con las demás especificaciones. Esta Especificación de la Macrotextura es solamente para la superficie de mezcla asfáltica. Luego en los años de Mantenimiento no hay exigencia para la Macrotextura y no se indica Metodología de Medición (se puede medir con un Equipo Dinámico el MPD: Mean Profile Depth, medido con Perfilómetro Láser y luego estimar MTD o directamente hacer las mediciones con Equipo Parche de Arena del MTD. Siendo MTD el Mean Texture Depth, medida empírica de la macrotextura del pavimento y se obtiene a través del ensayo del parche de arena).

No hay condiciones de exigencia para la Fricción en este Contrato en ningún momento del mismo: ni en la ejecución de la obra ni en el mantenimiento para el Pavimento y para la Demarcación Horizontal se debería cumplir en todo momento el Art. 3.5 del Adjunto de la Norma Uruguaya de Señalización de Uruguay -2001 (MTO), pero no se aplica por el MTO en ningún Contrato.

Los Valores Umbrales de Fricción adoptados como aceptables para determinar un estado seguro para el usuario que circula sobre el Pavimento, en esta Investigación, será el siguiente:

En la Zona de San José que es donde se hace esta Investigación (zona Oeste de Uruguay) tenemos que según Registros Históricos de Inumet (Instituto Uruguayo de Meteorología: [https:// www.inumet.gub.uy](https://www.inumet.gub.uy)) y buscando en la Estación Meteorológica más cercana a San José, tenemos que en promedio llueve en el año 105 días y que la precipitación total media anual es de 1100mm. O sea, esto distribuido en el año corresponde a un promedio de lluvias más ligeras que intensas.

Si se hace el Promedio de Precipitación Total Media anual de todo el País (consideramos todas las Estaciones Meteorológicas del País obtenidas en la página de Inumet) y el promedio de los días de lluvia en el año tenemos que no se aparta demasiado de este valor: 1200 mm y 115 días de lluvia. Por lo tanto, podemos decir que la situación es similar en todo el país, por lo que se puede considerar representativa.

Los valores de exigencia mínima de 0,4 para el Coeficiente de Fricción, tanto lo determinado por **la Asociación Mundial de Carreteras PIARC como por la Administración Federal de Carreteras de EE. UU. (FHWA)** se corresponden para carreteras con intensa lluvia, tráfico alto y velocidades elevadas que no se da prácticamente en todo el Uruguay (la ruta con mayor tránsito según Anuario Estadístico del MTO es un tramo de la Ruta 101 en los alrededores del Aeropuerto de Carrasco con un TPDA de 29.400 y las velocidades reglamentarias son en rutas nacionales de 90 km/h, solo con algunos sectores de la Red Vial Nacional a 110 km/h y las lluvias son ligeras, muy pocos días al año intensas).

Por lo tanto, en esta Investigación, no tenemos alto tránsito en las carreteras de Uruguay, no tenemos condiciones extremas climatológicas y estamos trabajando en una zona donde no hay accidentes geográficos de relevancia como en otros países.

Por lo cual si adoptamos para Uruguay estas condiciones de exigencia mínima de Coeficiente de Fricción 0,40 sobre pavimentos (que son exigentes porque no atienden las condiciones reales para Uruguay), nos permite estar del lado de la seguridad para el usuario.

Como se considera en Uruguay según el Adjunto 2001 de la Norma Uruguaya de Señalización el valor de CRD en todo momento de una Marca Vial debe ser mín. 0,45 (según la Nota 27 del TRRL), y además este valor comienza según la PIARC en el rango regular (el CRD 0,40 es malo) entonces se considera en esta Investigación, para estar más aún **del lado de la seguridad para el usuario un valor entonces de CRD min 0,45 en todo momento de la vida útil de la Demarcación Tipo Imagen.**

Por lo tanto, se calcula con este Coeficiente de Fricción (obliga a que siempre la Demarcación tipo Imagen tome como valor 0,45: Tabla 15 para Material Preformado) la Fricción a distintas velocidades de Operación y allí vemos que el valor que envuelve a todas las Señalizaciones es una **Fricción de 0,11. Por lo tanto cuando esté próximo a ese valor o por debajo del mismo, ya no será seguro para el Usuario su circulación.**

velocidad	Pavimento 2024 friccion	Material2024 PREFORMADA friccion	Pavimento 2022 friccion	Material 2022 PREFORMADA friccion
0	0,72	0,69	0,73	0,65
60	0,29	0,18	0,27	0,20
20	0,53	0,44	0,53	0,43
40	0,39	0,29	0,38	0,29
80	0,21	0,12	0,20	0,13
100	0,16	0,08	0,14	0,09
50	0,34	0,23	0,32	0,24
55	0,31	0,20	0,30	0,22
45	0,36	0,26	0,35	0,26
32	0,44	0,34	0,43	0,34
15	0,57	0,50	0,57	0,48
70	0,25	0,15	0,23	0,16
65	0,27	0,16	0,25	0,18
35	0,42	0,32	0,41	0,32
52	0,33	0,2	0,31	0,23
90	0,18	0,09	0,17	0,11
10	0,62	0,55	0,62	0,53

velocidad	Pavimento 2024 friccion	Material 2024 PREF friccion	Pavimento 2021 friccion	Material 2021 PREF friccion
0	0,72	0,69	0,72	0,63
60	0,29	0,18	0,27	0,20
20	0,53	0,44	0,52	0,43
40	0,39	0,29	0,37	0,29
80	0,21	0,12	0,19	0,14
100	0,16	0,08	0,14	0,09
50	0,34	0,23	0,31	0,24
55	0,31	0,20	0,29	0,22
32	0,44	0,34	0,42	0,34
45	0,36	0,26	0,34	0,27
51	0,33	0,22	0,31	0,24
52	0,33	0,22	0,30	0,23
90	0,18	0,09	0,16	0,11

Tabla 15. Valores de Fricción con CRD 0,45 para Pavimento y Demarcación Tipo Imagen con Mat.Preformado en todo momento de la vida útil de la Demarcación.

Se observa: que el único valor de Fricción por debajo de 0,11 es el de la Señalización Preformada ejecutada en el 2024: se debe a un valor límite de macrotectura de 0,5 mm que va aumentando con el tiempo, porque su microtextura es muy buena. Por lo

tanto, para estar del lado de la Seguridad la velocidad de Operación debería estar acotada a los 85 km/h.

	Pavimento 2023	Material Term.2023	Pavimento 2022	Material Term. 2022		Pavimento 2023	Material Termo. 2023	Pavimento 2021	Material Term.2021
velocidad	friccion	friccion	friccion	friccion	velocidad	friccion	friccion	friccion	friccion
0	0,74	0,69	0,73	0,65	0	0,74	0,69	0,72	0,63
60	0,28	0,18	0,27	0,20	60	0,28	0,18	0,26	0,20
20	0,54	0,44	0,53	0,43	20	0,54	0,44	0,52	0,43
40	0,39	0,29	0,38	0,29	40	0,39	0,29	0,37	0,29
80	0,21	0,12	0,20	0,13	80	0,21	0,12	0,19	0,14
100	0,15	0,08	0,14	0,09	100	0,15	0,08	0,13	0,09
50	0,33	0,23	0,32	0,24	50	0,33	0,23	0,31	0,24
55	0,31	0,21	0,30	0,22	55	0,31	0,21	0,29	0,22
25	0,50	0,40	0,48	0,39	30	0,46	0,36	0,44	0,36
35	0,42	0,32	0,41	0,32	45	0,36	0,26	0,34	0,27
18	0,56	0,46	0,54	0,45	22	0,52	0,42	0,50	0,42
45	0,36	0,26	0,35	0,26	52	0,32	0,22	0,30	0,23
52	0,32	0,22	0,31	0,23	90	0,18	0,10	0,16	0,11
90	0,18	0,10	0,17	0,11	10	0,63	0,55	0,62	0,53
10	0,63	0,55	0,62	0,53					

Tabla 16. Valores de Fricción con CRD 0,45 para Pavimento y Demarcación Tipo Imagen con Mat. Termoplástico en todo momento de la vida útil de la Demarcación.

Se observa un comportamiento similar para el Material Termoplástico que para el Preformado (observar Tabla 16).

En Resumen: Si en todo momento el CRD es 0,45 sobre la Señalización Tipo Imagen con Material Preformado o Material Termoplástico se puede colocar la misma en zonas de la carretera con velocidades de hasta los 85 km/h en todo momento de su vida útil, siempre y cuando se asegure una Macrotextura $\geq 0,5\text{mm}$.

Por lo visto en la Planilla 1- Central la disminución más marcada es de 30% para el CRD de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico. Por lo tanto, si en una Recepción Provisoria tengo como valor de CRD 0,45, según esta Investigación al año y medio en el caso de Material Preformado y al año en el caso de Material Termoplástico obtengo un valor de CRD 0,31.

Si coloco ese valor en el año 2022 en la Planilla 1- Central se obtiene lo siguiente (Tabla 17):

velocidad	Pavimento 2024	Material 2024 PREFORMADA	Pavimento 2022	Material 2022 PREFORMADA	velocidad	Pavimento 2024	Material 2024 PREF	Pavimento 2021	Material 2021 PREF
	friccion	friccion	friccion	friccion		friccion	friccion	friccion	friccion
0	0,72	0,69	0,73	0,52	0	0,72	0,69	0,72	0,51
60	0,29	0,18	0,27	0,16	60	0,29	0,18	0,27	0,16
20	0,53	0,44	0,53	0,35	20	0,53	0,44	0,52	0,35
40	0,39	0,29	0,38	0,24	40	0,39	0,29	0,37	0,24
80	0,21	0,12	0,20	0,11	80	0,21	0,12	0,19	0,11
100	0,16	0,08	0,14	0,07	100	0,16	0,08	0,14	0,08
50	0,34	0,23	0,32	0,19	50	0,34	0,23	0,31	0,20
55	0,31	0,20	0,30	0,18	55	0,31	0,20	0,29	0,18
45	0,36	0,26	0,35	0,21	32	0,44	0,34	0,42	0,28
32	0,44	0,34	0,43	0,28	45	0,36	0,26	0,34	0,22
15	0,57	0,50	0,57	0,39	51	0,33	0,22	0,31	0,19
70	0,25	0,15	0,23	0,13	52	0,33	0,22	0,30	0,19
65	0,27	0,16	0,25	0,14	90	0,18	0,09	0,16	0,09
35	0,42	0,32	0,41	0,26					
52	0,33	0,2	0,31	0,19					
90	0,18	0,09	0,17	0,09					

Tabla 17. Valores de Fricción con CRD 0,45 al inicio de la ejecución y CRD 0,31 al año y medio de construida y un año después, la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.

Se obtiene entonces que no se puede colocar en zonas de Velocidad mayor a 80 km/h, porque el valor de fricción estaría por debajo de 0,11.

Se usó el mismo razonamiento con la misma conclusión (Tabla 18) para la Señalización tipo Imagen con Material Termoplástico.

velocidad	Pavimento 2023	Material Term.2023	Pavimento 2022	Material Term. 2022	velocidad	Pavimento 2023	Material Termo. 2023	Pavimento 2021	Material Term.2021
	friccion	friccion	friccion	friccion		friccion	friccion	friccion	friccion
0	0,74	0,69	0,73	0,52	0	0,74	0,69	0,72	0,51
60	0,28	0,18	0,27	0,16	60	0,28	0,18	0,26	0,16
20	0,54	0,44	0,53	0,35	20	0,54	0,44	0,52	0,35
40	0,39	0,29	0,38	0,24	40	0,39	0,29	0,37	0,24
80	0,21	0,12	0,20	0,11	80	0,21	0,12	0,19	0,11
100	0,15	0,08	0,14	0,07	100	0,15	0,08	0,13	0,07
50	0,33	0,23	0,32	0,19	50	0,33	0,23	0,31	0,20
55	0,31	0,21	0,30	0,18	55	0,31	0,21	0,29	0,18
25	0,50	0,40	0,48	0,32	30	0,46	0,36	0,44	0,29
35	0,42	0,32	0,41	0,26	45	0,36	0,26	0,34	0,22
18	0,56	0,46	0,54	0,37	22	0,52	0,42	0,50	0,34
45	0,36	0,26	0,35	0,21	52	0,32	0,22	0,30	0,19
52	0,32	0,22	0,31	0,19	90	0,18	0,10	0,16	0,09
90	0,18	0,10	0,17	0,09	85	0,19	0,11	0,17	0,10
85	0,19	0,11	0,18	0,10					

Tabla 18. Valores de Fricción con CRD 0,45 al inicio de la ejecución y CRD 0,31 a un año de construida la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico y un año después.

Se obtiene entonces que no podemos colocarla en zonas de Velocidad mayor a 80 km/h, porque el valor de fricción estaría por debajo de 0,11.

En Resumen: Si el CRD es 0,45 en la Recepción Provisoria de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico, se puede colocar la misma en zonas de la carretera con velocidades de hasta los 80 km/h en todo momento de su vida útil.

Esto siempre y cuando tenga buenos valores de Macrotextura $\geq 0,5\text{mm}$ como sucede en esta Investigación.

Se observa que si se quiere aumentar el valor de la Velocidad para colocar la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico, entonces tengo que llevar al valor inicial mínimo del CRD 0, 65 para que al año y medio en el caso de la Demarcación Tipo Imagen Preformada y al año en la Demarcación Tipo Imagen Termoplástica tenga un valor de CRD 0, 45, que asegura Fricción mayor o igual a 0,11 a 90 km/h (Tabla 19 para Material Preformado y ver Tabla 20 para Material Termoplástico).

velocidad	Pavimento 2024	Material 2024 PREFORMADA	Pavimento 2022	Material 2022 PREFORMADA
	fricción	fricción	fricción	fricción
0	0,72	0,87	0,73	0,65
60	0,29	0,23	0,27	0,20
20	0,53	0,56	0,53	0,43
40	0,39	0,36	0,38	0,29
80	0,21	0,15	0,20	0,13
100	0,16	0,10	0,14	0,09
50	0,34	0,29	0,32	0,24
55	0,31	0,26	0,30	0,22
45	0,36	0,32	0,35	0,26
32	0,44	0,43	0,43	0,34
15	0,57	0,62	0,57	0,48
70	0,25	0,18	0,23	0,16
65	0,27	0,21	0,25	0,18
35	0,42	0,40	0,41	0,32
52	0,33	0,3	0,31	0,23
90	0,18	0,12	0,17	0,11
10	0,62	0,70	0,62	0,53
85	0,20	0,13	0,18	0,12

velocidad	Pavimento 2024	Material 2024 PREF	Pavimento 2021	Material 2021 PREF
	fricción	fricción	fricción	fricción
0	0,72	0,87	0,72	0,63
60	0,29	0,23	0,27	0,20
20	0,53	0,56	0,52	0,43
40	0,39	0,36	0,37	0,29
80	0,21	0,15	0,19	0,14
100	0,16	0,10	0,14	0,09
50	0,34	0,29	0,31	0,24
55	0,31	0,26	0,29	0,22
32	0,44	0,43	0,42	0,34
45	0,36	0,32	0,34	0,27
51	0,33	0,28	0,31	0,24
52	0,33	0,28	0,30	0,23
90	0,18	0,12	0,16	0,11
85	0,20	0,13	0,18	0,12

Tabla 19. Valores de Fricción con CRD 0, 65 al inicio de la ejecución y CRD 0,45 al año y medio de construida y posterior en la Demarcación con Material Preformado.

velocidad	Pavimento 2023	Material Term.2023	Pavimento 2022	Material Term. 2022
	fricción	fricción	fricción	fricción
0	0,74	0,87	0,73	0,65
60	0,28	0,23	0,27	0,20
20	0,54	0,56	0,53	0,43
40	0,39	0,36	0,38	0,29
80	0,21	0,15	0,20	0,13
100	0,15	0,10	0,14	0,09
50	0,33	0,29	0,32	0,24
55	0,31	0,26	0,30	0,22
25	0,50	0,50	0,48	0,39
35	0,42	0,40	0,41	0,32
18	0,56	0,58	0,54	0,45
45	0,36	0,32	0,35	0,26
52	0,32	0,28	0,31	0,23
90	0,18	0,12	0,17	0,11
10	0,63	0,69	0,62	0,53

velocidad	Pavimento 2023	Material Termo. 2023	Pavimento 2021	Material Term.2021
	fricción	fricción	fricción	fricción
0	0,74	0,87	0,72	0,63
60	0,28	0,23	0,26	0,20
20	0,54	0,56	0,52	0,43
40	0,39	0,36	0,37	0,29
80	0,21	0,15	0,19	0,14
100	0,15	0,10	0,13	0,09
50	0,33	0,29	0,31	0,24
55	0,31	0,26	0,29	0,22
30	0,46	0,45	0,44	0,36
45	0,36	0,32	0,34	0,27
22	0,52	0,53	0,50	0,42
52	0,32	0,28	0,30	0,23
90	0,18	0,12	0,16	0,11

Tabla 20. Valores de Fricción con CRD 0, 65 al inicio de la ejecución y CRD 0,45 al año de construida y posterior en la Demarcación con Material Termoplástico.

5.4.4. *Análisis de la Macrotextura en la Planilla 1- Central.*

La Macrotextura se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. En este caso, las propiedades de la Macrotextura están dadas por el tipo de mezcla que exista en la superficie, la granulometría y el tamaño máximo nominal de los agregados pétreos que la componen. En el caso de estudio tenemos que el 5% pasa el tamiz 200 y el 51% el tamiz 4; por lo que se corresponde con una **granulometría media**. En el Adjunto 10 se presenta el Informe realizado por Grupo San José y la granulometría de la mezcla asfáltica. La Macrotextura, proporciona los intersticios necesarios para el escurrimiento del agua por el pavimento, de modo tal que la película de agua que sirve de fase entre el neumático y el pavimento mantenga un cierto

espesor que permita el contacto entre neumático y pavimento : Highways Agency (citado en la Dirección general de carreteras, 1999), ya que **la Macrotextura garantiza una menor distancia de frenado o distancia de parada del vehículo de diseño, disminuye el problema del hidropneumático en pavimentos mojados y el derrapamiento de los neumáticos en los vehículos en las curvas**. Por ese motivo es que es tan importante en la Seguridad de los usuarios cuando se transita a altas velocidades.


La Macrotextura sobre Pavimento a lo largo del tiempo da un Promedio de 0,68 mm (comienza con un valor de 0,65 mm y finaliza con un valor de 0,63 mm a los 2 años y medio de construido) y sobre Señalización Preformada el menor valor que dio fue de 0,50 mm recién ejecutada la Señalización tipo Imágenes con Material Preformado y de 0,51 mm recién ejecutada la Señalización tipo Imágenes con Material Termoplástico: a lo largo del tiempo de ejecución se observa que la película de material termoplástico preformado que se coloca arriba del pavimento es muy rugosa, muy parecida a “ un papel de lija” y va cubriendo los intersticios entre la matriz del árido y el árido de la superficie de rodadura de carpeta asfáltica expuesta, y a medida que pasa el tiempo tiende a desgastarse y comienza a generar espacios entre la superficie del árido y la matriz donde se encuentra inserto lo que ocasiona que aumente el valor de macrotextura: pasa de un valor de 0,50 mm en Señalización Tipo Imagen con Material Preformado (0,51 mm con Material Termoplástico) a un valor de 0,56 mm a 2 años y medio de construido la Señalización con Material Preformado y 2 años de construido la Señalización con Material Termoplástico. Asimismo, las Microesferas de Sembrado colocadas en la Señalización con Material Preformado “producen “una nueva Macrotextura con nuevos intersticios, pero del mismo tamaño por eso pensamos que no es tan buena al principio para que corra el agua superficial.


Por lo tanto, se observa un aumento de la Macrotextura a medida que va transcurriendo el tiempo para la Señalización tipo Imágenes con Material Preformado y Termoplástico, y para el Pavimento una disminución lógica por: El paso constante de vehículos, especialmente pesados, alisa las asperezas de la superficie del pavimento, los áridos van puliéndose o incluso se desprenden con el tiempo, reduciendo la rugosidad a gran escala. Asimismo, la acción de la lluvia, viento, heladas y cambios de temperatura degradan gradualmente la superficie. También sucede que el agua puede arrastrar finos que se acumulan en los huecos, o sea tapan los intersticios disminuyendo la textura. También polvo, tierra, aceites y residuos del tráfico se depositan en la superficie y rellenan las irregularidades, reduciendo la profundidad efectiva de la macrotextura. Además, con el tráfico el asfalto puede experimentar una compactación adicional, lo que reduce la profundidad de la macrotextura. Todo lo anteriormente expuesto produce un menor drenaje superficial del agua, con la consiguiente consecuencia dañina en la Macrotextura.


Se tiene en cuenta que según la Escala PIARC se corresponde en todo momento, con valores de Macrotextura para Pavimento y para Señalización Tipo Imágenes con Material Preformado y Termoplástico de esta Investigación con valores de **Macrotextura media**, asegurando un buen valor para velocidades entre 80 y 120km/h que son las que tenemos sobre Ruta 3 (Observar Tabla 21).

O sea que se puede asegurar que en todo momento sobre la Ruta 3 y sobre el By Pass, en carpeta asfáltica se tiene tanto para las zonas de pavimento como las de Demarcación ya sea Preformada o Termoplástica que existe la suficiente cantidad de intersticios o espacios en la capa Superficial para desalojar el agua superficial.

TIPO SEÑ./PAV	VALORES DE MACROTEXTURA			
	AÑO 2024	AÑO 2023	AÑO 2022	AÑO 2021
PAVIMENTO	0,68	0,66	0,64	0,63
PREFORMADO	0,5		0,55	0,56
TERMOPLASTIC.		0,51	0,55	0,56

MAYOR VARIACION EN EL PAVIMENTO: 8% 

MAYOR VARIACION EN EL PREFORMADO: 11% 

MAYOR VARIACION EN LA TERMOPLASTICA: 9% 

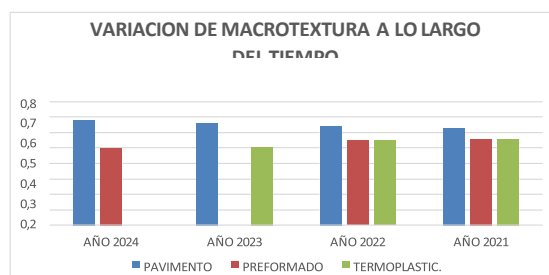


Tabla 21. Variación de Macrotextura a lo largo del tiempo, entre la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico y el Pavimento circundante.

Se está considerando en esta Investigación, la variación longitudinal porque transversalmente, se puede observar una diferencia de la macrotextura cuando se está en el centro del carril o se está en la zona de rodadura: allí si se observa en la zona de rodada una diferencia que a simple vista daría una disminución de la macrotextura. “La magnitud de la diferencia (a veces muy significativa) es, en general, un indicador de la edad del pavimento y/o de su comportamiento”. Tesis Final Dra. Marta Pagola-2012: Referencia Bibliográfica 5.

Se encontró también, en el citado estudio de la Dra. Pagola que:” Longitudinalmente la velocidad de evolución de la textura es función del valor inicial, valores iniciales pequeños disminuyen más despacio que valores iniciales más elevados”. Las Macrotexturas que se tienen inicialmente en esta Investigación sobre el Pavimento, se puede decir que entran prácticamente en las zonas de relativamente elevadas, ya que comienzan con un valor de 0,68mm (Según las Especificaciones PIARC para valor de profundidad media de macrotextura en mm corresponden a una Calificación Media).

Observamos que, con el paso del tiempo, decrecen hasta un valor mínimo, de 0,63mm. **Por otro lado, si se considera una Macrotextura menor como de 0,35 mm (sin cambiar los altos valores de CRD) vemos que la Fricción a velocidades mayores a 65 km/h genera fricciones con valores menores a 0,11 que pueden llegar a ser peligrosas a Nivel usuario (Ver Tablas inferiores 22 y 23 Macrotextura con valores de 0,35 mm en la Recepción Provisoria y en el año 2022).**

velocidad	Pavimento 2024	Material 2024 PREFORMADA	Pavimento 2022	Material 2022 PREFORMADA
	friccion	friccion	friccion	friccion
0	0,72	1,55	0,73	1,28
60	0,29	0,18	0,27	0,15
20	0,53	0,75	0,53	0,62
40	0,39	0,37	0,38	0,30
80	0,21	0,09	0,20	0,07
100	0,16	0,04	0,14	0,04
50	0,34	0,26	0,32	0,21
55	0,31	0,21	0,30	0,18
45	0,36	0,31	0,35	0,25
32	0,44	0,49	0,43	0,41
15	0,57	0,90	0,57	0,75
70	0,25	0,12	0,23	0,10
65	0,27	0,15	0,25	0,12
35	0,42	0,44	0,41	0,36
52	0,33	0,2	0,31	0,20
90	0,18	0,06	0,17	0,05
75	0,23	0,10	0,21	0,09

velocidad	Pavimento 2023	Material Term.2023	Pavimento 2022	Material Term. 2022
	friccion	friccion	friccion	friccion
0	0,74	1,54	0,73	1,28
60	0,28	0,18	0,27	0,15
20	0,54	0,75	0,53	0,62
40	0,39	0,36	0,38	0,30
80	0,21	0,09	0,20	0,07
100	0,15	0,04	0,14	0,04
50	0,33	0,25	0,32	0,21
55	0,31	0,21	0,30	0,18
25	0,50	0,63	0,48	0,52
35	0,42	0,44	0,41	0,36
18	0,56	0,81	0,54	0,67
45	0,36	0,30	0,35	0,25
52	0,32	0,24	0,31	0,20
90	0,18	0,06	0,17	0,05
75	0,22	0,10	0,21	0,09
65	0,26	0,15	0,25	0,12
70	0,24	0,12	0,23	0,10

Tablas 22 y 23: Variación de Fricción a distintas velocidades de operación para Señalización con Material Preformado y Termoplástico, con valores de Macrotextura 0,35 mm en la Recepción Provisoria y en el año 2022.

Resumen: Aunque se tenga CRD elevados, se sugiere una macrotextura mínima de 0,50 mm.

5.4.5. *Análisis del CRD en la Planilla 1- Central.*

Se recuerda que en el caso del Coeficiente de Rozamiento (CRD) no hay exigencia en este Contrato de ningún valor a lo largo del tiempo para el pavimento, pero si se tiene una exigencia en toda la Demarcación Horizontal (o sea que abarca la Demarcación Preformada y la Termoplástica) de que el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento tiene que adoptar un valor mínimo de 0,45 para Señales Clase 1, medido con Equipo Portable de Medición Péndulo del TRRL (Adjunto de Especificaciones Características de la Señalización Horizontal-Segunda Edición 2001-Uruguay).

Se ve según las Tablas 17 y 18, si se hace la Recepción Provisoria con este valor de CDR 0,45, entonces al año y medio se tendía un valor de CRD 0,31 y en ese caso no se puede colocar esta Demarcación en Zonas de Velocidad Mayor a 80 km/h. Esto es válido tanto para Demarcación con Material Preformado y Termoplástico. Y luego pasando el tiempo, a los 2 años y medio para Preformado y 2 años para Termoplástico, se mantienen con ese valor casi constante hasta finalizar y llegar a su vida útil.

Se observa que, al comienzo de ejecutado el pavimento y la Demarcación tipo Imagen, el valor del CRD en promedio es de 0,85 para la Demarcación y de 0,65 para el Pavimento.

O sea, el valor de CRD de la Demarcación está muy por encima del Pavimento. Esta medición se obtuvo sobre la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado, ejecutado en mayo del 2024 y sobre la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico ejecutado en diciembre del 2023 (o sea dicha Demarcación tenía 6 meses de ejecutada cuando se midió la Macrotectura y el CRD).

Por lo tanto, lo que podemos decir es que: No existe problema con la Demarcación tipo Imágenes con Material Preformado y Termoplástico, para colocarlas hasta 90 km/h. Pero para ello el valor inicial o sea para la Recepción Provisoria tiene que ser min del CRD 0,65 o exigir que en todo momento el valor CRD 0,45 (se observa en la Planilla 1 – Central estos valores de Fricción, para la distinta combinación de materiales).

Luego a medida que va pasando el tiempo, o sea cuando se midió en junio del 2024 Señalización tipo Imagen ejecutada en diciembre del 2022, o sea **un año y medio después de ejecutada** se observó lo siguiente:

- **El valor del CRD en el Pavimento disminuyó un 5% y en la Demarcación tipo Imagen con Material Preformado un 30%.**

- **En la Demarcación tipo Imagen con Material Termoplástico con un año de ejecutada (se compara diciembre del 2023 contra diciembre del 2022) también hubo una disminución del CRD del 30%**

Se observa que la variación de CRD comienza con una película de pintura termoplástica preformada o termoplástica por extrusión “a desgastarse, romperse pero siguen existiendo sectores con la película de pintura “sin la rugosidad elevada inicial”, entonces en el conjunto de esta superficie el resultado es que los áridos que comienzan a quedar descubiertos en su etapa de pulimento no compensan los sectores que tienen aún la película de pintura (como marcamos las zonas con la flecha abajo en las Figuras 17 y 18).



Fig. 17 y 18: observación de la superficie con Demarcación Tipo Imagen Preformada.

Luego, sigue pasando el tiempo y se midió Pavimento y Demarcación tipo Imagen **ejecutados en**

el 2021 o sea dos años y medio después de ejecutada se observó lo siguiente:

- **El valor del CRD en el Pavimento disminuyó un 6% y en la Demarcación tipo Imagen con Material Preformado / Termoplástico un 32%.**

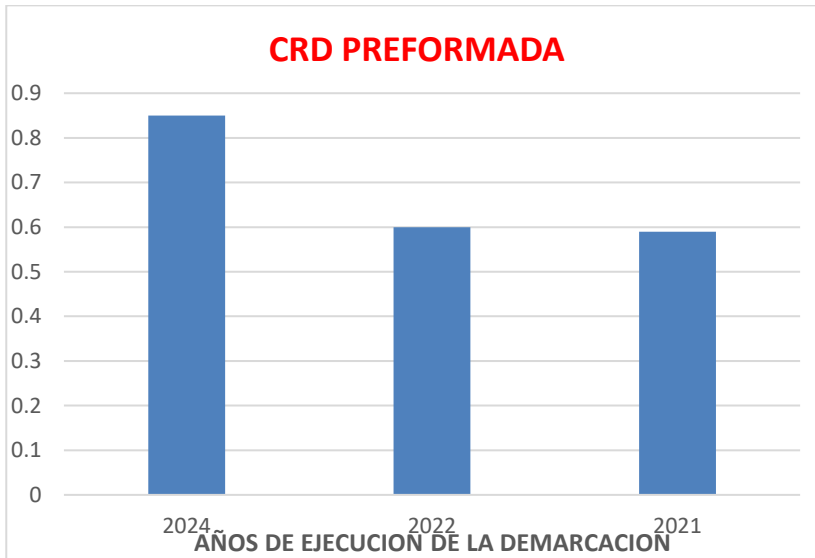


Gráfico 10. Evolución del CRD con el paso del tiempo, en la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.

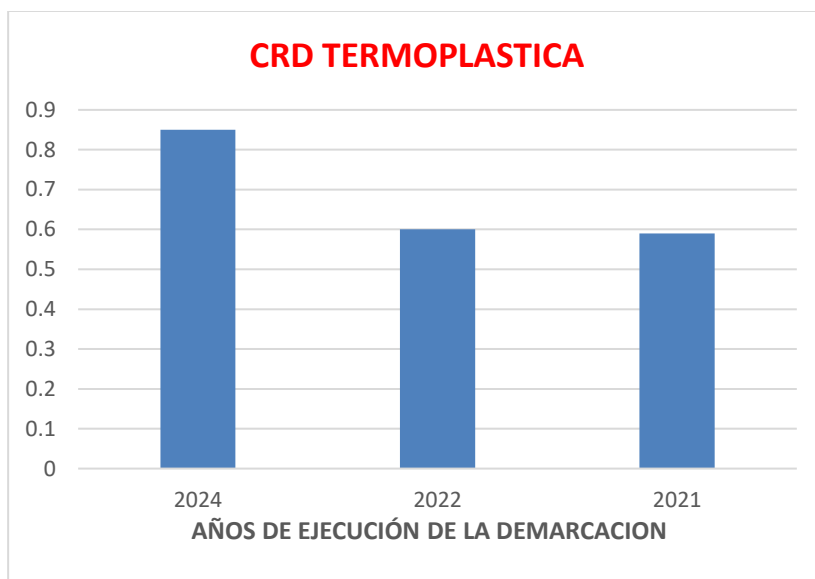


Gráfico 11. Evolución del CRD con el paso del tiempo, en la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico.

Por lo tanto, se puede concluir:

- Luego de 1 año y medio de ejecutada la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado su CRD disminuye un 30% teniendo un valor promedio de 0,60, y luego a los 2 años y medio disminuye un 2% más teniendo un valor promedio de 0,59. Por lo tanto, luego del primer año y medio de disminución del CRD se mantiene con un valor constante con el paso del tiempo, hasta llegar al valor estable de 0,59 a 30 meses de ejecutada la Señalización.
- El pavimento circundante a esta Demarcación bajó su valor luego de 1 año y

- medio de ejecutado, de un valor de 0,65 promedio a un valor de 0,62 promedio, un 5% y luego de 2 años y medio de ejecutado un 2% más, llegando a un valor de 0,61 prácticamente estable. En total en 2 años y medio disminuye su CRD en un 7%.
- Luego de 1 año de ejecutada la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico su CRD disminuye un 30% teniendo un valor promedio de 0,60, como se observa en el Gráfico 12 y luego a los 2 años y medio disminuye un 2% más teniendo un valor promedio de 0,59. Por lo tanto, luego del primer año de disminución del CRD se mantiene con un valor constante con el paso del tiempo, hasta llegar al valor estable de 0,59 a 24 meses de ejecutada la Señalización.

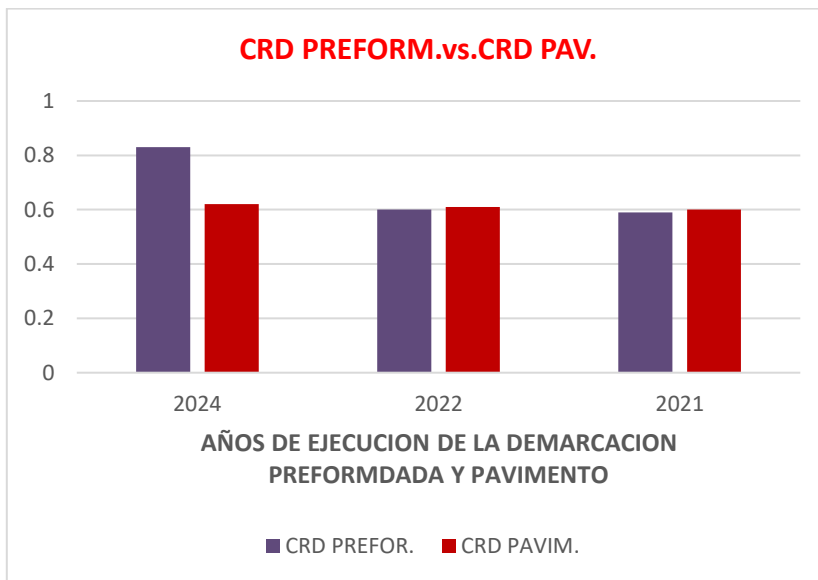


Gráfico 12. Evolución del CRD con el paso del tiempo, comparado Pavimento versus Demarcación con Material Preformado.

- El pavimento circundante a esta Demarcación se comporta de igual forma que el anteriormente indicado (Ver Gráfico 13). Se observa en los Sigüientes Gráficos la variación comparativa:

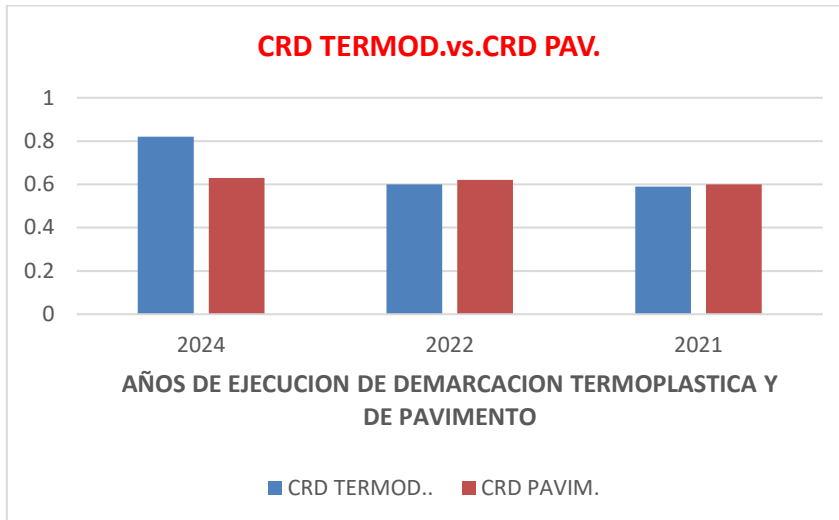


Gráfico 13. Evolución del CRD con el paso del tiempo, comparado Pavimento versus Demarcación con Material Termoplástico.

Si bien la diferencia en tiempo es poca, se puede observar un mejor comportamiento respecto a la Fricción de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado que con Material Termoplástico (demora más tiempo en disminuir su CRD, 6 meses más). A simple vista una Demarcación tipo Imagen con Material Preformado tiene un comportamiento más de papel lija que una Demarcación tipo Imagen con Material Termoplástico.

En cuanto a la comparación con el Pavimento Circundante, se comienza con respecto a la Fricción por encima del Pavimento o sea con una Fricción mayor, y luego de 1 año y medio de construida la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y de 1 año de construida la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico el Pavimento pasa por encima a la Demarcación con su Performance de Fricción y sigue siendo superior su comportamiento en cuanto a la Demarcación hasta finalizar aproximadamente la Vida útil de la misma.

5.4.6. Análisis del IFI en la Planilla 1- Central.

En esta investigación para el diseño de la Planilla 1 -Central para cada tramo de ruta y su Señalización, usamos el Modelo PIARC para la Definición de Fricción (Investigación” Consideraciones para la aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México”- Secretaría de Comunicaciones y Transportes- Instituto Mexicano del Transporte: Diana Berenice López Valdés, Paul Guernica Anguas): Referencia Bibliográfica 3.

Debido a las diferencias obtenidas en las mediciones con distintos equipos y métodos, se realizó un experimento internacional (PIARC) de comparación y armonización de las medidas de Fricción y Textura. (Publicación PIARC-01-04. T-1995).

Este experimento internacional se realizó con 41 dispositivos de medición de deslizamiento y textura en 58 tramos (incluidas 10 pistas de aterrizaje en aeródromos) en España y Bélgica entre septiembre y octubre de 1992.

Se obtuvieron correlaciones entre los diversos dispositivos de medición de macrotextura y fricción.

Se determinó la necesidad de expresar las mediciones adherencia mediante un parámetro comparable, llamado IFI (Índice de Fricción Internacional)

El IFI se compone de dos números expresados entre paréntesis separados por una coma, donde el primero es función de la macrotextura y el segundo de la fricción.

Ecuación 3: $IFI = (F60, Sp)$

F60: Estimación de la fricción a 60 km/h

Sp: Constante de velocidad mediante las mediciones de macrotextura

Norma: ASTM E1960

1- Estimar el gradiente de velocidad Sp, usando la medición de Macrotextura (Tx):

Ecuación 4: $Sp = a + b.Tx$

Dónde:

- Tx= Medición de la macrotextura(mm)
- a, b = Constante para los diferentes métodos y dispositivos.

En el caso particular del uso de Perfilómetro Laser (ASTM E1845), a=14,2 y b=89,7

En nuestro caso particular del Uso del Parche de Arena, para el cálculo de la Macrotextura del valor de a= -11,5981 b= 113,63 (Norma ASTM E 965- MTD).

Y la medición de la macrotextura la hacemos con el Parche de Arena como detallamos, determinando

entonces el valor de Sp pues tenemos la macrotextura en cada uno de los casos.

2- Obtener la medida de fricción a una velocidad estándar de 60 km/h a partir de la velocidad de medición S del instrumento de medición utilizado.

En el caso particular del uso de GripTester, al tener la rueda parcialmente bloqueada un 14,5% se multiplica la velocidad de traslado por 0,145 si se mide a velocidad

Ecuación 5: $FR(60) = FR(S).e^{((S-60)/Sp)}$

Dónde:

- FR(60) = Valor de fricción ajustado

- $FR(S)$ = Valor de fricción medido por el dispositivo a la velocidad de deslizamiento S
- S = Velocidad de deslizamiento seleccionada para el dispositivo (km/h).
- Sp = Gradiente de velocidad calculado en el paso anterior.

$$FR(S) = FR(60) * e^{((60-S)/Sp)}$$

En el caso del Péndulo Británico la velocidad de deslizamiento es 10 km/h, por lo tanto tenemos que:

$$FR(S \text{ Péndulo Británico}) = FR(10) = FR(60) * e^{((60-10)/Sp)}$$

Por lo tanto, $FR(60)$ = Fricción ajustada del Péndulo Británico, que entonces como tengo el valor también de Sp puedo determinarla:

$$FR(60) = FR(10) * e^{((-60+10)/Sp)} = BPN * e^{((-50)/Sp)}$$

3- Luego **Ecuación 6: $F(60) = A + B * FR(60) = 0,07784 + 0,00709 * FR(60)$. Valores de A y B = Constantes de calibración para el dispositivo seleccionado para la medición de la fricción (ASTM E1960).**

Donde:

- $F(60)$ = estimación de la fricción a 60km/h
- $FR(60)$ = valor de la fricción ajustada

En esta investigación $F(60) = 0,07784 + 0,00709 * FR60$

4- Con los valores obtenidos entonces e Indicados en la Planilla 1- Central se obtiene el valor de los IFI para cada tramo, calculando el Promedio para la Señalización y para el Pavimento circundante de los Valores Promedios de medición de Macrotextura y de Coeficiente de Rozamiento (medición indirecta de la Microtextura).

5- Con estos valores de IFI para cada tramo de ruta y su señalización, podemos determinar los valores de Fricción para distintas velocidades de circulación y allí poder determinar los valores que pueden llegar a afectar la seguridad del usuario, así como observar para que valores podemos asegurar que es seguro circular. Las curvas de IFI para Pavimento y Señalización a distintos años y con distintos materiales, son características: aumenta la velocidad, disminuye la Fricción (Ver Comportamiento de Fricción vs. Velocidad de deslizamiento en Gráficos 14 al 19).

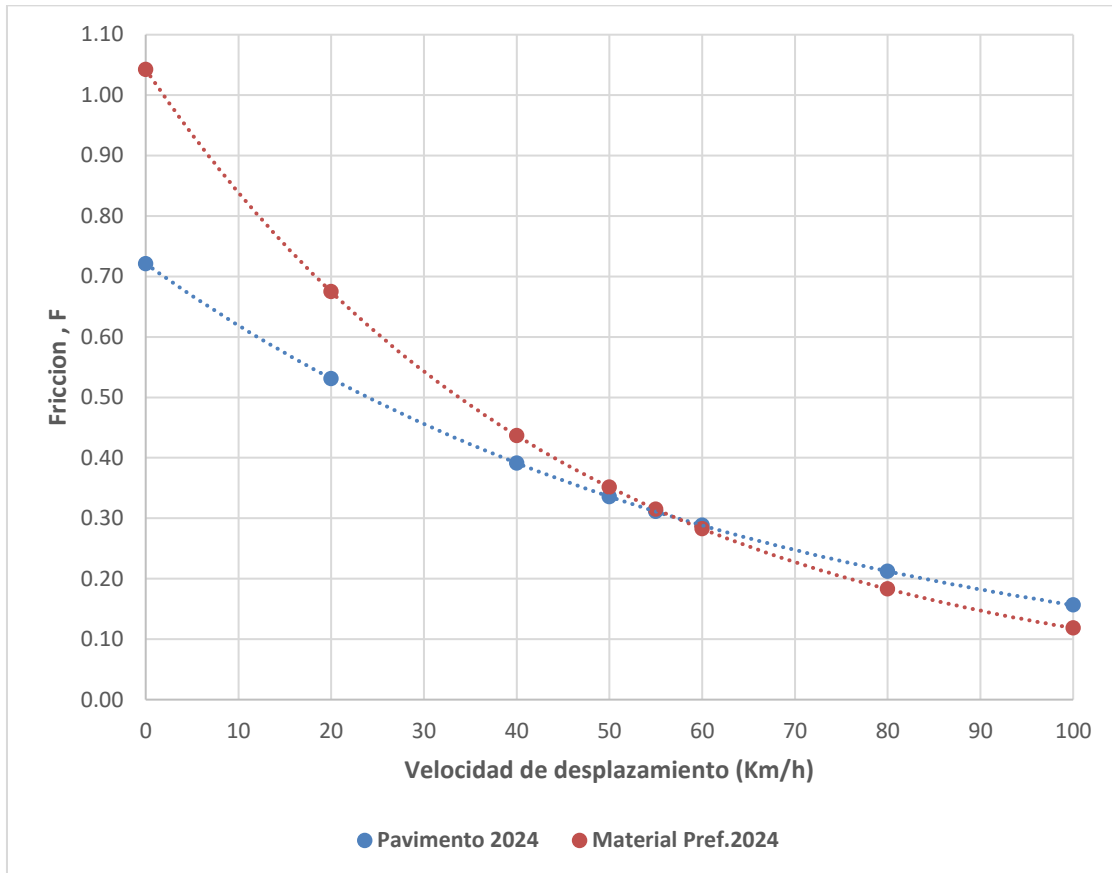


Gráfico 14. Curvas de IFI para Pavimento versus Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado Ejecutados en el 2024.

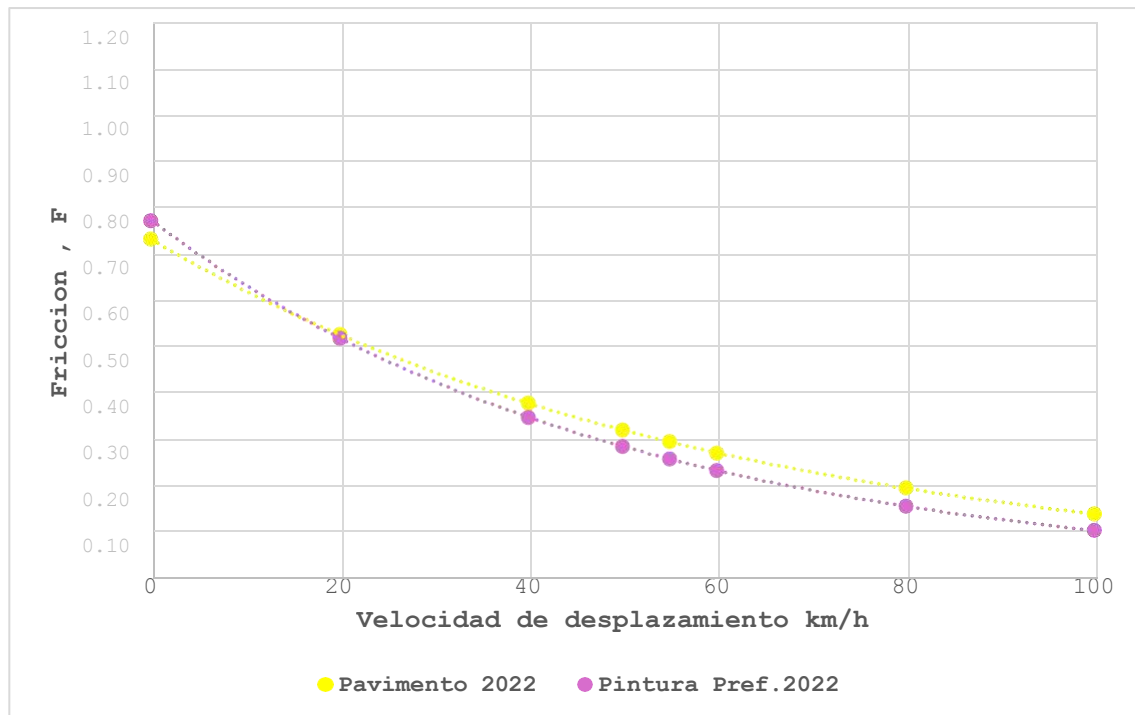


Gráfico 15. Curvas de IFI para Pavimento versus Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado Ejecutados en el 2022.

Recién ejecutado el Pavimento y la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado comienza por encima o sea con valores de Fricción más alto la Señalización, y con una Pendiente Mayor: hay una variación más abrupta de la Fricción sobre la Señalización que sobre el Pavimento, respecto al aumento de velocidad. Y a una velocidad mayor de 55 km/h se comporta mejor respecto a la Fricción el Pavimento circundante a la Señalización.

Cuando transcurrió un año y medio de ejecutada la Demarcación, la Fricción del Material Preformado sigue arrancando por encima del Pavimento, muy próximo a este, y luego se desarrollan casi una curva de Fricción pegada de la Demarcación Preformada y el Pavimento. O sea que varían prácticamente de la misma forma la Demarcación y el Pavimento, y a una velocidad mayor de 20 km/h el Pavimento presenta mejor Performance que la Demarcación.

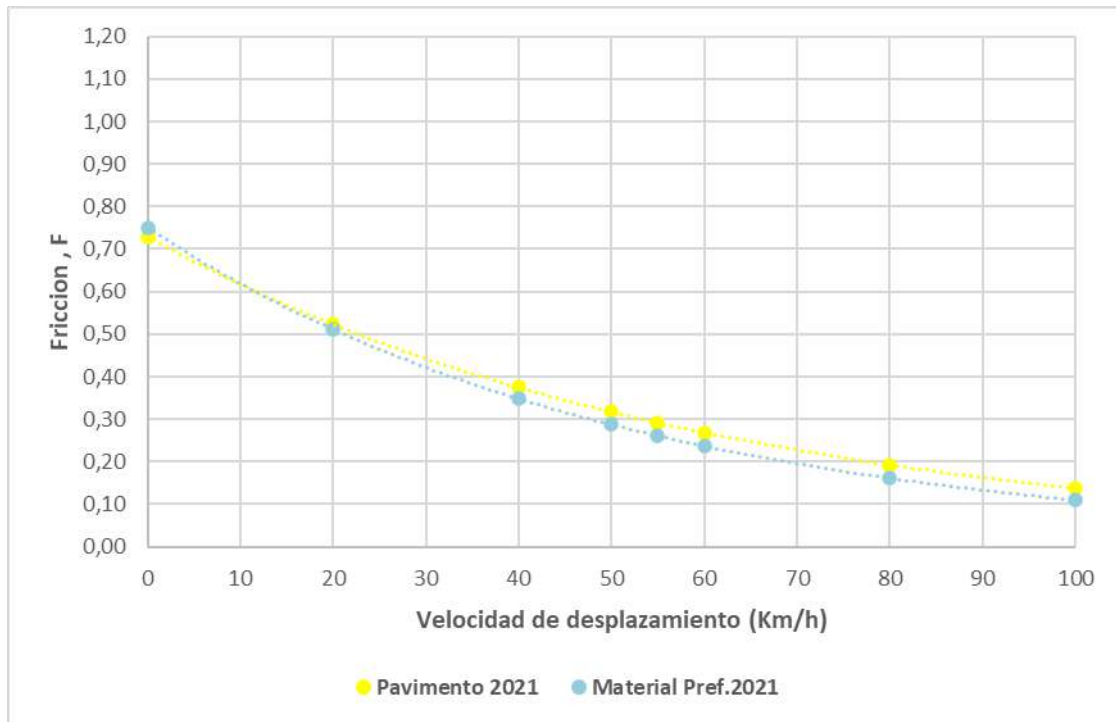


Gráfico 16. Curvas de IFI para Pavimento versus Señalización Tipo Imagen con Material Preformado Ejecutados en el 2021.

Luego de 2 años y medio el Material Preformado y el Pavimento Circundante tienen el mismo comportamiento. Ya se comienza a ver deterioro en la Superficie de la Demarcación Tipo Imagen, que según la práctica de la Empresa Viamás S.A que los ejecuta termina su vida útil entre los 36 meses y 40 meses de ejecutada.

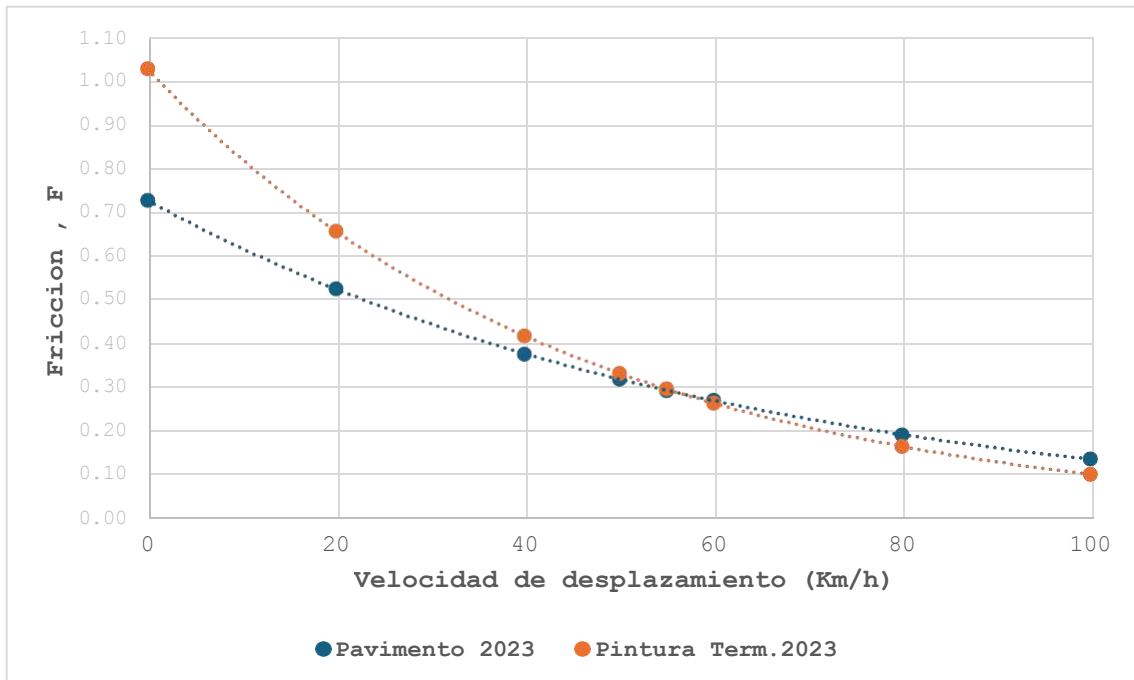


Gráfico 17. Curvas de IFI para Pavimento versus Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico Ejecutados en el 2023.

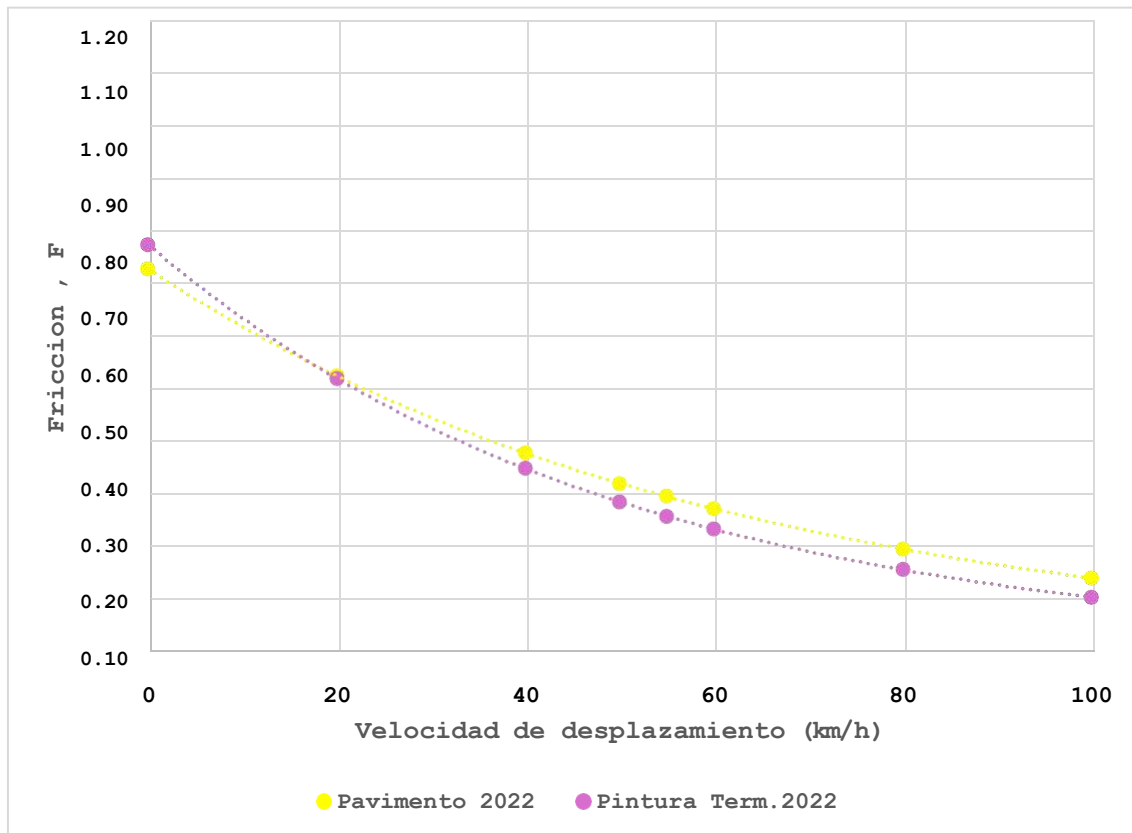


Gráfico 18. Curvas de IFI para Pavimento versus Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico Ejecutados en el 2022.

Recién ejecutado el Pavimento y la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico comienza por encima o sea con valores de Fricción más alto la Señalización, y con una Pendiente Mayor: hay una variación más abrupta de la Fricción sobre la Señalización que sobre el Pavimento respecto al aumento de velocidad.

Y a una velocidad mayor de 55 km/h se comporta mejor respecto a la Fricción el Pavimento circundante a la Señalización.

Cuando transcurrió un año de ejecutada la Demarcación, la curva de Fricción del Material Termoplástico sigue arrancando por encima del Pavimento, muy próximo a este, y luego se desarrollan casi una curva de Fricción pegada de la Demarcación Termoplástica y el Pavimento. O sea que varían prácticamente de la misma forma la Demarcación y el Pavimento, y a una velocidad mayor de 20 km/h el Pavimento presenta mejor Performance que la Demarcación.

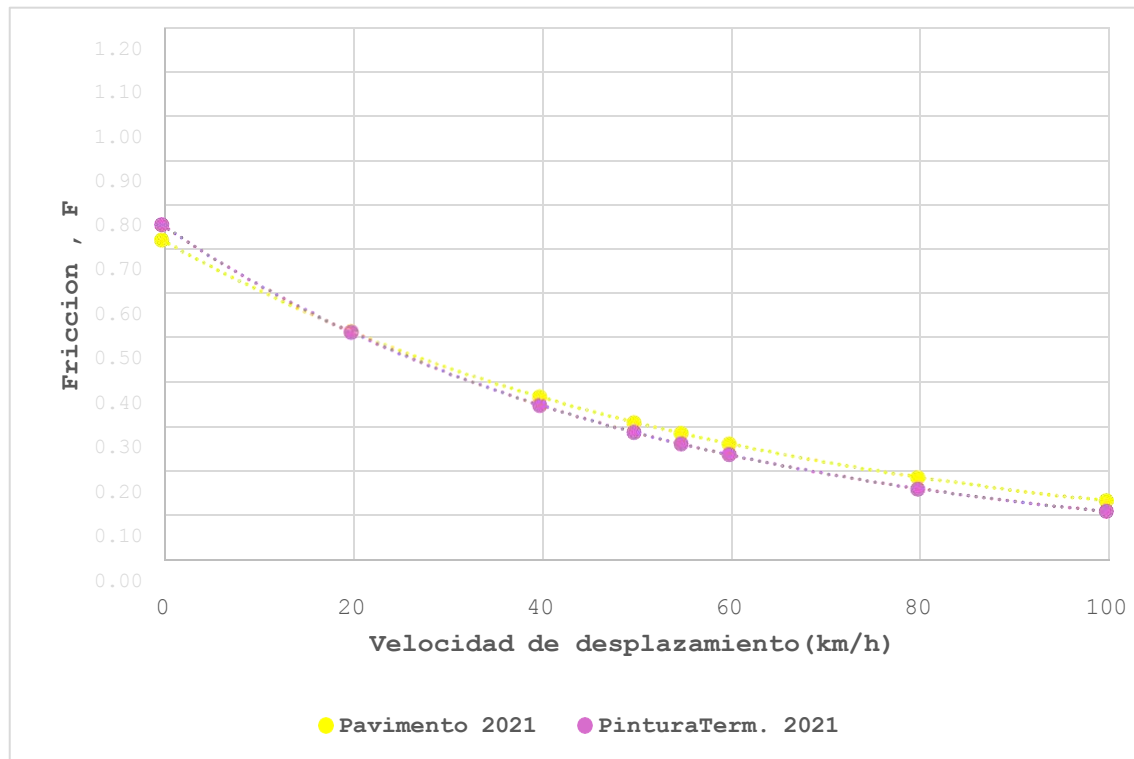


Gráfico 19. Curvas de IFI para Pav. vs. Demarc. Tipo Imagen con Mat. Termo. Ejecutados en el 2021.

Luego de 2 años el Material Termoplástico y el Pavimento Circundante tienen el mismo comportamiento.

Ya se comienza a ver deterioro en la Superficie de la Señalización Tipo Imagen, que según la práctica de la Empresa Viamás S.A que los ejecuta termina la vida útil entre los 24 y 30 meses de ejecutada.

5.4.7. Comparaciones de valores obtenido con el GripTester y con Péndulo Británico.

Si bien no existe una comparación directa con las mediciones obtenidas entre el Grip Tester y el Péndulo Británico, se podrían usar las relaciones existentes en el Art. Índex Relationships de la “Guide for Pavement Friction” de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Referencia Bibliográfica 4, pero tenemos solo puntualmente la medición hecha con rueda lisa con el Equipo Grip Tester

Ecuación 7:
$$BPN=20+0.405*FN40R+0,039*FN40S$$

Donde:

BPN es el British Pendulum Number o sea el valor de la Resistencia al Deslizamiento obtenido con el Péndulo Británico.

FN40R es el Número de Fricción usando rueda acanalada a 64km/h FN

40S es el Número de Fricción usando rueda lisa a 64km/h.

Como solo se tiene de la Udelar las mediciones con Rueda Lisa, no se puede concluir nada.

Se siguió investigando y se encontró un Trabajo al respecto: Referencia Bibliográfica 30.

De acuerdo con el mismo, presentado por los Ingenieros Solminihac, Bustos, Echaveguren y Caroca de la Universidad Pontificia Católica de Chile y de la Universidad Nacional de San Juan de Argentina, publicado en junio de 2004 existe una Ecuación de Correlación entre la Medida de la Resistencia al Deslizamiento entre Grip Tester y Péndulo Británico:

Para textura medida con Círculo de Arena: Usamos los valores del Grip Tester de Rueda Lisa porque así es el equipo de la Udelar (Universidad de la República)

Ecuación 8: $GNE = 0.00867 BPN - 0.04348 Tx ^{(- 1.29452)} - 0.00032 BPN Tx$

Error Estándar = 0,0066; Grados de Libertad = 104

1.- **Preformada: BPN= 60; TX=0,55** (Usamos el valor medio de BPN de la Señalización con Material Preformado del año 2022 o sea a un año y medio de ejecutadas para simular el mismo tiempo de construida que cuando midió la Udelar con el Grip Tester) **GNE= $0.00867*60-0,04348*(0,55)^{(-1,29452)}-0,00032*60*0,55=0,398$** ; con Grip Tester dio **GN=0,302**

2.- **Pavimento: BPN= 63; TX=0,64**

GNE= $0,00867*63-0,04348*(0,64)^{(-1,29452)}-0,00032*63*0,64=0,45$; con Grip Tester dio **GN = 0,6**

Sería los mismos valores si hacemos la comparación con Pintura Termoplástica y Pavimento.

O sea que de las mediciones que se realizaron con el Equipo GripTester de la Udelar y por el Maestrando con el Péndulo Británico se tiene que tanto en la Señalización como en el Pavimento los resultados son del orden.

Fue medido por el Maestrando Demarcaciones tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico con un año y medio de antigüedad sobre ruta: ya no existía el lugar donde midió con el Grip Tester el LCCP-Udelar(Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos), porque fue demolido para hacer otra Obra (solicitada por el M.T.O.P al Grupo San José S.A) . Pero sí existía sobre Ruta 3 otro lugar de pavimento y Demarcación con la misma antigüedad, con los mismos materiales y con el mismo personal de ejecución que aquella sobre la que midió el LCCP Laboratorio de Calidad

de Pavimentos de la Udelar en junio del 2023 (pues se quiso de forma estática con Parche de Arena y Péndulo Británico hacer las comparaciones de medición de Fricción, medida en forma dinámica con Grip Tester y Perfilómetro Láser): existe una disminución de la Fricción entre la Demarcación Preformada/ Termoplástica y el Pavimento Circundante cuando transcurrieron un año y medio de ejecutadas de un 5%.

Se recalculó el GripNumber sobre la Demarcación Tipo Imagen que había calculado el LCCP (Laboratorio de Calidad de Pavimentos de la Udelar) considerando que en el sector de Ruta 3 medido en ese momento (del km 70 al 72) el 80% de la Demarcación era de Material Preformado, y a que de acuerdo a la trazabilidad que posee la Empresa Viamás S.A de su Demarcación, en ese Sector en el 2021 hubo problema con las Microesferas de la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico (que ocasionó que se desprendieran muy rápido las Microesferas, por lo que la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico no es representativa de la misma sobre ruta 3).

El valor del Grip Number obtenido (usando las mismas planillas que el LCCP) es de 0,37 para el Preformado, en lugar del 0,3 original de la medición).

Por lo cual la diferencia entre el GN Pavimento (0,6) y el GN Demarcación (0,37) es del 39%, luego de un año y medio de ejecutados el Pavimento y la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.

Por lo tanto, los resultados desde el Punto de Vista Numérico no son comparables entre el Grip Tester y el Péndulo Británico entre la Disminución de Fricción entre la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y el Pavimento Circundante (39% con el Grip Number y 5% con el Péndulo Británico). Pero si el Pavimento tiene un Performance Superior con respecto a la Fricción por encima de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado.

Se debe tener en cuenta que esta diferencia está marcada por las siguientes consideraciones:

- No se pudo medir con el Péndulo Británico en ese sector específicamente de carretera, porque cuando se obtuvo en préstamo el Equipo de medición en junio del 2024, ya ese sector que había medido la Facultad de Ingeniería no existía: había sido demolido para hacer una nueva Obra (Ampliación 2 del Contrato PPP). Se comparó con otros sectores de ruta 3 con las mismas características.
- Que si bien el Péndulo Británico mide la fricción en una zona limitada de la superficie mediante el análisis de la desaceleración de un péndulo que oscila sobre la superficie a evaluar. Esta medición está influenciada por la inclinación y la

velocidad de oscilación del péndulo. Mide la fricción estática (es decir, la resistencia inicial al deslizamiento) de la superficie, lo que se relaciona con cómo una superficie comienza a deslizarse bajo una carga determinada.

- Que si bien el GripTester, por otro lado, mide la fricción en un área mayor a través de la resistencia que un neumático ofrece al deslizarse sobre la superficie, proporcionando una lectura directa de la adherencia, pero puede generar variaciones en las lecturas si las condiciones de la superficie no son homogéneas. Mide una forma de fricción dinámica, que es la resistencia al movimiento una vez que el objeto ha comenzado a deslizarse, lo que puede diferir de la fricción estática. Tiende a ser más sensible a las condiciones ambientales debido a la mayor área de contacto del neumático con la superficie.
- Las Condiciones de prueba son distintas: El Equipo Grip Tester necesita ser remolcado a una velocidad constante mientras que el Péndulo Británico es Manual, depende del operador y pueden tener las mediciones más variabilidad.
- El Grip Tester mide sobre un área mayor, lo que, a promedias irregularidades, en el caso del Péndulo Británico tiene alta sensibilidad a la microtextura y pequeñas áreas
- Que el GripTester tiende a proporcionar una medición más precisa y en tiempo real, mientras que el Péndulo Británico, aunque es bastante preciso en condiciones controladas, puede ser más susceptible a errores de lectura por parte del operador y dificultades en superficies muy rugosas o con texturas complejas, aunque las mediciones son más sensibles a las condiciones de la superficie en cuanto a rugosidad y textura.
- Se considera que cuando se hace medición con Péndulo Británico, es en un punto en particular de la Demarcación y el Pavimento (que se busca el Punto que sea representativo tanto sobre el Pavimento como sobre la Demarcación y se hace con una velocidad de medición del CRD de 10 km/h) y cuando se hace con el Grip Tester por más que se trató de separar los sectores de Demarcación de los del Pavimento, se hace a una velocidad de 60 km/ h y “barriendo zonas” que pasan de pavimento, señalización, pavimento. Se puede decir que representa más la realidad de lo que experimenta el Conductor al pasar sobre este Sector pintado de carretera.
- El Grip Tester tiene una desviación estándar típica del 2-5% en condiciones bien controladas (datos del LCCP-Udelar).
- El Péndulo Inglés puede mostrar variaciones del 5-15% o más entre operadores o condiciones ambientales (principalmente en superficies rugosas o inclinadas, datos de la Empresa Bitafal S.A).

- Que cuando se midió con el GripTester se consideró un Universo de 6 Imágenes Preformadas, cuando se hizo con el Péndulo Británico se midieron 17 imágenes Preformadas (6 construidas en el 2024 o sea recién hechas; 7 construidas en el 2022 o sea a un año y medio de ejecutadas y 4 construidas en el 2021 o sea a dos años y medio de ejecutadas). Por lo cual estadísticamente es mayor el Universo de medida con el Péndulo Británico que con el GripTester. Y siempre fue realizado por el mismo Operador (el Maestrando y ayudante), obteniéndose un Universo de medidas fiable y comparable en los puntos elegidos.
- Que, en resumen, las diferencias en los métodos de medición (estático vs dinámico), las condiciones de la superficie y la sensibilidad a factores ambientales pueden llevar a que las mediciones de fricción obtenidas con el Péndulo Británico y el GripTester no sean comparables. Sin embargo, ambos métodos son útiles y pueden complementarse dependiendo del tipo de superficie y las condiciones de prueba, y se obtiene de ambas mediciones que sobre las Superficies con Demarcación se tiene una Fricción menor que sobre el Pavimento sin Demarcación, de al menos un valor del 5%.

6. Diferencia de Fricción entre Demarcaciones Preformadas con Material Preformado y con Material Termoplástico.

Se observa en esta Investigación que, en el caso de Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado, en un año y medio se pasa de un valor de CRD de 86 a 60. Y en el caso de la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico, en un año se pasa de un valor de CRD de 85 a 60.

En el caso de la Macrotextura, se pasa de un valor inicial en el Material Preformado de 0,50 mm a 0,55mm a un año y medio de ejecutada la Demarcación. Y en el Material Termoplástico se pasa de un valor de Macrotextura de 0,51 mm a 0,55 mm a un año de ejecutada. Se tiene entonces una aceleración de 6 meses en el Desgaste de Fricción de la Demarcación Tipo Imagen con Material Termoplástico, que con Material Preformado. **Si bien no es una diferencia importante temporalmente, se aúna a otras razones para preferir colocar en Zonas Urbanas, Suburbanas Demarcación tipo Imágenes con Material Preformado (ver Fig. 19): son más rápidas de ejecutar, sobre todo pensando en zonas donde se tenga que cerrar algún carril de la carretera para trabajar.**

Se investigó con personal idóneo de la Empresa Viamás S.A esta aceleración del desgaste al comparar el Material Termoplástico con el Material Preformado y se indicó que esto podría deberse a la distinta modalidad con que se colocan las Microesferas de Sembrado que son las primeras que se desprenden cuando se coloca en uso la

Demarcación.

Las Microesferas son distintas en su composición en el Material Preformado y en el Material Termoplástico (Ver Figs. 29 a 31). Esto se debe además que su metodología de aplicación es distinta: en el Preformado cuando se saca la lámina de la Señalización para colocar en el Pavimento ya vienen incorporadas las microesferas de sembrado junto con las microesferas de la composición, que fueron cayendo uniformemente por una tolva anexa sobre la Imagen Preformada que voy colocando en el Pavimento: Ver figuras 20 a 28 del Proceso. En cambio, en la Demarcación Tipo Imágenes hecha con Material Termoplástico, estas Microesferas de Sembrado se colocan a presión por una Pistola que también varía su ángulo y presión, o sea que la intervención en la colocación es más manual que en la del Preformado, que salen las Microesferas de Sembrado en conjunto con el material que se coloca sobre el pavimento: Ver figura 28. O sea la metodología incide directamente en el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento: en el Preformado cuando llega al Pavimento lo hace ya con las Microesferas de Sembrado ya colocadas de forma homogénea en toda la lámina, en la Termoplástica se van colocando las Microesferas de Sembrado a medida que voy pintando la Imagen. Por lo cual, la pérdida de las Microesferas de Sembrado es más fácilmente que se de en la Señalización Tipo Imagen con Material Termoplástico que en el Material Preformado. Y estas Microesferas de Sembrado influyen directamente sobre la Fricción. La tipología de Microesferas de Sembrado es distinta y la cantidad que coloco también: es mucho mayor en la Pintura Termoplástica de tipo Preformado que en la Pintura Termoplástica por Extrusión. Si bien las dos Pinturas Termoplásticas usadas en el Preformado y en la Señalización Tipo Imágenes con Material Termoplástico por Extrusión son similares en cuanto a su composición, las características mecánicas son distintas porque justamente podemos Preformar Imágenes que con el tipo Termoplástica común no podemos: Sacamos la Imagen Preformada pronta ya para colocarla sobre el Pavimento, y queda más rígida que la Imagen de Termoplástica que se ejecuta directamente sobre la superficie del Pavimento. **Cuando estoy colocando el Preformado lo hago a una Temperatura de fundición alta de 195 a 220°C, y para la Termoplástica es un tanto menor: de 190 a 210°C.**

De acuerdo a los Pliegos de la Dirección Nacional de Vialidad (MTO) exige que la pintura usada para la demarcación de las líneas y marcas a usar deberán ser antiderrapante y la reflectividad de la marca deberá lograrse con microesferas de vidrio tipo pre-mix (se mezclan previamente con la pintura antes de aplicarla sobre la superficie , como es el caso del Preformado y tipo drop-on: se espolvorean o rocían

sobre la pintura aún húmeda luego de su aplicación en la carretera, como es el caso de la Pintura Termoplástica).



Fig.19: Preformado sobre la ruta.



Fig.20: Cae la pintura a la batea, que contiene Microesferas de composición. Pasa el nylon especial que se encuentra en rodillo a la izquierda por debajo, para servir como base a la pintura y formar la plancha.



Fig.21: Sale la plancha de Preformado.



Fig.22: En el tanque superior naranja se encuentran las Microesferas de Sembrado, colocadas por la tolva a velocidad constante y de forma homogénea.

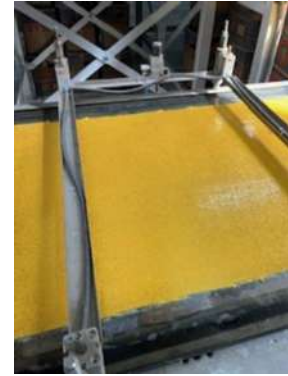


Fig.23: Se observan las Microesferas de Sembrado colocadas en la superficie de forma homogénea, superficie rugosa.



Fig.24: Camino al enfriamiento de la lámina Preformada.



Fig.25: Enfriamiento de la lámina Preformada.



Fig.26: Regulación del espesor entre 2,7 y 3 mm.



Fig.27: Acopio de láminas de Preformado Amarillo, Base para Señalización Tipo Imágenes.



Fig.28: Ejemplo de Pintura Tipo Spray para pintado de líneas de demarcación: Delante va cayendo la pintura, detrás a la izquierda las pistolas van colocando Microesferas de Sembrado (en las Pistolas se regular su ángulo y la presión con que salen las Microesferas). No se disponía en ese momento de Imágenes del Pintado de Demarcación Tipo Imágenes con Material Termoplástico por Extrusión que fue la que se investigó: el procedimiento es el mismo que el mostrado en la Imagen 27: cae pintura por gravedad y atrás van las pistolas depositando las Microesferas de Sembrado. La única diferencia es que no es un camión que va avanzando sino un carro de pintado.

Para los Preformados las Microesferas de composición son un 30% del Peso total de 400 kg (el resto es de otros componentes) y en el sembrado se coloca un 13% aproximado del Peso total indicado.

Para la Pintura Termoplástica las de composición vienen en conjunto con la Pintura (las coloca el proveedor, es un secreto de fórmula, pero se calcula que se anda en un entorno de un 30% aprox.) y de sembrado se colocan 500-600 g/m², que aproximado en peso dará un 9 o 10% del peso total. Este es un dato empírico, que se obtuvo de las distintas correcciones de prueba para lograr la Retroreflexión exigida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y para lograr un Producto Uniforme en todos sus lotes. Promax es el Proveedor de Microesferas para Preformado (Especificaciones Técnicas en el Anexo 18), y Swarco y Glassbeads (Especificaciones Técnicas en los Anexos 16, 17 y 20) para la Pintura Termoplástica (estas son de menor calidad que las anteriores). El procedimiento de colocación es distinto y más que nada con las microesferas que producen la rugosidad superficial que como observamos contribuyen fuertemente a que la Fricción inicial de la Pintura Preformada sea superior al de la Pintura Termoplástica, y es lo que hace que las Microesferas de Sembrado “se retiren, se desprendan” antes de la Pintura Termoplástica y luego se queden las de composición propia de la pintura. Por eso se calcula que es esa diferencia en cuanto al comportamiento a la Fricción de 6 meses aproximadamente, luego llegan a estabilizarse el comportamiento de ambas pinturas.

Se debe tener en cuenta que en esta Investigación se trabajó con las Marcas Viales

Clase 1 según el Adjunto 2001 de la Norma Uruguaya de Señalización. O sea, este tipo de Demarcación es el que está en el 80% de la Red Vial Nacional, luego hay rutas como la Interbalnearia o Ruta 200 que por unir Montevideo con todos los Balnearios del Este (principal corredor turístico del País) así como rutas próximas a los aeropuertos como la 101, 102 en tramos tienen una Demarcación Clase 2 (Calidad Superior, Altamente Reflectiva). Y por último los caminos departamentales o la Red Terciaria del Uruguay la gran mayoría son pintados con Demarcación tipo Clase 0 (la visibilidad nocturna de la demarcación no depende de su visibilidad).

La diferencia principal entre una pintura altamente reflectiva y una poco reflectiva en cuanto a las microesferas radica en dos aspectos clave: La Densidad de las microesferas de

sembrado y la composición y calidad de las microesferas (Información de Viamás S.A). En las de Alta reflectividad se aplica una mayor cantidad de microesferas, en las de Clase 1 se colocan como se dijo 500 -600 g/m² que en peso significa 9 o 10% del total del peso, en el Material Termoplástico por Extrusión. Por lo tanto, cuando se tiene Clase 2 se coloca como 600-700 g/m² que en peso significa 11 -12% del total del peso. Y en el caso de las de Clase 0 se colocan de 100-300 g/m² que significa en peso un 5-6% del total del peso, esto reduce la capacidad de la pintura para reflejar la luz (se priorizan otras características como color o textura, no el brillo). Y hasta a veces en caminos departamentales no se colocan microesferas.

Como se dijo, la colocación de una cantidad mayor de microesferas por metro cuadrado logra una mayor dispersión de la luz incidente, y eso maximiza la retrorreflectividad. Además, la calidad de las Microesferas en el caso de Alta Reflectividad es de calidad superior: se usan microesferas de vidrio de alta calidad, con alta esfericidad y transparencia, y en algunos casos con recubrimientos especiales para mejorar la reflectancia.

Por lo cual estas microesferas que contribuyen fuertemente a tener una muy buena Fricción Inicial, en el caso de que se construyera una Señalización tipo Imágenes Clase 2 debería exigirse entonces a lo largo de toda su vida útil un valor de Coeficiente de Resistencia a la Fricción mayor y en el caso de Clase 0 un Coeficiente de Resistencia a la Fricción menor. Por lo tanto, si se hace proporcional a las Esferas de Sembrado el valor de CRD exigido a la Señalización, entonces tendríamos para Clase 0 un valor Menor de CRD 45 en todo momento de la Vida útil de la Demarcación y para Clase 2 un valor Mayor de CRD 45.

Pero se aclara que esta Investigación estudió valores de Recepción Provisoria, Definitiva y durante su vida útil de la Demarcación Tipo Imagen con Material

Preformado y Termoplástico, y son Clase 1. No se estudió ni Clase 0, ni Clase 2 porque la Red Vial del Uruguay es en el 80% Carpeta Asfáltica y Demarcación Clase 1. Además, la disponibilidad de los Equipos de Medición para esta Investigación estaba acotada, así como la cantidad de personal necesario de apoyo para realizar las mediciones y la disponibilidad de contar con el Personal en la Zona de Ruta 3. Es muy complejo y oneroso disponer de personal para realizar estas mediciones con Péndulo Británico y Parche de Arena, alejados del centro del trabajo.



Fig.29: Microesferas composición del Preformado izq.

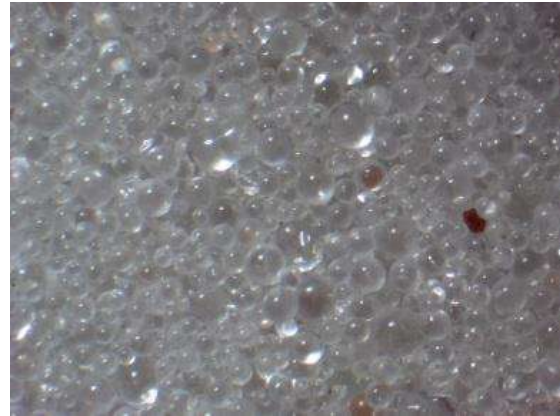


Fig.30: Microesferas sembrado Termoplástica

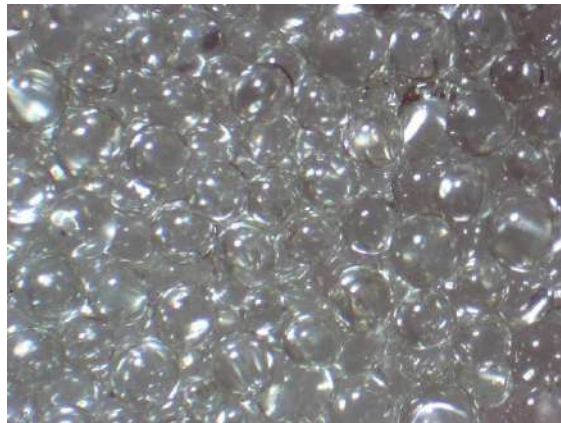


Fig.31: Microesferas sembrado Preformado.

Por eso se sugiere en zonas urbanas, de escuela y radares que ocupan áreas importantes de los carriles de circulación, si se tiene para elegir entre Material Preformado y Termoplástico, optar por este último, además de que la celeridad de ejecución marca la diferencia.

También se sugiere por lo anteriormente expuesto, que el Material Preformado debería tener controles de Fricción a los 36 meses de ejecutada y la Pintura Termoplástica a los 24 meses de ejecutada: medición de Macrotextura y Fricción.

De acuerdo a la experiencia de la Empresa Viamás S.A con los Materiales

Preformados, luego de 36 meses se agota la vida útil de esta Señalización.

O sea que se llega con un valor de CRD a los 30 meses de colocado, que está al límite de CRD 0,60. Este es un buen valor de Fricción, pero si llegado a los 36 meses y más, sigue disminuyendo del CRD se tendría que evaluar dos opciones: o se sustituye la Demarcación Tipo Imagen por una nueva o se ve algún procedimiento (que está hoy en estudio por la Empresa Viamás S.A) para colocar por ejemplo Microesferas de Sembrado, que contribuyen al aumento de la Fricción.

En cuanto a los Ruteros se observa en este Contrato que los que tenemos en ambos carriles están colocados en una zona de acceso de ruta 1 a ruta 3 o sea de 60km/h aproximadamente (se entra a una velocidad menor cuando entramos con la velocidad que nos marcan en otra ruta y tomamos una ruta nueva, pero justamente en este caso antes del acceso a ruta 3 está marcada una velocidad de 60km/h).

Fuera de este Contrato la Empresa Viamás S.A colocó Señalización de Velocidad a 75 km/h también, ruta 1 km 52. (Ver Figs.32 y 33).

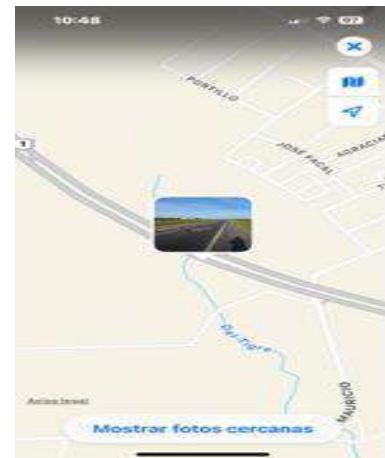


Fig.32 y 33: Demarcación Horizontal Tipo Imagen con Material Preformado en ruta 1. Zona de Velocidad 75 km/h en ruta de 90 km/h como velocidad de circulación.

Se podría llegar a colocar Ruteros a una velocidad de operación hasta 90 km/h sin problema, si al inicio de su colocación tiene al menos un valor de CRD 0,65 o un CRD 0,45 en todo momento de la vida de la Demarcación y considerando que la Macrotextura sea mín. de 0,5mm (permite una Macrotextura buena tener una correcta evacuación de las aguas superficiales a alta velocidad).

En esta Investigación no se midió la Fricción Lateral, pero los pavimentos de estas carreteras al igual que todas las Rutas Nacionales cumplen con valores de Fricción Lateral máxima por Especificaciones de Diseño.

Como se observa homogeneidad del Pavimento construido si se observa en sentido longitudinal y transversal, lo mismo con la Demarcación Tipo Imágenes con Material

Preformado/ Termoplástico , se puede llegar a extrapolar que el comportamiento en sentido transversal entre el Pavimento y la Demarcación es el mismo que en el sentido longitudinal

: por lo cual por transitividad, al tener menor Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico que el Pavimento, entonces cumple con la Fricción Transversal máxima de diseño que cumple el Pavimento. Esto hace que la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico cumpla en sentido transversal condiciones de seguridad para los usuarios al igual que los pavimentos, muy importante cuando se entra en una curva.

También se considera que cuando entramos en curva se reduce la velocidad con la cual se viene circulando, por lo cual podemos estar tranquilos con respecto a la Seguridad.

Por lo tanto, extrapolar el comportamiento de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico, se puede decir que se pueden colocar en curva sin ningún problema de seguridad.

7. Comparaciones de Resultados de esta Investigación con las Normativas y Guías Internacionales

7.1. La Permanent International Association of Road Congresses (PIARC).

Es una organización sin fines de lucro que promueve el intercambio de conocimientos sobre carreteras y transporte por carretera. Establece directrices sobre los valores de aceptación de la fricción en carreteras, que son fundamentales para garantizar la seguridad vial. Estos valores son indicativos de la capacidad de la carretera para proporcionar tracción, y su medición se realiza bajo condiciones de tráfico y climáticas específicas.

Sugiere que un coeficiente de fricción en carreteras mojadas debe estar por encima de 0.4 para garantizar una frenada segura y evitar deslizamientos peligrosos, particularmente en condiciones de tráfico alto y velocidades elevadas.

La Administración Federal de Carreteras de EE. UU. (FHWA) también establece que el coeficiente de fricción de las carreteras mojadas debe ser al menos 0.4 para cumplir con los estándares de seguridad vial. Esto es especialmente importante para carreteras de alta velocidad y áreas con condiciones meteorológicas variables.

A continuación, mostramos en la Tabla 24 los valores de aceptación de la fricción en carreteras, según las pautas de PIARC y otras organizaciones viales internacionales. Los valores se expresan en el coeficiente de fricción (CoF), que es una medida de la adherencia entre los neumáticos de un vehículo y la superficie de la carretera.

Condición de la carretera	Coefficiente de fricción aceptable
Carretera seca	>0.6-0.8
Carretera mojada (lluvia ligera)	>=0.4-0.6
Carretera mojada (lluvia intensa)	>=0.3-0.5
Carretera con nieve (seca o compacta)	>=0.2-0.4
Carretera con Hielo (seco)	>=0.1-0.2
Carretera con Nieve / Agua acumulada	>=0.1-0.3

Tabla N°24: Valores Mínimos de Aceptación de Coeficiente de Fricción.

Se adoptó en esta Investigación el valor 0,45 de Coeficiente de Fricción tomado como límite inferior nos brinda seguridad con respecto a la Fricción Desarrollada por el usuario a distintas velocidades de operación. Por lo tanto, es coherente con lo expresado por esta Organización.

7.2. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Es una entidad académica de investigación adscrita a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica (Fundado en la década de los cincuenta, es un Laboratorio Nacional especializado en la investigación aplicada, la docencia y la transferencia tecnológica en el campo de la protección de la infraestructura civil, vial y líneas vitales), para el Valor del Grip Number del Equipo GripTester se maneja (Ver Tabla 25):

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo o pulido
0,50 a 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o pérdida de textura
0,60 a 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas

Tabla N°25: Rango de Valores para GN

El Departamento de Calidad de Pavimentos de la Universidad de la República (Udelar: Universidad de la República) no tiene una Tabla adoptada asociada a valores, aunque consultado el Laboratorio de Calidad de Pavimentos de la Udelar corroboró que sería una buena escala para adoptar. Observando estos valores vemos que el GN 0,6 para pavimentos de un año y medio de construido, estamos ante una situación de Pavimento Poco Deslizante y con el valor de GN 0,3 sobre la Superficie de la Demarcación de Material Preformado y Termoplástico, obtendríamos una situación de Pavimento Muy deslizante. Ahora bien, estos valores son obtenidos con una velocidad de 60km/h, pero están colocados en zona urbana de 45km/h máx. y también según la medición de esta Investigación con Péndulo Británico se obtuvo valores de CRD 0, 60 al año y medio de

ejecutados y de buena Macrotextura.

7.3. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Es una agencia especializada de la Organización de las Naciones Unidas creada en 1944 por el Convenio sobre Aviación Civil Internacional para estudiar los problemas de la Aviación Civil Internacional y promover los reglamentos y normas únicos en la Aeronáutica Mundial. La dirige un consejo permanente con sede en Montreal, Canadá. Según la International Civil Aviation Organization (ICAO) los Rangos de Fricción en Pistas son los siguientes:

Art.6.4_ Anexo 14 OACI (Ver Tabla 26): “La tabla y los términos descriptivos conexos que se dan a continuación se prepararon basándose solamente en los datos sobre el rozamiento recopilados en condiciones de nieve compactada y de hielo y, por lo tanto, no

deberían aceptarse como valores absolutos aplicables en todas las condiciones. Si la superficie está afectada por nieve o hielo y el rozamiento estimado en la superficie se notifica como “bueno”, los pilotos no deberían esperar encontrar condiciones tan buenas como las de una pista limpia y seca (en la que el coeficiente de rozamiento puede muy bien ser superior al necesario, en cualquier caso). La indicación “bueno” tiene, pues, un valor relativo, y con ella se intenta expresar que los aviones no deberían experimentar dificultades de mando de dirección, ni de frenado, especialmente durante el aterrizaje. Las cifras de la columna “Coeficiente μ medido” se dan a título indicativo. Se puede elaborar una tabla específica para cada aeródromo, según el dispositivo de medición usado en el aeródromo y según la norma y los criterios de correlación establecidos o aceptados por el Estado. Los valores μ corresponderán específicamente a cada dispositivo de medición del rozamiento, así como a la superficie medida y la velocidad empleada”.

Coeficiente μ medido	Rozamiento estimado en la superficie
0,4 o superior	Bueno
0,39 a 0,36	Mediano a Bueno
0,35 a 0,30	Mediano
0,29 a 0,26	Mediano a Deficiente
0,25 e inferior	Deficiente

Tabla N° 26: Valores de los Coeficientes de Fricción según la OACI

Solo a modo referencial colocamos esta Planilla para ver que con valores de Coeficiente de rozamiento que estamos manejando en esta Investigación, sobre las Superficies Tipo Imágenes es un CRD mín.0,45, o sea que se corresponde con un Estado de Rozamiento Bueno según esta Escala.

7.4. Conclusiones de los Trabajos del Dr. Ing. David Calavia-1:

El Ing. David Calavia (Consultor Internacional de Seguridad Vial y del Comité Europeo de Normas que desarrolla y mantiene Normas Europeas: Referencia Bibliográfica 18) escribió la Guía de Señalización horizontal de carreteras locales para España: AETEC-EUROVIAL (Valencia, 24 al 26 de abril del 2018), dando distintas recomendaciones en cuanto a Distancia de Visibilidad, Retroreflexión, etc. a los efectos de aumentar la Seguridad Vial en carreteras debido a las altas tasas de siniestralidad en España: revisa, corrige y perfecciona los factores de seguridad vial mediante acciones de bajo costo y alta efectividad o con acciones de mayor envergadura. Determina este estudio Niveles de Seguridad en la Vía, en conducción diurna, en condición nocturna y en condiciones de lluvia o niebla otorgando criterio de señalización en carreteras locales. Da la "clasificación de carreteras y su asignación de Señalización Horizontal, proporcionando características adaptadas del art.700 del PG3"

Se especifican distintas asignaciones de Señalización y Tipo de Pintura según el tipo de carretera y referido a esta Investigación respecto a Fricción sobre Superficies Pintadas, sugiere el siguiente valor adaptado del art.700 del PG3:

Coeficiente de fricción: uds SRT 45 en pasos de cebrá, símbolos y bandas transversales, en todo momento de la vida útil: valores dentro de las Características de las marcas viales de color blanco (PG-3).

La escala de coeficiente de fricción SRT se utiliza para evaluar la resistencia al deslizamiento de pavimentos en carreteras y otras superficies, particularmente con el objetivo de mejorar la seguridad vial. El coeficiente de fricción se mide durante las pruebas de Skid Resistance Test (SRT), y se interpreta generalmente en una escala que va desde valores bajos (pavimentos muy resbaladizos) hasta valores más altos (pavimentos con buena tracción).

En el contexto de pavimentos y medición de fricción, "UDS SRT" se refiere a un "Unidad de Deslizamiento de SRT" o "Unidad de Deslizamiento del Test SRT".

Da valores entonces recomendados de Resistencia al Deslizamiento Valor SRT como unos de los ítems de análisis de comportamiento de las marcas viales, que es la resistencia al deslizamiento que ofrece una superficie a la fricción a baja velocidad, sobre dicha zona, de un patín de Péndulo Británico (NLT-175/98). El BPN (British Pendulum Number) que se obtuvo haciendo la media de 5 mediciones y corrigiendo por temperatura, es el valor numérico que se obtiene en el ensayo realizado con el SRT. El SRT es otro nombre para el Péndulo Británico.

También en este estudio se determina que "Para Simbología, pasos de cebrá o bandas transversales, claramente susceptibles de ser pisados con frecuencia se deben

emplear materiales que garanticen seguridad: materiales específicamente rugosos o espesores máximos de 600 micras que transmitan la rugosidad del pavimento, teniendo en cuenta cuales son los factores climatológicos y de compatibilidad del sustrato”.

En esta Investigación se está estudiando la Simbología de Preformados realizados con Material Termoplástico y por Material Termoplástico por Extrusión: los dos materiales son específicamente rugosos, y sus espesores son aproximadamente los mismos: En la Pintura Termoplástica tipo Preformado está en 2,8mm promedio (variación de 2,7 a 3mm) y en la Pintura Termoplástica por Extrusión 3 mm promedio (variación entre 2 y 4 mm). Se observa que no presentan el valor máximo que indica el Dr. Calavia con respecto al espesor de 0,6mm para que repita la rugosidad del pavimento. Pero igualmente esta rugosidad se consigue con las Microesferas de Sembrado.

AETEC S. A: es un Laboratorio de Ensayos fundado en 1999, donde se estableció como objetivo prioritario a alcanzar el máximo nivel de calidad en la ejecución de los ensayos de

materiales de señalización vial. Según el Boletín Oficial del Estado: art.700 Marcas Viales, donde se basó el Dr. Calavia, los Coeficientes de Fricción SRT que son el parámetro de medida de la resistencia al deslizamiento, deben adoptar un valor ≥ 45 .

Esta condición que marca el Dr. Calavia es coherente con lo que se concluyó en esta Investigación a partir de nuestra Planilla de Análisis, porque se exige en todo momento en esta investigación e el valor de CRD 0, 45 sobre la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico, considerando también una Macrotectura $\geq 0,5\text{mm}$, sólo con la salvedad que no se coloque en zonas donde la velocidad de operación sea mayor a 85 km/h.

Si se quiere colocar Cebreados a velocidad de 90 km/h, por ejemplo, se debería aumentar el valor inicial del CRD 0,65 para Recepción Provisoria, con Macrotectura $\geq 0,5\text{mm}$.

Por lo tanto, se sugiere si se va a colocar sobre la Carretera Cebreados por lo cual se circula por encima de los 80 km/h , que el valor sea de CRD 0, 65 en la Recepción Provisoria y para todo tipo de Señalización, no CRD 0,45 en todo momento porque hay limitación de Fricción segura sobre la superficie, al año y año y medio de colocada la Demarcación.

Finalmente, a través de la Experiencia de Viamás S.A se comparte plenamente el comportamiento que da esta Investigación referente a las Marcas Viales prefabricadas (Preformado Thermomat) respecto al sustrato sobre el cual se apoyan las mismas pues da excelente comportamiento sobre bitumen (se comparte) y también sobre Hormigón

(no se comparte). Si bien es cierto que no especifica en esta tabla si los lugares donde el Pavimento es Hormigón son carreteras de Hormigón o zonas de Rotondas e Intersecciones. Y la mala experiencia de Viamás S.A es en estos últimos lugares donde están sometidas a fuertes tensiones de tracción.

Para el caso de la Marca Vial hecha con Termoplástica por Extrusión (que es el caso de las Imágenes sobre el Pavimento que consideramos como ser Flechas Direccionales y Ceda el Paso) de esta Investigación, se asegura su buena compatibilidad sobre pavimento de bitumen y poca compatibilidad sobre pavimento de hormigón viejo y nuevo. Otra vez no especifica lugares determinados de hormigón y la experiencia sobre hormigón en cortes de cantero o antes de rotondas (los ceda el paso que en el caso de corte de cantero ha sido buena la experiencia y en el caso de rotondas no) y las flechas direccionales sobre sectores de pavimento lineales anunciando futura circulación sobre pavimento de bitumen ha sido buena.

7.5. Trabajo del Dr. Ing. David Calavia-2:

En el segundo trabajo del Ing. David Calavia (Referencia Bibliográfica 19) en el “Seminario sobre Seguridad Vial y Equipamiento Vial”- Señalización Horizontal- David Calvia Redondo de AETEC (Asociación Española de Técnicos de Carreteras, Organización profesional de España que agrupa a los técnicos e ingenieros especializados en el ámbito de las infraestructuras viales y de transporte: en este trabajo se da la Definición de Marca Vial y las condiciones de las mismas: visibilidad diurna y nocturna, con lluvia y niebla y la condición de no deslizamiento. Se define Resistencia al deslizamiento:

Valor SRT (de una marca vial): Es la resistencia al deslizamiento que ofrece una superficie a la fricción a baja velocidad, sobre dicha zona, de un patín de caucho. Se utiliza la abreviatura SRT (Skid Resistance Test).

Por lo tanto, se corresponde con los valores de CRD que nosotros medimos con el Péndulo Británico.

7.5.1. Recomendación 1:

Los valores umbrales y niveles de comportamiento expresan límites de valores entre los cuales el ojo humano no percibe cambios de calidad, Norma Europea UNE EN 1436 utilizada para el art.700 del PG3, ver Tabla.25”. Se analizará aquí en Uruguay en qué tipo de Marca Vial estamos, que concuerde con la de dicha Tabla Europea.

7.5.2. Recomendación 2:

La otra recomendación del Trabajo de David Calavia es que las Marcas viales sean tipo II en zonas con más de 100(días lluvia) /año.

Análisis: Las Marcas tipo II de España se asemejan a las Marcas Clases 1 de Uruguay porque se cumplen las mismas especificaciones técnicas (se adjuntan las Fichas técnicas de las mismas y en esta Investigación se hace un pequeño Resumen de estas).

A modo de considerar las variables principales implicadas en este estudio, resumimos que **las Marcas Viales tipo II** son aquellas que:

- Material: Pintura vial reflectante con microesferas para visibilidad nocturna.
- Colores: Principalmente blanco para separación de carriles y amarillo para advertencia o prohibición.
- Ancho de las líneas: 10 a 15 cm.
- Longitud de los segmentos discontinuos: 6 a 12 metros.
- Resistencia: Alta durabilidad, resistente al desgaste y condiciones climáticas.
- Visibilidad nocturna: Deben ser reflectantes para garantizar la visibilidad en condiciones de baja luminosidad.

Estas características aseguran que las marcas viales tipo II sean eficaces en la organización del tráfico, la seguridad vial y la correcta circulación, mejorando la experiencia y la seguridad para los conductores.

Los valores de retroreflexión y desgaste de las marcas viales tipo II en España están regulados por la normativa de señalización vial y son aspectos clave para garantizar que las marcas sean efectivas, duraderas y visibles en condiciones nocturnas y durante un uso prolongado. Estos parámetros se aplican principalmente a las marcas viales horizontales que incluyen líneas de delimitación de carriles, líneas discontinuas, y otras marcas en las carreteras y calles.

Identificamos **la Clase 1 de la Marca Vial en Uruguay** con las siguientes especificaciones (extraídas del Art. 4.3 de la Norma Uruguaya de Señalización Horizontal):

Valores Mínimos para el Control de Mantenimiento de las Demarcaciones:

1.- Estado general de la marca: Para clase 1 el Porcentaje Máximo de Deterioro es 20% 2.- Visibilidad diurna: Factor de luminancia β : Valor Mínimo para Pavimento Asfáltico: 0,30 Blanco, Amarillo: 0,20.

3.- Coef. de luminancia en iluminación difusa: Valor Mínimo de QD (mcd/lx/m²) Clase de Marca 1: Pavimento asfáltico: 100: Amarillo 80.

4.- Coeficiente de Retroreflexión: RL (mcd/lx/m²) Clase de Marca 1: Blanco: 100: Amarillo 80.

Los valores de Retro reflexión y Desgaste de las Marcas tipo II son los

Correspondientes a la Clase 1 de Uruguay, y al igual que estas son seguras, visibles y duraderas en condiciones de tráfico medio como en Uruguay y características de lluvia mayor que 100 días al año.

Ahora bien, para la Clase de Marca 1 según el Adjunto de la Señalización Horizontal 2001 de Uruguay en su Art.3.5 Resistencia al Deslizamiento: el valor Mínimo del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento es 45.

Entonces según la Tabla 28, corresponde un valor de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento para Marca Vial Tipo 2 de $CRD \geq 0,50$ en todo momento porque no especifica en Períodos de Recepción Provisoria o Etapa de Mantenimiento. O sea que es coherente con lo que se está sugiriendo en esta Investigación: $CRD \geq 0,45$ en todo momento de la vida útil de la Demarcación tipo Imagen. Son coherentes las diferencias de los CRD porque en España la velocidad legal para vehículos ligeros es de 120km/h, mayor que la legal de Uruguay que es 90 km/h y que para los vehículos pesados (camiones y autobuses) la velocidad legal es de 90 km/h en España igual que en Uruguay. Y a mayor velocidad desarrollada, para estar del lado de la seguridad se debería tener un mayor valor de CRD. O sea que son coherentes los dos valores.

Estamos cumpliendo también la sugerencia del Dr. Calavia porque estamos usando Clase 1 en Uruguay= Marca Vial Tipo 2 europea en todas las Ruta Nacionales.

7.5.3. Selección de los Materiales a usar

En la siguiente Tabla 27 se observa una Selección de los Materiales a usar en cada situación de la Marca Vial:

Se considera que en la Red Vial del Uruguay tenemos 627 tramos de los cuales los Accesos a Montevideo con su Rambla Portuaria, Colectores de conexión de Ruta 1 y 5, Salida de Montevideo por Ruta 8, Ruta Interbalnearia y Rutas 101 y 102 en las inmediaciones del Aeropuerto de Montevideo que representan el 25% tienen en Promedio 20.000 deTPDA.

O sea que el 75% de la Red Vial Uruguaya tiene un Promedio de TPDA menor a 18.000 TPDA, o sea que solo considerando el tránsito estaríamos dentro de la Situación de la marca vial 3.

Criterios de selección de materiales: Art. 700 P3 (Tabla 27)

CARACTERÍSTICA	VALOR INDIVIDUAL DE CADA CARACTERÍSTICA					
	1	2	3	4	5	8
Situación de la marca vial	Marca en zona excluida al tráfico	Banda lateral izquierda, en carreteras de calzadas separadas	Banda lateral derecha, en carreteras de calzadas separadas, o laterales, en carreteras de calzada única	Eje o separación de carriles	Marcas viales para separación de carriles especiales	Pasos de peatones y ciclistas Símbolos letras y flechas
clase de rugosidad (RG) conforme a UNE EN 13197 (H en mm)	RG1a H ≤ 0,30mm	RG1b H > 0,30mm y ≤ 0,60	RG2 H > 0,60mm y ≤ 0,90	RG3 H > 0,90mm y ≤ 1,20	RG4a H > 1,20mm y ≤ 1,50	RG4b H > 1,5
Tipo de vía y ancho de calzada (a, en m)	Carreteras de calzadas separadas	Carreteras de calzada única y buena visibilidad a > 7,0	Carreteras de calzada única y buena visibilidad 6,5 < a ≤ 7,0	Carreteras de calzada única y buena visibilidad a ≤ 6,5	Carreteras de calzada única y mala visibilidad a: cualquiera	
IMD	≤ 5 000	5 000 < IMD ≤ 10 000	10 000 < IMD ≤ 20 000	20 000 < IMD ≤ 50 000	50 000 < IMD ≤ 100 000	> 100 000

1) Para aplicaciones directas sobre mezclas drenantes, la rugosidad, debe entenderse siempre RG4b.

Tabla N° 27: Criterios de Selección de Materiales.

Norma europea UNE EN 1436 utilizada para el art. 700 del PG3 (Ver Tabla N° 28)

IDENTIFICACIÓN DEL REQUISITO Y EL PARÁMETRO				clave de Clase	NIVEL DE LA CLASE DE COMPORTAMIENTO Y SU VALOR CORRESPONDIENTE					
REQUISITO	PARÁMETRO	unidades de medida y símbolo			1	2	3	4	5	6
VISIBILIDAD DIURNA	COLOR	Cordenadas (x,y)			Pasa/no pasa					
	COEFICIENTE DE LUMINANCIA EN ILUMINACIÓN DIFUSA	$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	Qd	Q	80*	100	130	160	200	
	FACTOR DE LUMINANCIA	β		B	0,20*	0,30	0,40	0,50	0,60	
VISIBILIDAD NOCTURNA	RETROREFLEXIÓN EN SECO	$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	R_L	R	80*	100	150	200	300	
	RETROREFLEXIÓN EN SECO Y HÚMEDO	$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	R_L	RW	25	35	50	75	100	150
	RETROREFLEXIÓN EN SECO, HÚMEDO Y LLUVIA	$\text{mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$	R_L	RR	25	35	50	75	100	150
RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO		SRT		S	45	50	55	60	65	

- Como un ejemplo, la clase R5 significa un requisito de retroreflexión en seco de $300 \text{ mcd}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{lx}^{-1}$
 - * valores solo admisibles para el color amarillo

Tabla N°28: Valores de SRT (Coeficientes de Resistencia al Deslizamiento) según Valor Individual de cada característica.

Se tiene la mayoría de las carreteras de calzada única y buena visibilidad, con un ancho de 6,5 a 7 metros, con una Rugosidad mayor a 0,6mm y menor a 0,9 mm. David Calavia sugiere según la Tabla 27, que se coloquen Bandas Laterales derechas en zonas de calzadas separadas o laterales en carreteras de calzada única. Esto significa que:

En las carreteras de España, la banda lateral derecha hace referencia a una franja de espacio, generalmente delimitada por marcas viales, que se encuentra a la derecha de la calzada. Esta banda tiene la finalidad de ofrecer una zona de seguridad para diversos usos. En función del tipo de carretera, esta banda lateral puede tener distintas funciones y características:

1.-En carreteras de calzadas separadas: En las carreteras de calzadas separadas, que suelen estar divididas por una mediana, la banda lateral derecha se encuentra en el margen de la calzada de la derecha (en sentido de circulación). Esta zona suele estar destinada a la detención de vehículos en caso de emergencia o para el paso de peatones en algunos casos. Está señalizada de forma que se evite el tránsito de vehículos por ella, salvo en situaciones de emergencia.

2.-En carreteras de calzada única: En las carreteras de calzada única, donde no hay separación física entre los carriles en sentido contrario, la banda lateral derecha tiene la misma función de ofrecer una franja para situaciones de emergencia o como área de seguridad, pero en estos casos puede ser más amplia, dependiendo de las condiciones de la carretera. En ambos casos, las marcas viales que delimitan esta banda lateral suelen ser líneas discontinuas que indican que los vehículos no deben circular por ella, salvo en caso de necesidad o emergencia.

En resumen, la banda lateral derecha es una franja de seguridad al margen derecho de la

carretera que está destinada principalmente a evitar que los vehículos invadan zonas peligrosas o para situaciones especiales como el estacionamiento de vehículos de emergencia.

No se usa en Uruguay, pero parece una buena sugerencia a implementar.

También en este trabajo dan condiciones mínimas para que un enmascaramiento (cuando pintamos arriba con pintura negra por ejemplo porque cambiaron las condiciones de circulación de una ruta), no sea considerada una marca vial fantasma que pueda producir riesgos de seguridad al usuario, pero en esta Investigación no se consideró.

En este Trabajo del Dr. Calavia, se especifican las Zonas especialmente sensibles al deslizamiento, si bien según la Tabla 27 se colocarían en zonas de TPDA > 100.000.

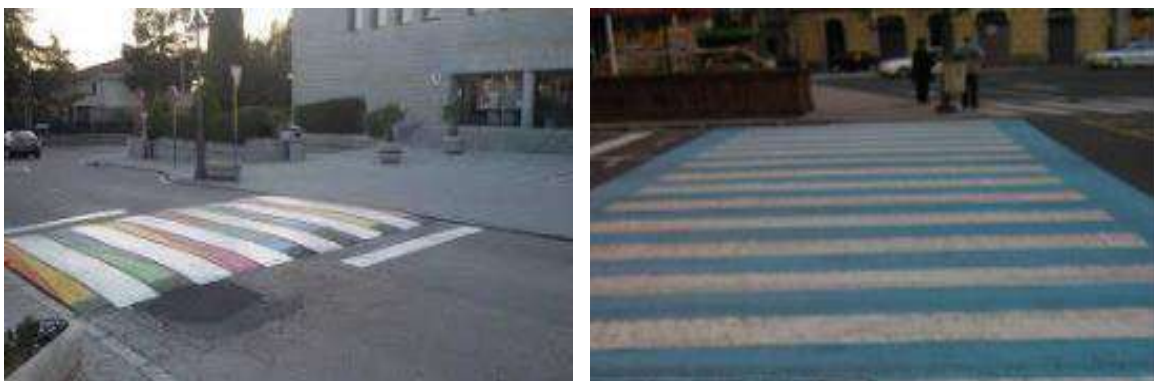


Figura 34.- Marcas de Paso para Peatones (Fuente: Señalización Horizontal David Calavia Redondo – AETEC S.A España) y Marcas blancas transversales.

Marca de paso para peatones (Paso de cebra para peatones Fig. 34) Una serie de líneas de gran anchura, dispuestas sobre el pavimento de la calzada en bandas paralelas al eje de ésta y que forman un conjunto transversal a la calzada, indica un paso para peatones, donde los conductores de vehículos o animales deben dejarles paso. No podrán utilizarse otras marcas que alternen con las blancas.

Pasos amplios para motocicletas (Figs.35 y 36)



Figuras 35 y 36.- Marcas de Paso para Motociclistas (Fuente: Señalización Horizontal David Calavia Redondo – AETEC S.A España).

Diseño bonito, pero inaceptables desde el punto de vista de la seguridad (ya hay países que los han prohibido expresamente).



Figura 37.- Marcas de Paso para peatones (Fuente: Señalización Horizontal David Calavia Redondo – AETEC S.A España).

Si bien en Uruguay no tenemos esta cantidad de TPDA indicado en la Tabla 27 en ninguna ruta Nacional, parece importante debido a la cantidad de siniestros de tránsito con birrodados registrados en Uruguay, colocar estas Marcas de Paso para Motocicletas en Zonas Urbanas.

Finalmente se presenta en esta Investigación Certificados de Durabilidad para Marcas Viales: Fig. 38.

En él se puede observar la exigencia para Fricción de Valores de SRT según el tipo de Ruta dada por el Tráfico, según Norma EN 13197:2009.

Debido a esto es que se investiga lo que plantea dicha Norma:

La norma UNE EN 13197:2009 establece los requisitos y métodos de ensayo para

determinar la resistencia al deslizamiento en las superficies de las carreteras. En España, esta norma es aplicable en el contexto de las infraestructuras viales, y se clasifica la resistencia al deslizamiento de las carreteras en diferentes categorías, basadas en los valores obtenidos de las pruebas de fricción.

Actualmente la nueva versión de esta Norma UNE-EN 13197:2012+A1:2014 que es la que hoy se encuentra vigente. En ella la clasificación y valores con respecto a la Fricción son los mismos que en la versión 2010 porque no hace referencia a ellos directamente, sino que hace referencia a la Norma EN 1436 que especifica las clases de resistencia al deslizamiento (fricción) para las Marcas Viales, que se determinan mediante ensayos adecuados y se clasifican en función de su coeficiente de fricción. Esto ya se analizó anteriormente en referencia a las Tablas 27 y 28.

CERTIFICADO DE DURABILIDAD

Base para el

mercado CE

y la correspondiente

“Declaración de prestaciones”

1.- SISTEMA DE MARCADO VIAL ENSAYADO

A) IDENTIFICACIÓN

IDENTIFICACIÓN DE LOS MATERIALES, MARCA COMERCIAL Y FORMA DE APLICACIÓN		FABRICANTE(S)	Espesor (t m)	Dosificación (g/m ²)
Naturaleza:	Termoplástico aplicado en caliente			
Nombre comercial:	TERMO AX	TERMO, S.A.	1.500	3.000
Aplicado por:	Extrusión			
Naturaleza:	microesferas de vidrio			
Nombre comercial:	GB-1	ESFERAS, S.A.		500
Aplicado por:	Postmezclado			
TIPO DE MATERIAL: Termoplástico blanco con microesferas de premezclado aplicado por pulverización con microesferas de vidrio de postmezclado.				
CARACTERÍSTICA DE LA MARCA VIAL: (según UNE EN 1436: 2009+A1)			Marca vial no estructurada	

- Las características de identificación del material pueden obtenerse del propio fabricante o en este laboratorio con su autorización expresa.
- El material ensayado está identificado por su Declaración de Conformidad CE y sus documentos de acompañamiento.

B) RESULTADOS DEL ENSAYO DE DURABILIDAD: sobre rugosidad

>0,60 y ≤0,90 mm.

RG 2

REQUISITOS DEL SISTEMA DE MARCADO VIAL tal como se definen y expresan en UNE EN 1436: 2009+A1 En función del uso previsto del sistema no todos los requisitos son necesarios			DURABILIDAD expresada en CLASES DE TRÁFICO conforme a prEN 13197:2009			
		Expresados en	P0	P4	P5	P6
Visibilidad nocturna	Coeficiente de luminancia retrorreflejada R _L	seco Clase (R)	R5	R5	R5	R5
		lluvia Clase (RR)	RR3	RR3	RR3	RR3
		húmedo Clase (RW)	RW6	RW6	RW6	RW6
Visibilidad diurna	Coeficiente de luminancia bajo iluminación difusa Q _d	Clase (Q)	Q5	Q5	Q5	Q5
	ó Factor de luminancia B	Clase (B)	B5	B5	B5	B5
	Color (coordenadas cromáticas x/y)	Pasa / No Pasa	pasa	pasa	pasa	pasa
Resistencia al deslizamiento	Valor SRT	Clase (S)	S2	S1	S1	S1
Tipo	Tipo resultante del sistema de marcado vial	Tipo I / II	II			
TIEMPO DE SECADO: tal como se definen y expresan en prEN 13197:2009		Clase (T)	NPD			

Fecha de inicio del ensayo: 10 de noviembre de 2010 Fecha de finalización del ensayo: 10 de diciembre de 2010

Figura 38.- Certificado de Durabilidad para Marcas Viales (Fuente: Señalización Horizontal David Calavia Redondo – AETEC S.A España).

7.6. Road Note N° 27 del Transport Road Research Laboratory: “Instructions for using portable skid restance tester”

Siguiendo este Instructivo para ejecutar la medición, tenemos para Uruguay la exigencia para la Recepción de Obra de Marcas Viales el valor de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento de 45 como mínimo según la Norma de Señalización. Ahora bien, según la Tabla 1 de la Road Note N° 27 del Adjunto N° 8 donde se indican los mínimos valores sugeridos de Resistencia al Deslizamiento, se tiene que, para Autopistas, carreteras principales y de clase 1y carreteras de gran tránsito en áreas urbanas (con más de 2000 vehículos diarios) el mínimo valor exigido es 55 para superficie mojada. En la búsqueda de material para esta Investigación se llegó a que estas Notas fueron retiradas y sustituidas por otra en uso que es la UNE EN 13036-4: 2012 : Referencia Bibliográfica 24 y Anexo 21.

7.7. FM (Nordisk Mode for Forbedret):

Este desarrollo corresponde a traducidos de Nordic Meeting for improved road equipment 2011: Performance of road markings and road Surfaces (Referencia Bibliográfica 20).

La Reunión Nórdica para mejorar el equipamiento vial, se fundó en 1973 y es un foro permanente en los países nórdicos, para la cooperación entre las Administraciones Nacionales de carreteras y los investigadores en el campo del desarrollo y la mejora del equipamiento vial. Los países Nórdicos junto con España forman el Comité Europeo de Normalización (CEN), que desarrolla y estudia los Estándares Europeos. En el caso del Reino Unido (Trabajo N° 20 de la Bibliografía anexa) se presenta un Texto preparado por el NMF (Nordisk Møde for Forbedret vejudstyr – traducido como Reunión Nórdica para la mejora de los equipos viales) con el fin de recopilar los conocimientos adquiridos en una serie de proyectos llevados a cabo por el NMF o con la asistencia de miembros del NMF, para poner estos conocimientos en una perspectiva internacional y práctica, y ponerlos a disposición para su uso futuro (en particular para la educación de las personas que trabajan en el campo de la señalización vial). **La resistencia al deslizamiento se mide por medio del probador de resistencia al deslizamiento del péndulo en las unidades SRT (ver Fig. 39). SRT se refiere al probador de resistencia al deslizamiento que se especifica por la geometría del péndulo, las especificaciones para el caucho de control deslizante, el método de riego y otros detalles. En consecuencia, esta característica está realmente definida por el propio método de medición.**

Se da una Tabla N°29 con Valores sugeridos de Resistencia al Deslizamiento, en la cual se clasifica los Tipos de Marcas Viales en 6 tipos: desde S0 hasta S6: desde un valor de S0 que no presenta requisitos de Resistencia al Deslizamiento hasta S5 con un $SRT \geq 65$.

Se debe tener en cuenta que esta clasificación solo es en base a la Resistencia al Deslizamiento, o sea una Marca Vial puede ser por ejemplo clase S5 en cuanto a la Resistencia al Deslizamiento y clase RL 3 en cuanto a la Retroreflexión.

El probador de resistencia al deslizamiento (Péndulo Británico- Fig.38) es incómodo de usar para realizar las mediciones en las Rutas Nacionales, ha habido intentos de reemplazarlo con instrumentos más convenientes. Estos intentos aún no han tenido éxito en la práctica.



Figura 39.- Medición con Péndulo Británico en una carretera (Fuente: NMF Nordisk Mode for Forbedret. Extraído de Documentos de Nordic Meeting for improved road equipment-2011: Performance of road markings and road surfaces).

Presenta el siguiente cuadro de Resistencia al Deslizamiento (SRT)- Tabla 29:

Class	Requirement
S0	No requirement
S1	SRT \geq 45
S2	SRT \geq 50
S3	SRT \geq 55
S4	SRT \geq 60
S5	SRT \geq 65

Tabla 29: Condiciones de Resistencia al Deslizamiento según el Tipo de Marca Vial.

O sea que es la misma clasificación del PG3 de España (Pliego de Prescripciones generales para obras de carreteras y puentes), por lo tanto, se corresponde con el valor mínimo de SRT \geq 50, en todo momento. O sea que es comparable con el valor SRT que \geq 45, en todo momento de la Vida útil que nosotros sugerimos.

Por lo tanto, también es coherente con lo que se sugiere en esta Investigación, y la explicación es la misma ya explicada anteriormente.

7.8 Investigación de Empresa Bitafal S.A.

En Uruguay se hizo en el 2023 una Investigación (Empresa Bitafal- Referencia Bibliográfica¹⁰) sobre el rejuvenecimiento de Demarcaciones Lineales agregando fibra de vidrio y sus variaciones respecto al IFI, pero no se llegó a estudiar Demarcaciones Horizontales tipo Imágenes.

En dicha investigación se evalúa el comportamiento de la técnica de preservación de carreteras Seal Coat con distintos tipos de agregados: arena y vidrio finos, arena y vidrio gruesos para dos tipos de pavimentos en diferente estado inicial (textura fina y media). La misma fue publicada como Memoria del Congreso Iberoamericano del Asfalto en Punta del Este-noviembre del 2022. Se cita en la Bibliografía anexa como Trabajo N°10.

Los equipos de medición usados fueron: para la medición de la macrotextura se hizo con procedimientos de medición puntual como el círculo de arena (NLT-335/00). Para la medición del coeficiente de fricción, se usó el Péndulo Británico (NLT-175/98), que consiste en medir la pérdida de energía que experimenta un péndulo provisto en su extremo por una zapata de caucho, una vez que esta toca la superficie a ensayar (CRD: coeficiente de Resistencia al Deslizamiento).

En este estudio se eligieron dos pavimentos con diferente envejecimiento y condiciones a los cuales llamaron A y B. El pavimento A tenía un valor de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (CRD) de 0.77 y círculo de arena de 0.66 mm, el pavimento B en cambio notaba menos textura obteniéndose valores de CRD 0.62 y un círculo de arena de 0.40 mm.

A estos pavimentos se les aplicó la técnica de Seal Coat, que consiste en un recubrimiento para pavimentos a base de asfalto, polímeros y cargas minerales, que se aplica en finas capas con el fin de preservar la vida útil del pavimento, sellarlo, rejuvenecerlo, embellecerlo y mejorar las condiciones de resistencia al deslizamiento. En este caso se hicieron 5 formulaciones de Seal Coat: arena fina, arena gruesa, vidrio fino, vidrio grueso y vidrio ajustado a arena gruesa.

Se obtuvieron los valores de CRD con el Péndulo Británico comparando los pavimentos originales A y B con los distintos materiales que se colocaron sobre los pavimentos y graficando los mismos y luego según modelo del Experimento Internacional (PIARC) de comparación y armonización de las medidas de Fricción y Textura se obtuvieron las curvas de Fricción para los distintos pavimentos A y B, y para los distintos Seal Coat. Se realizaron diversas formulaciones contemplando diferentes escenarios de concentraciones y agregados, las mismas fueron ensayadas para la determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL (Transport Road

and Research Laboratory) mediante la norma NLT-175/98. En esta investigación se pudo comprobar que el polvo de vidrio permite una efectiva restauración de la textura superficial y provee de mayor resistencia al deslizamiento en pavimentos de baja textura. Asimismo, se comprobó que el producto puede utilizarse en la preservación de carreteras para mejorar las condiciones de seguridad vial de una manera rápida, económica y amigable con el medio ambiente. En Latinoamérica no hay otros estudios al respecto.

Este estudio si bien no es de aplicación directa sobre la Señalización porque puede estropear su mensaje, pensamos a futuro hacer unas pruebas sobre un pavimento, tomando mediciones de Macrotextura y CRD y hacer comparaciones. Porque es una forma rápida y segura de prolongar la vida útil respecto a la Fricción de un Pavimento.

7.9 Exigencias de condiciones de Fricción en Uruguay.

No existen condiciones de Fricción ni para Recepción ni para Mantenimiento en Uruguay. Solo se exigen condiciones de Macrotextura que se detallan a continuación.

En los Contratos PPP (Participación Público Privada) solo se exigen condiciones de Macrotextura para la Recepción de la Obra que debe ser mayor que 0,5 mm. Se debe tener en cuenta que en esta Investigación se realizó el mismo día de la medición del Grip Number por parte del LCCP (Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos) la medición de macrotextura:MPD. El Perfilómetro Láser usado (Se adjunta la ficha técnica del Equipo de Medición de la Udelar- Anexo 10) determinó el valor del MPD (Mean Profile Depth) en los dos kilómetros que se tomaron como muestra (70 -72- se hicieron 2 pasadas). O sea, usa técnica perfilométrica, basado en la determinación de la geometría del perfil o superficie. Para ello se divide el perfil en segmentos de 100 mm, cada segmento se divide en mitades y se determina el punto más alto en cada mitad. El promedio de estos dos puntos se conoce como la altura media del segmento. El MPD corresponde al promedio de las alturas medias de segmento para todos los segmentos que conforman el perfil. Es una medida lineal, a diferencia de cuando se usó la técnica del parche de arena que es volumétrica, determinando el MTD (Mean Texture Depth). Este equipo mide la Macrotextura en la línea donde pasa el láser, a 90 cm del borde exterior de banquina.

Acá podemos observar una diferencia, porque al medir MTD lo hacíamos sobre superficies homogéneas tanto de Señalización como de Pavimento y no siempre coincidían con la huella. En Los Contratos CREMAF (Contrato de Diseño, Rehabilitación, Mantenimiento y Financiamiento de la Infraestructura): Referencia Bibliográfica 6 se exigen condiciones de Macrotextura para Recepción y

Mantenimiento según la Normativa ASTM E 1845-01. Se determina un valor de ETD (Profundidad de Textura Estimada) para cada hectómetro (como promedio de los valores obtenidos para las huellas interna y externa). Por la Norma ASTM E 1845 -01: $ETD = 0.8 * MPD + 0.2$, donde MPD (medido con el Perfilómetro Láser) y ETD se expresan en mm.

Cada uno de los tramos de 1000 m involucrados en la longitud de la obra deberán cumplir lo siguiente: Tabla 30

REQUISITOS DE MACROTEXTURA	
Porcentaje de Hectómetros (%)	Requisitos
50	ETD > 0.6mm
80	ETD > 0.5mm
100	ETD > 0.4m

Tabla 30: Requisitos de Macrotectura

Se observa que en el Contrato que es de Participación Público Privada (PPP) objeto de esta Investigación, la condición de Macrotectura que MTD es mayor a 0,5mm en la condición de Recepción, es exigible en cualquier punto de la obra. O sea que se puede comparar con la condición del 100% del hectómetro, y ahí es 0.4mm. Por lo cual podemos decir que es más exigente en este contrato PPP que en el Contrato Cremaf la condición para Recepción de Obra respecto a la Macrotectura.

Se sugirió en esta Investigación acompañar el CDR min con una Macrotectura en todo momento de la vida útil de la carretera de 0,5mm.

El Contrato PPP no tiene condición para evolución de la Macrotectura como el Contrato Cremaf, que del año 1 al 5 exige $ETDM \geq 0,5mm$.

Vimos ya que estos valores de Macrotectura se cumplen en todo momento para la Demarcación con Material Preformado y Termoplástico por Extrusión.

8. Especificaciones de la Pintura que se utilizó en las Demarcaciones Horizontales.

Las demarcaciones objeto de esta Investigación fueron ejecutadas por la Empresa Viamás S.A-Serviam (Uruguay). Se detallan las Especificaciones Técnicas extraídas del Proveedor Cristacol S.A- Buenos Aires – Argentina sobre los tipos de pintura Lumicot y Termovial. Respecto al tipo de pintura Thermomat (Anexo 19) que es un material termoplástico preformado su proveedor es la Empresa Viamás -Uruguay. Se adjuntan en la Bibliografía de este documento los vínculos de donde se puede extraer la información que resumimos. Se adjunta las Especificaciones Técnicas en los Anexos 13, 14,16,17,18,19 y 20 de esta Investigación y Referencias Bibliográficas 27 y 28.

9. Resumen de Metodología de Investigación, Conclusiones y Sugerencias.

Partiendo de que “La Señalización proporciona información clara visual al conductor, con tiempo suficiente para reaccionar y adecuar su comportamiento frente al peligro potencial de un accidente, ofreciendo en definitiva una adecuada distancia de visibilidad que le permite reaccionar en un adecuado tiempo de Percepción y Respuesta” (Dr. David Calavia- AETEC/FOROVIAL-Valencia abril 2018).

- Se trabajó en esta Investigación en Fricción sobre Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformada/ Termoplástica sobre Ruta 3 y el By Pass a la Ciudad de San José, sobre Carpeta Asfáltica pues los Pavimentos Flexibles representan el 80% de la Red Vial Nacional. Además, en la zona objeto de estudio de esta Investigación no había un volumen de Demarcación Tipo Imagen Preformada sobre Pavimento de Hormigón.
- Se realizaron entrevistas a los distintos protagonistas de llevar adelante en Uruguay las Políticas de Seguridad Vial en toda la Red Nacional: Departamento de Seguridad en el Tránsito del M.T.O.P: Jefatura y Gerencia de dicha Oficina.
- Asimismo, también se entrevistó a los Técnicos que manejan los Equipos de medición del LCCP-Udelar para conocer su experiencia en cuanto a resultados de mediciones de fricción realizadas en otros lugares de la Red Vial Nacional de Uruguay.
- De las mediciones realizadas por el Departamento de Calidad de Pavimentos del Instituto de Estructuras y Transporte de la Udelar (Universidad de la República) sobre Fricción realizado con Grip Tester y de la medición de Macrotextura realizado con Perfilómetro Dinámico se obtuvo una Disminución del GripNumber de un 50% si comparo el GripNumber sobre la Superficie Pintada Tipo Imagen Preformada/ Termoplástica por Extrusión con el GripNumber sobre el Pavimento no Pintado. Tanto Pavimento como Señalización fueron ejecutados un año y medio antes de la medición realizada.
- Se calculó solamente el GripNumber de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado (no consideramos las de Material Termoplástico) y se llegó a un valor de 0,37. Con este valor se llegó a que el descenso del 50% entre el Grip Number de la Udelar que consiguió entre la Fricción medida sobre la Superficie del Pavimento con Demarcación Tipo Imágenes Preformada / Termoplástica con respecto al Pavimento baja a un 39%. Con las mediciones realizadas con Péndulo Británico y Parche de Arena, la relación resultó un 5%.

O sea la disminución de la Fricción comparando Demarcaciones Tipo Imagen con Material Preformado con el Pavimento circundante es un 39% con Equipo Dinámico Grip Tester y 5% con Péndulo Británico. Por estudio realizado por Investigadores, se llegó a que los valores de GripNumber (obtenido con el GripTester) y de BPN (obtenido con el

Péndulo Británico) son comparables.

Por los dos métodos de medición se llegó a que la Performance del Pavimento es Superior a la de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado a un año y medio de ejecutados el Pavimento y la Demarcación. Esta disminución drástica de la Fricción se da al año y medio de ejecutada la Demarcación Tipo Imagen Preformada y se da al año de ejecutada la Demarcación Tipo Imagen Termoplástica. Y en este caso de la Termoplástica a los 6 meses restantes se mantiene con casi el mismo valor. Por lo cual se comienza con valores de Fricción mayor en los dos Tipos de Demarcaciones que el Pavimento cuando recién están ejecutadas y luego decae muy rápidamente la misma sobre la Demarcación hasta que luego pasa a tener en el tiempo una mejor Performance el Pavimento que la Demarcación respecto a la Fricción. Y se mantiene esta Diferencia luego de este Período de forma estacionaria.

Además, se observó los comportamientos con las Gráficas de IFI para los distintos Tipos de Materiales Preformado y Termoplástico y para distintas edades de ejecución, concluyendo que con Materiales Preformados y / o Termoplásticos si se asegura una Macrotextura mínima de 0,50 mm entonces pueden ser colocados en zonas de la carretera con velocidades hasta 85km/h con un CRD inicial de 0,45 y llegar a tener 36 meses de antigüedad sin afectar la seguridad del usuario (esto es porque sus valores de fricción son superiores a 0,11 que es el valor mínimo que nos da seguridad partiendo de un CRD a nivel internacional de 0,45).

- Para colocarlas en lugares de mayor velocidad 90-100 km/h se sugiere CRD mín iniciales de 0,65m siempre con Macrotextura mín. de 0,50mm.
- Se sugiere que el CRD (medido con Péndulo de Fricción descrito en la Norma UNE-EN 13036-4) exigido sobre la Superficie Tipo Imagen de Material Preformado
- y Termoplástico sea mínimo 0,45 en todo momento (sino se sobrepasa la velocidad de operación de 85 km/h): Recepción Provisoria, Recepción Definitiva y Mantenimiento posterior. Este Tipo de Señalización lo cumple. **Acompañando una Macrotextura mínima de 0,5mm. Esta Macrotextura asegura una buena evacuación de las aguas superficiales en la Señalización y Pavimento, si consideramos una Macrotextura menor de 0,35 mm vemos que la Fricción a velocidades mayores a 65 km/h genera fricciones con valores menores a 0,11 que pueden llegar a ser peligrosas a Nivel usuario.**

- Se colocó un valor de Macrotextura de 0,35mm a la Recepción de la Señalización y luego cuando transcurrió un año y medio para el Material Preformado y un año para el Material Termoplástico por Extrusión. No se obtienen resultados seguros de Fricción para velocidades mayores a 65km/h, sino se tiene un valor mínimo de Macrotextura de 0,50 mm.



Fig.40: Ruteo ejemplo 67.600 ruta 3, en la entrada luego de tomar ruta 1 que se circula a 60km/h.

En el caso de Demarcación de Escuela observada en Rutas Nacionales, siempre van acompañadas de Cartelería Vertical que no permite exceder los 60km/h (Ver Figs. 41 y 42). En este caso es sobre Pavimento de Hormigón, que no fue objeto de estudio de esta Investigación.



Fig.41 y 42: Señales Preformadas acompañando la Señalización Vertical de 60 en ruta 1. Cartel lumínico posterior de Circulación con Precaución.



Figs.43 y 44: Señales Preformadas de Escuela en el Pavimento de Hormigón acompañadas con Señalización Vertical.



Fig.45: Señales Preformada sobre Pavimento de Hormigón de Escuela vista de cerca.

- La Demarcación tipo Imagen con Material Preformado, presenta siempre una buena Macrotextura lo que nos asegura una correcta evacuación de aguas superficiales que es muy importante cuando se transitan a velocidades altas de circulación. Se sugirió una Macrotextura mínima de 0,5 mm que este tipo de Señalización lo cumple sin ningún problema. Se observa que es muy afín este tipo de Pintura con el pavimento asfáltico y que al colocar el Preformado lo hago con calor por lo cual hace que el pavimento tienda a absorber esta pintura, copiando más la rugosidad del pavimento. Pero a su vez estoy generando un Macrotextura artificial con las Microesferas de sembrado que coloco al principio, esto genera huecos, intersticios que tienen prácticamente las mismas dimensiones y esto hace que la Macrotextura no sea tan buena como el pavimento al principio de colocada. Luego estas Microesferas se van y comienza a prevalecer esa copia de la lámina con respecto a la rugosidad del pavimento, y también la lámina se va “rompiendo “con el tiempo. Y todo esto hace al aumento de la Macrotextura en un principio y luego con el llenado de los intersticios a medida que pasa el tiempo permanece estable.

- Si se desea colocar la Demarcación Tipo Imágenes en zonas de 90/100 km/h, la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico deberá tener un valor mín. de CRD 0,65 al momento de la Recepción Provisoria, acompañado con una Macrotextura mín. de 0,5 mm del pavimento donde se coloque.
- Presenta una mejor Performance en cuanto a la Fricción la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado que con Material Termoplástico (pues tienen el mismo valor de CRD 0,61 al año y medio de ejecutada la Preformada que al año de hecha la Termoplástica- Planilla 1- Central) y es más rápida su ejecución (acotando los tiempos de cierre de la carretera) y su mayor versatilidad , se pueden hacer “ diseños a la medida del cliente”. Por lo tanto, se recomienda en Zonas Urbanas – Suburbanas hacer Demarcación Tipo Imagen con Material Preformada.
- Se observó que por más que se dio esta disminución de la Fricción al año y medio de ejecutada de la Demarcación Tipo Imagen Preformada y al año de la Demarcación Tipo Imagen Termoplástica (hay un descenso rápido del CRD que se puede observar en la Planilla 1- Central y luego de este Período se mantiene estacionario), no afectan la seguridad del usuario.
- Se vio en el Estudio de Tránsito presentado en esta Investigación, que el usuario vulnerable motociclista desde el 2019 al 2023, representa en promedio el 71% de los accidentados del total de usuarios vulnerables.

En el previo del año 2024 de este Informe de la UNASEV, esta tendencia se mantiene al alza pues sigue siendo la franja etaria de 20 a 24 años la de mayor cantidad de accidentados y conduciendo motocicletas.

Se sugiere debido a la gran cantidad de siniestros de tránsito de birrodados en ruta 3 y a nivel según la Unidad Nacional de Seguridad Vial (UNASEV) (Información extraída del “Cuarto Informe de Gestión y Estadística de Seguridad Vial del Año 2023”) que se considere la ejecución de líneas de pasaje de motociclistas sobre el pavimento, en Zonas Urbanas-Suburbanas, ejecutadas con Señalización Tipo Preformada (Ver.Figs.35 y 36). Si bien no cumplimos con la cantidad de Tránsito Diario Anual indicado por los trabajos del Dr. Calavia.

- También por lo anteriormente expuesto se sugiere que se haga un Control de Macrotextura y Microtextura de la Demarcación Tipo Imagen Termoplástica a los 2 años de ejecutada y de la Demarcación Tipo Imagen Preformada a los 3 años de ejecutada.
- Como la fricción lateral tiene un máximo porque depende de la interacción entre el neumático y la superficie del pavimento cuando se generan deslizamientos laterales, y a partir de cierto ángulo de deslizamiento, el comportamiento no es tan

eficiente. En cambio, la fricción longitudinal no muestra este tipo de comportamiento máximo tan evidente porque depende principalmente de la fuerza que se aplica en la dirección de desplazamiento, sin un cambio abrupto.

La fricción longitudinal ocurre en la misma dirección que el movimiento del vehículo (como cuando se acelera o se frena). Esta fricción depende de la compresión directa entre el neumático y la superficie del pavimento, lo que genera una mayor resistencia, ya que se produce una mayor área de contacto en esa dirección. La fricción lateral actúa en una dirección perpendicular al movimiento del vehículo, es decir, cuando el vehículo se desliza o toma una curva. Esta fricción está influenciada por la capacidad del neumático para deformarse lateralmente, lo cual es generalmente menos eficiente en términos de resistencia al deslizamiento, comparado con el agarre en la dirección del movimiento. Las fuerzas laterales implican un cambio en la dirección del movimiento, pero no tanto una resistencia directa al avance del vehículo.

En la práctica, los neumáticos están diseñados para proporcionar un mayor agarre en la dirección longitudinal (aceleración y frenado) debido a que estas son las fuerzas predominantes en la conducción diaria. Por lo tanto, el diseño de los neumáticos y la distribución de las cargas sobre el pavimento están más optimizados para la fricción longitudinal, lo que aumenta su valor en comparación con la fricción lateral. La fricción lateral es más pequeña que la fricción longitudinal porque los neumáticos están mejor optimizados para resistir fuerzas longitudinales, mientras que las interacciones laterales entre el neumático y el pavimento generan una fricción menos eficiente.

Concluimos en esta Investigación que **podríamos extrapolar que el comportamiento en sentido transversal entre el Pavimento y la Señalización es el mismo que en el sentido longitudinal, por lo cual por transitividad al tener menor Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico que el Pavimento, entonces cumpliría con la Fricción Transversal máxima de diseño que cumple el Pavimento, brindando de este modo condiciones de seguridad al transitar los usuarios sobre la misma** : Diseñado el pavimento de esta Investigación y el de todas las Rutas Nacionales Según AASHTO Green Book - (American Association of State Highway and Transportation Officials) "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets: Referencia 31.

- Se hizo las comparaciones de las sugerencias resultantes de esta Investigación, con Trabajos de Expertos Internacionales y siguiendo Normas Internacionales, y

son comparables. Se hace el Análisis en esta Investigación, siendo del orden lo sugerido a lo planteado a Nivel Internacional.

- De acuerdo a esta Investigación, llegamos que cuando alcanza su menor valor Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, estamos a 2 años y medio en la Demarcación Tipo Imágenes con Material Termoplástico por Extrusión y a 3 años en la Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado. **O sea, cuando empieza su “desmejoramiento” ya estamos en el borde de su vida útil:** calculado por la Empresa de 3 años, 3 años y medio para el Material Preformado. La Empresa Viamás S.A indica que las Tareas de Mantenimiento que realiza sobre este tipo de Señalización es: En el Material Preformado cuando una parte se rompe o sale (que prácticamente sucede muy pocas veces) “se repone” con sectores de recortes de Imágenes que guardan, o pueden llegar a colocar Material Termoplástico en espacios pequeños a modo de un arreglo Provisorio porque por ejemplo hay una Evaluación de parte del Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Pero luego de pasada esta instancia, la misma es reemplazada. En el caso de la Demarcación Tipo Imágenes con Material Termoplástica, se repone el sector dañado con Pintura en Frío o parte de Termoplástica, también provisoriamente. Luego es sustituida la misma.

O que se puede ver que en cuanto al Parámetro Fricción no existe problema durante la vida útil de la Señalización porque va a ser reemplazada durante la garantía del Proveedor.

- Si bien todos estos Materiales usados son de aceptación del Departamento de Demarcación de la División Seguridad en el Tránsito de la Dirección Nacional de Vialidad, por cumplir en un todo con las Especificaciones Técnicas de la Norma Uruguay de Señalización Horizontal (Adjunto), se sugiere que se hagan los controles cada 2 o 3 años en cuanto a Macrotextura y Microtextura de las mismas, así como también sobre las Superficies del Pavimento.

Estos parámetros son fundamentales en cuanto al desarrollo de la Seguridad del usuario, por eso se sugiere que no solo se hagan para la Recepción Provisoria de Señalización y Carreteras sino a lo largo del tiempo, en el caso del Desarrollo del Contrato de Mantenimiento y si los tramos de carretera a controlar no están bajo Mantenimiento Contratado, o si están bajo el Mantenimiento por la Administración Nacional también.

10. Conclusiones Finales.

- Las Demarcaciones Tipo Imágenes con Material Preformado Thermomat y Termoplástico por Extrusión tienen un buen comportamiento ante la Fricción, si las

mismas son colocadas en zonas que no excedan los 85 km/h si se exige que el CRD mínimo sea en todo momento de 0,45 (o sea en la Recepción Provisoria, Definitiva y durante el período de Mantenimiento) y con una Macrotextura de 0,50 mm que asegure la correcta evacuación de las aguas superficiales.

Las mediciones del CRD se harán de acuerdo a la Norma Europea armonizada EN13036-4:2012, en base a valor de ensayo de Péndulo PTV.

Las mediciones de Macrotextura se harán de acuerdo a la Norma NLT 335/00 Parche de Arena.

- Si se exige un CRD 0, 65 en la Recepción Provisoria para las Demarcaciones Tipo Imagen con Material Preformado Thermomat y Material Termoplástico por Extrusión, acompañado con una Macrotextura mín. de 0,5 mm, podemos colocarla la misma en zonas con velocidades de 90 a 100 km/h. Usando para las mediciones Normas EN13036-4:2012, en base a valor de ensayo de Péndulo PTV y la Norma NLT 335/00 Parche de Arena.
- Se sugiere corregir la Tabla de Valores Mínimos del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, dividiendo esos valores entre 100, en el Adjunto a la Norma Uruguay de Señalización Horizontal del año 2001, agregando los valores de Macrotextura mín.
- Se sugiere debido a la gran cantidad de siniestros de tránsito en Uruguay con bimotores usar Demarcaciones con Material Preformada para hacer los pasajes de motocicletas seguras en zonas urbanas- suburbanas
- Se sugiere el Control de Macro y Microtextura cada 2 años para la Demarcación Tipo Imágenes con Material Termoplástico por Extrusión y cada 3 años para la Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado.
- Se sugiere hacer “rejuvenecimiento” con Esferas de Sembrado sobre la Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado si se constata una Macrotextura de aceptación. Hoy la Empresa Viamas S.A responsable de la planta de Thermomat (pintura Preformada) en el país, a los 36-42 meses hace la sustitución de la Demarcación Tipo Imagen: no se realiza ninguna medición de parámetro, solo por observación del estado de conservación de su superficie.
- Se sugiere usar técnica de Seal Coat en Pavimentos para “rejuvenecer” la performance con respecto a la Fricción del Pavimentos. Si bien de esta Investigación surgió no haber Problemas de Fricción en la actualidad en Ruta 3, ni en el By Pass ni problemas de Macrotextura que no aseguren una correcta Performance respecto

a este Parámetro tan relacionado con la seguridad al usuario.

- Se sugiere en carreteras de calzadas separadas, que suelen estar divididas por una mediana, colocar una banda lateral derecha en el margen de la calzada de la derecha (en sentido de circulación). Esta zona suele estar destinada a la detención de vehículos en caso de emergencia o para el paso de peatones en algunos casos. Está señalizada de forma que se evite el tránsito de vehículos por ella, salvo en situaciones de emergencia.
- Se sugiere que en carreteras de calzada única: En las carreteras de calzada única, donde no hay separación física entre los carriles en sentido contrario, la banda lateral derecha tiene la misma función de ofrecer una franja para situaciones de emergencia o como área de seguridad, pero en estos casos puede ser más amplia, dependiendo de las condiciones de la carretera.
- Se sugiere comenzar a exigir Medidas de Macrotextura y Fricción en todas las Obras en la Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico no solo como Condición de Recepción Provisoria sino en la Recepción Definitiva de la Seguridad Vial Tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico y también durante el Período de Mantenimiento.
- Se sugiere que al colocar Demarcación Tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico sea estudiada la zona y se acompañe con Cartelería Vertical de seguridad.
- Si bien al año y medio de ejecutada la Demarcación con Material Preformado y al año la Demarcación con Material Termoplástico presentan una importante disminución del Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento si se compara con la del Pavimento circundante, esto no presenta un problema de seguridad a los usuarios.

11. Estudios a futuro.

- Hacer mediciones de Fricción Lateral: Tomar varias Demarcaciones tipo Imágenes con Material Preformado/ Termoplástico y hacer las Comparaciones con los Resultados obtenidos en la Fricción Longitudinal.
- Hacer mediciones de Fricción y Macrotextura sobre Demarcaciones Longitudinales de eje y borde y hacer las comparaciones con las Señalizaciones tipo Imagen.
- Buscar en otras rutas Demarcaciones en Curva y hacer las Medidas de Fricción y Macrotextura correspondiente.
- Estudiar la ejecución de Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico por Extrusión, pero de Categorías 0 (Baja Reflectividad) y 2 (Alta Reflectividad).
- Estudiar Técnicas que prolonguen la vida útil de la Demarcación Tipo Imagen con Material Preformado y Termoplástico.
- Fomentar un Estudio en Conjunto entre Grupo San José S.A, Bitafal S.A y la Udelar, con uso del Grip Tester y el Péndulo Británico y hacer las comparaciones de las mediciones.
- Realizar la misma Investigación de Demarcaciones tipo Imágenes en Material Preformado y Termoplástico sobre Pavimento de Hormigón. Las condiciones de esta Investigación son sobre Pavimento Asfáltico, y los valores del Adjunto a la Norma de Señalización no hace la diferencia entre un Pavimento y otro o sea que en Principio se puede tomar como estos valores que cita la Norma para Pavimento de Hormigón, para todo tipo de Demarcación. Y a Nivel Internacional se habla sobre Coeficiente de Fricción sobre Marca Vial, no indicando el tipo de sustrato sobre el cual se apoya.
- Ahora bien, se debe tener en cuenta que, en los pavimentos de mezcla asfáltica, si se usa sobre todo agregado de buena calidad (como piedra triturada con caras angulosas), se vio que la fricción disminuye con el tiempo por pulimento de los agregados y desgaste superficial. Se puede mejorar con técnicas como el fresado superficial o un tratamiento superficial o un seal coat.
- En un pavimento de hormigón la Fricción es más estable a lo largo del tiempo pues los agregados están más expuestos superficialmente. Puede ocurrir que se tenga un buen acabado como ranurado transversal, texturizado longitudinal, cepillado, etc. Estas condiciones influyen mucho en la Fricción. En el caso de la Macrotextura de pavimentos asfálticos, su valor depende del tipo de mezcla: mezcla drenante o abiertas mayor macrotextura, mezclas densas macrotextura media o baja. En el

caso de la Macrotextura de pavimentos de hormigón, la macrotextura de los mismos se crea principalmente con el acabado superficial: por ejemplo, un ranurado transversal proporciona muy buena macrotextura, ayudando a drenar el agua y mejorar la fricción. El desgaste sobre una Superficie de Hormigón es más lento, es más duradero el valor de Macrotextura.

Dicho lo anterior, se puede llegar a inferir que este mejor comportamiento en cuanto a la evolución del pavimento de hormigón con respecto al pavimento de mezcla asfáltica con respecto a los dos parámetros que definen la fricción podría ocasionar una mejora de la fricción sobre la superficie de la Demarcación. Pero para tener certeza se debe estudiar específicamente la Demarcación tipo Imágenes con Material Preformado y Termoplástico sobre pavimento de hormigón y hacer las comparaciones con lo obtenido sobre mezcla asfáltica.

- El Grupo San José comenzará el estudio de los puntos sobre la Ruta 3 y el Bypass donde ocurrieron los siniestros de tránsito, desde que se inauguró la obra de Doble Vía y el By Pass.

12. Cierre de la Investigación.

Fue una Investigación enriquecedora en cuanto a obtención de conocimientos, aportando información sobre todo de los Preformados sobre la Red Vial Nacional que hoy están siendo colocados en muchos kilómetros de la misma.

Es un primer paso para incursionar (queda mucho por investigar) profundamente en el tema de Fricción sobre Demarcaciones sobre Pavimentos y también sobre los propios Pavimentos: se debe insistir en que sean colocadas condiciones de Recepción y de Mantenimiento de este Parámetro en todos los tipos de Contrato de la Red Vial Nacional, sobre todo teniendo en cuenta la tasa alta de siniestros de tránsito por despistes.

13. Referencias bibliográficas.

1• Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Perú)

Evaluación de Coeficientes de Fricción del Pavimento en 10 vías rápidas de Arequipa usando el Péndulo Británico TRRL, CONCYTEC:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10263>

2• Universidad Señor de Sipán-Chiclayo (Perú)

Factores influyentes en la Resistencia al deslizamiento en pavimentos flexibles: una revisión literaria, <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/article/view/535>.

3• D. López Valdés, P. Garnica Anguas

Consideraciones para la Aplicación del Índice de Fricción Internacional en Carreteras de México, Recuperado de :
www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt170.pdf

4• National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board (NCHRP).

Guide for Pavement Friction.

5• Dr. Ing. M. Pagola (2012)

Modelos de comportamiento de Adherencia Neumático- Calzada. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Instituto de Mecánica aplicada y Estructura.

6• Corporación Vial del Uruguay

Contratos de Mantenimiento CREMAF (Contrato de Rehabilitación y Mantenimiento Financiado): 2017-2023, [https:// www.cvu.com.uy/contacto-corporacion-vial-uruguay](https://www.cvu.com.uy/contacto-corporacion-vial-uruguay)

7•Ing. A. Gutiérrez - J. Belsito.

Documentos del 10° Congreso de Vialidad Uruguaya: Trabajo Técnico de Evaluación de Adherencia en Pavimentos de Aeropuertos. Laboratorio de Calidad de Pavimentos, Udelar (Universidad de la República Oriental del Uruguay).

8• Revista Routes/Roads – PIARC, <https://www.piarc.org/es/actividades/Revista-Routes-Roads>.

9• Revista Carreteras. (Argentina).

https://issuu.com/asociacionargentinadecarreteras/docs/revista_carreteras_248_libre_24_a_e1_b056cda6d.

10• Ing. A. Lasso.

Seal Coat con Polvo de Vidrio para mejorar la Resistencia al Deslizamiento, XXI CILA- Congreso Iberoamericano del Asfalto-Punta del Este 2022.

11• Norma Uruguaya de Señalización Horizontal (1999) (Uruguay) y Adjunto - Segunda Edición 2001

<https://www.gub.uy/norma-uruguaya-senalizacion-horizontal>

12• Congreso Nacional de Vialidad Argentina: XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito (2012), Córdoba- Argentina, <https://aacarreteras.org.ar/>.

13• Comité Asfalto Chile (2023).

Hablemos de Fricción, <https://youtu.be/VgwJ9Efb8Nc>.

14• Normas ASTM E 1960-07

Medición del Índice de Fricción Internacional

15• Normas ASTM E 303-93

Medición con Péndulo Inglés

16• Normas ASTM E 965-96

Medición Macrotextura usando Técnica Volumétrica

17• Ing. J. Coves García

Tesis Doctoral: “Análisis de la visibilidad y la Resistencia al Deslizamiento de las Marcas Viales Retrorreflectantes en Carretera Convencional”

<https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/53645?mode=full>

RUA_ Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante-2015.

18• Ing. D. Calavia Redondo

Documentos del 24° Symposium Nacional de vías y Obras de la Administración local - vyodeal -Valencia 2018: Trabajo Técnico de Seguridad Vial: “Guía de Señalización horizontal en carreteras locales”

<https://24vyodeal.aecarretera.com/wp-content/uploads/2018/05/David-Calavia.pdf>

AETEC-FOROVIAL

19• Ing. D. Calavia Redondo

Documentos del Foro vial de Seminarios sobre Seguridad Vial y Equipamiento Vial de la Federación Española de Municipios y Provincias: Trabajo Técnico de Seguridad Vial:

“Señalización Horizontal “

[http://femp.femp.es/files/566-2144-archivo/Se%C3%B1alizaci%C3%B3n%20horizontal%20\(AETEC\).pdf](http://femp.femp.es/files/566-2144-archivo/Se%C3%B1alizaci%C3%B3n%20horizontal%20(AETEC).pdf)

20•NFM (Nordisk Mode for Forbedret): traducidos de Nordic Meeting for improved road equipment-2011: Performance of road markings and road surfaces

<https://nmfv.dk/wp-content/uploads/2012/03/Performance-of-road-markings-and-road-surfaces.pdf>

21• Normas NLT-335/00 Medición con Círculo de Arena

NLT(Cedex_ Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España)

22• Normas NLT- 175/98

Medición de Coeficiente de Fricción con Péndulo Inglés

NLT(Cedex_ Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España)

23• Nota N° 27 del TRRL

“Instructions for using the portable skid resistance tester”, 2nd. 1969

Road Research Laboratory Ministry of Transport.

24• Multi-part Document

BS EN 13036- Road and airfield Surface characteristics. Test Methods. Method for measurement of slip/skid resistance of a Surface. <https://doi.org/10.3403/BS EN 13036>

25• Departamento de Geotécnica de la Facultad de Ingeniería de Uruguay (Udelar)-Instituto de Estructuras y Transporte

Taller:” Evaluación de Pavimentos-2023”

26• Intecpavsac : Inversión y tecnología de Pavimentos SAC- San Martín de Porres- Perú

“Ensayo de Coeficiente de Resistencia al deslizamiento en el Pavimento con Péndulo Inglés”
darwing.castillon@ciplima.org.pe/intecpavsac@gmail.com

27• Cristacol S.A- Buenos Aires-Argentina

Pintura Termovial X www.cristacol.com.ar/productos_termovial_x.php

Pintura Lumicot

www.cristacol.com.ar/productos_lumicot.php

Viamas: Ruta 3 Km 70.200 Villa María / San José – Uruguay contacto@viamas.com.uy

Pintura Thermomath preformada.

Informe de Datos de Siniestralidad del año 2023.

Unidad Nacional de Seguridad Vial [https://www.gub.uy>unidad-nacional-seguridad vial](https://www.gub.uy>unidad-nacional-seguridad-vial)

28. Ecuaciones de Correlación de la medida de Resistencia al Deslizamiento.

Universidad Pontificia Católica de Chile y Universidad Nacional de San Juan de Argentina

<https://repositorio.uc.cl>handle/11534/10141>

31.-A policy on Geometric Design of Highways and Streets

The Green Book 2018 (7th Edition) [https:](https://store.transportation.org/item/collectiondetail/180)

[//store.transportation.org/item/collectiondetail/180](https://store.transportation.org/item/collectiondetail/180)

32.-Requerimientos para la Ejecución de Demarcaciones en Pavimentos en Rutas Nacionales

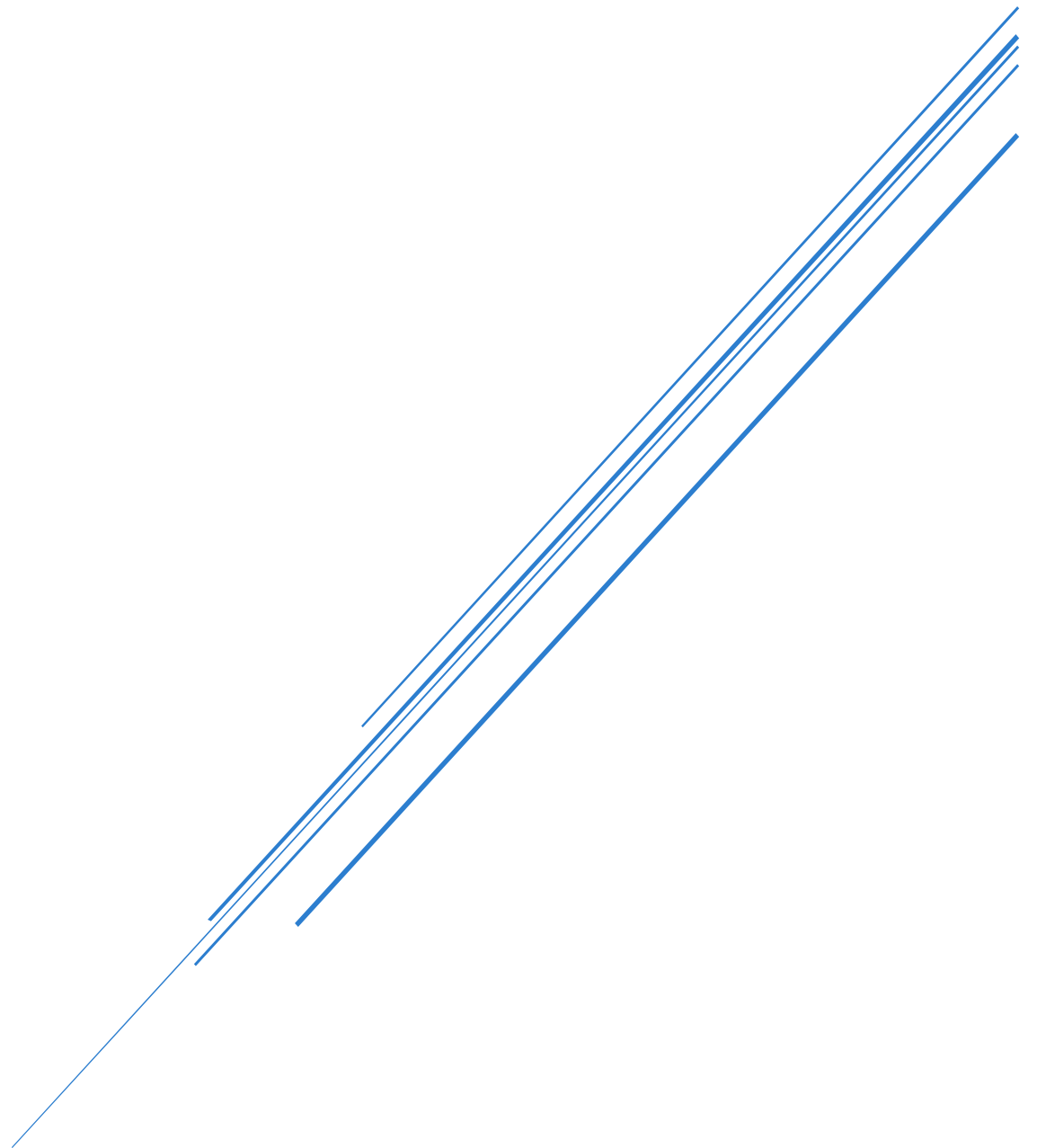
[https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/comunicación/publicaciones/serie-200-norma-senalizacion-horizontal/210- requerimientos para la ejecucion de demarcaciones en pavimentos en rutas nacionales](https://www.gub.uy/ministerio-transporte-obras-publicas/comunicación/publicaciones/serie-200-norma-senalizacion-horizontal/210-requerimientos-para-la-ejecucion-de-demarcaciones-en-pavimentos-en-rutas-nacionales)

14. Anexos.

- **ANEXO 1:** Mediciones de Fricción – Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos.
- **ANEXO 2:** Metodología de Tramos Homogéneos – Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos.
- **ANEXO 3:** Mediciones de Macro textura sobre Ruta 3 y By Pass.
- **ANEXO 4:** Mediciones de Coeficientes de Resistencia al Deslizamiento con Péndulo Británico.
- **ANEXO 5:** Planilla 1- Central.
- **ANEXO 6:** Norma de Medición de Macrotextura NLT 335/00.
- **ANEXO 7:** Norma de Medición de Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento NLT 175/98.
- **ANEXO 8:** Road Note N° 27 and Table 1 of Road Note 27.
- **ANEXO 9:** Fórmula de mezcla asfáltica para Rutas 3 y By Pass.
- **ANEXO 10:** Especificaciones Técnicas de Perfilómetro Láser y Grip Tester.
- **ANEXO 11:** Inventario de Señalización de Investigación.
- **ANEXO 12:** Evolución de Macrotextura.
- **ANEXO 13:** Pintura Termovial XAH1.
- **ANEXO 14:** Pintura Termovial XBH1.
- **ANEXO 15:** Estudio de Siniestralidad hasta el 31 de agosto del 2024.
- **ANEXO 16:** Microesferas Glassbeads para Pintura Termoplástica.
- **ANEXO 17:** Microesferas Swarco para Pintura Termoplástica.
- **ANEXO 18:** Microesferas Promax para Preformado.
- **ANEXO 19:** Identificación del Producto Preformado Thermomat.
- **ANEXO 20:** Identificación del Producto Swarcoflex.
- **ANEXO 21:** Norma UNE EN 13036-4:2012.
- **ANEXO 22:** Rangos PIARC de Macro y Microtextura.
- **ANEXO 23:** Calibración del Grip Tester.
- **ANEXO 24:** Pintura Spray Termovial SBH1 y Spray Termovial SAH1.
- **ANEXO 25:** Pintura Acrílica al Solvente Lumicot.
- **ANEXO 26:** Thermomat.

ANEXO 1

Mediciones de Fricción - Laboratorio de Control de
Calidad de Pavimento



IET- Instituto de Estructuras y Transporte - LCCP
UDELAR

Posicion	Parámetro	Nº medida	Intervalo	Distancia acum	Media movil	Area real	Area acum	Zx
m	µm		m	m	µm	ai		
70.000	0,645	1	1	1	1	1	0,044773029	
70.001	0,64	2	1	2	1	1	0,087046059	
70.002	0,64	3	1	3	1	1	0,128819088	
70.003	0,646667	4	1	4	1	1	0,169925418	
70.004	0,64	5	1	5	1	1	0,2103031747	
70.005	0,64	6	1	6	1	1	0,252804777	
70.006	0,64	7	1	7	1	1	0,292577806	
70.007	0,64	8	1	8	1	1	0,332350836	
70.008	0,645	9	1	9	1	1	0,374623865	
70.009	0,656667	10	1	10	1	1	0,425230245	
70.010	0,645	11	1	11	1	1	0,475836624	
70.011	0,63	12	1	12	1	1	0,513109654	
70.012	0,63	13	1	13	1	1	0,542882683	
70.013	0,63	14	1	14	1	1	0,572655713	
70.014	0,63	15	1	15	1	1	0,602428742	
70.015	0,65	16	1	16	1	1	0,642201772	
70.016	0,65	17	1	17	1	1	0,691974801	
70.017	0,626667	18	1	18	1	1	0,730081181	
70.018	0,645	19	1	19	1	1	0,765876756	
70.019	0,656667	20	1	20	1	1	0,81629394	
70.020	0,635	21	1	21	1	1	0,861900319	
70.021	0,64	22	1	22	1	1	0,899173349	
70.022	0,655	23	1	23	1	1	0,946446378	
70.023	0,643333	24	1	24	1	1	0,995386058	
70.024	0,64	25	1	25	1	1	1,036825737	
70.025	0,65	26	1	26	1	1	1,081588767	
70.026	0,645	27	1	27	1	1	1,128871796	
70.027	0,636667	28	1	28	1	1	1,169478176	
70.028	0,645	29	1	29	1	1	1,210084555	
70.029	0,646667	30	1	30	1	1	1,255690885	
70.030	0,635	31	1	31	1	1	1,296297214	
70.031	0,63	32	1	32	1	1	1,328570244	
70.032	0,64	33	1	33	1	1	1,363343273	
70.033	0,65	34	1	34	1	1	1,408116302	
70.034	0,64	35	1	35	1	1	1,452889332	
70.035	0,63	36	1	36	1	1	1,487662361	
70.036	0,62	37	1	37	1	1	1,512435391	
70.037	0,61	38	1	38	1	1	1,52720842	
70.038	0,61	39	1	39	1	1	1,5398145	
70.039	0,61	40	1	40	1	1	1,546754479	
70.040	0,615	41	1	41	1	1	1,55027509	
70.041	0,626667	42	1	42	1	1	1,579633888	
70.042	0,62	43	1	43	1	1	1,602740268	
70.043	0,63	44	1	44	1	1	1,627513297	
70.044	0,635	45	1	45	1	1	1,659786327	
70.045	0,646667	46	1	46	1	1	1,700392666	
70.046	0,635	47	1	47	1	1	1,740998986	
70.047	0,623333	48	1	48	1	1	1,789938865	
70.048	0,645	49	1	49	1	1	1,830878345	
70.049	0,65	50	1	50	1	1	1,851151374	
70.050	0,64	51	1	51	1	1	1,895924404	
70.051	0,633333	52	1	52	1	1	1,932364083	
70.052	0,645	53	1	53	1	1	1,971303763	
70.053	0,64	54	1	54	1	1	2,013576792	
70.054	0,63	55	1	55	1	1	2,048349822	
70.055	0,636667	56	1	56	1	1	2,081456201	
70.056	0,645	57	1	57	1	1	2,122062581	
70.057	0,636667	58	1	58	1	1	2,16266896	
70.058	0,63	59	1	59	1	1	2,19577534	
70.059	0,645	60	1	60	1	1	2,233048369	
70.060	0,64	61	1	61	1	1	2,275321399	
70.061	0,625	62	1	62	1	1	2,307594428	
70.062	0,626667	63	1	63	1	1	2,333200808	
70.063	0,65	64	1	64	1	1	2,371307187	
70.064	0,64	65	1	65	1	1	2,416080217	
70.065	0,635	66	1	66	1	1	2,453353246	
70.066	0,65	67	1	67	1	1	2,495626276	
70.067	0,645	68	1	68	1	1	2,542899305	
70.068	0,64	69	1	69	1	1	2,585172334	
70.069	0,63	70	1	70	1	1	2,619945364	
70.070	0,533333	71	1	71	1	1	2,601385043	
70.071	0,36	72	1	72	0	0	2,447824723	
70.072	0,31	73	1	73	0	0	2,182597752	
70.073	0,39	74	1	74	0	0	2,932370782	
70.074	0,436667	75	1	75	0	0	1,745477111	
70.075	0,46	76	1	76	0	0	1,593583441	
70.076	0,526667	77	1	77	0	0	1,48668877	
70.077	0,59	78	1	78	1	1	1,4447961	
70.078	0,6	79	1	79	1	1	1,439569129	
70.079	0,62	80	1	80	1	1	1,449342159	
70.080	0,63	81	1	81	1	1	1,474115188	
70.081	0,655	82	1	82	1	1	1,516388218	
70.082	0,643333	83	1	83	1	1	1,565327947	
70.083	0,63	84	1	84	1	1	1,601767677	
70.084	0,643333	85	1	85	1	1	1,638207356	
70.085	0,64	86	1	86	1	1	1,679647036	
70.086	0,623333	87	1	87	1	1	1,711086715	
70.087	0,625	88	1	88	1	1	1,735026395	
70.088	0,633333	89	1	89	1	1	1,763966074	
70.089	0,64	90	1	90	1	1	1,800405754	
70.090	0,63	91	1	91	1	1	1,835178783	
70.091	0,63	92	1	92	1	1	1,864951813	
70.092	0,633333	93	1	93	1	1	1,896391492	
70.093	0,645	94	1	94	1	1	1,935331172	
70.094	0,64	95	1	95	1	1	1,977604201	
70.095	0,65	96	1	96	1	1	2,022377231	
70.096	0,64	97	1	97	1	1	2,06715026	
70.097	0,63	98	1	98	1	1	2,10192329	

Progresiva final At 1201,054168 E* 1

Arrastrar tramos

72000 Lp 2001

Datos Cálculos



Definición de tramos

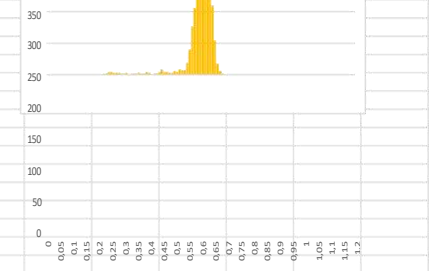
Tramo	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Prog final	70400	70800	70930	71350	71500	71600	71800	71850	71900

Valores estadísticos

Media	0,600
Mediana	0,610
Desv	0,056
Moda	0,610
COV	9,4%

	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5	Tramo 6	Tramo 7	Tramo 8	Tramo 9
Prom GN	0,633	0,616	0,561	0,587	0,555	0,590	0,572	0,582	0,624

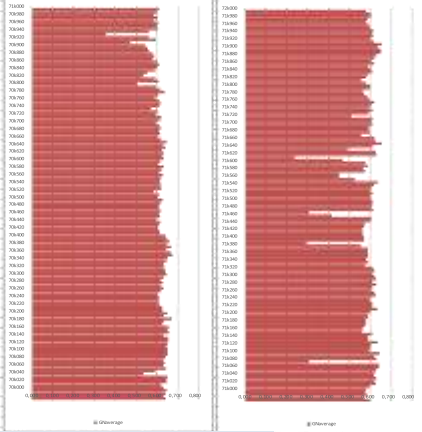
DISTRIBUCION GN



Módulo de elasticidad	30
ν	0,2
parámetro de bloque	10,5%
α	0,002
β	0,01

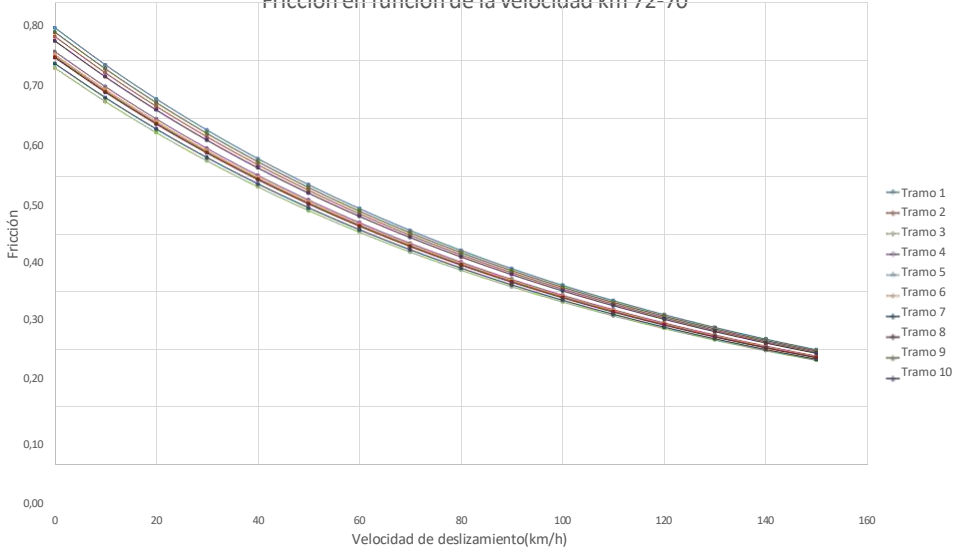
MED Promedio Medición 1	1,112028
MED Promedio Medición 2	0,974143
MED PROMEDIO GEN.	1,063390

TRAMO	FROM ON	To	PROM (h)	T	h ₀	FREQ.	MED.
1	0,033	1,003	51,452	7,46	132,23	0,96	0,411
2	0,033	1,003	51,791	7,80	132,23	0,87	0,414
3	0,033	1,003	52,081	7,95	132,23	0,82	0,407
4	0,033	1,003	45,181	7,15	132,23	0,970	0,419
5	0,033	1,003	51,928	7,53	132,23	0,904	0,414
6	0,033	1,003	44,751	6,47	132,23	0,96	0,415
7	0,033	1,003	47,051	6,94	132,23	0,906	0,409
8	0,033	1,003	44,354	7,02	132,23	0,961	0,411
9	0,033	1,003	52,081	7,54	132,23	0,92	0,408
10	0,033	1,003	46,94	6,99	132,23	0,906	0,409



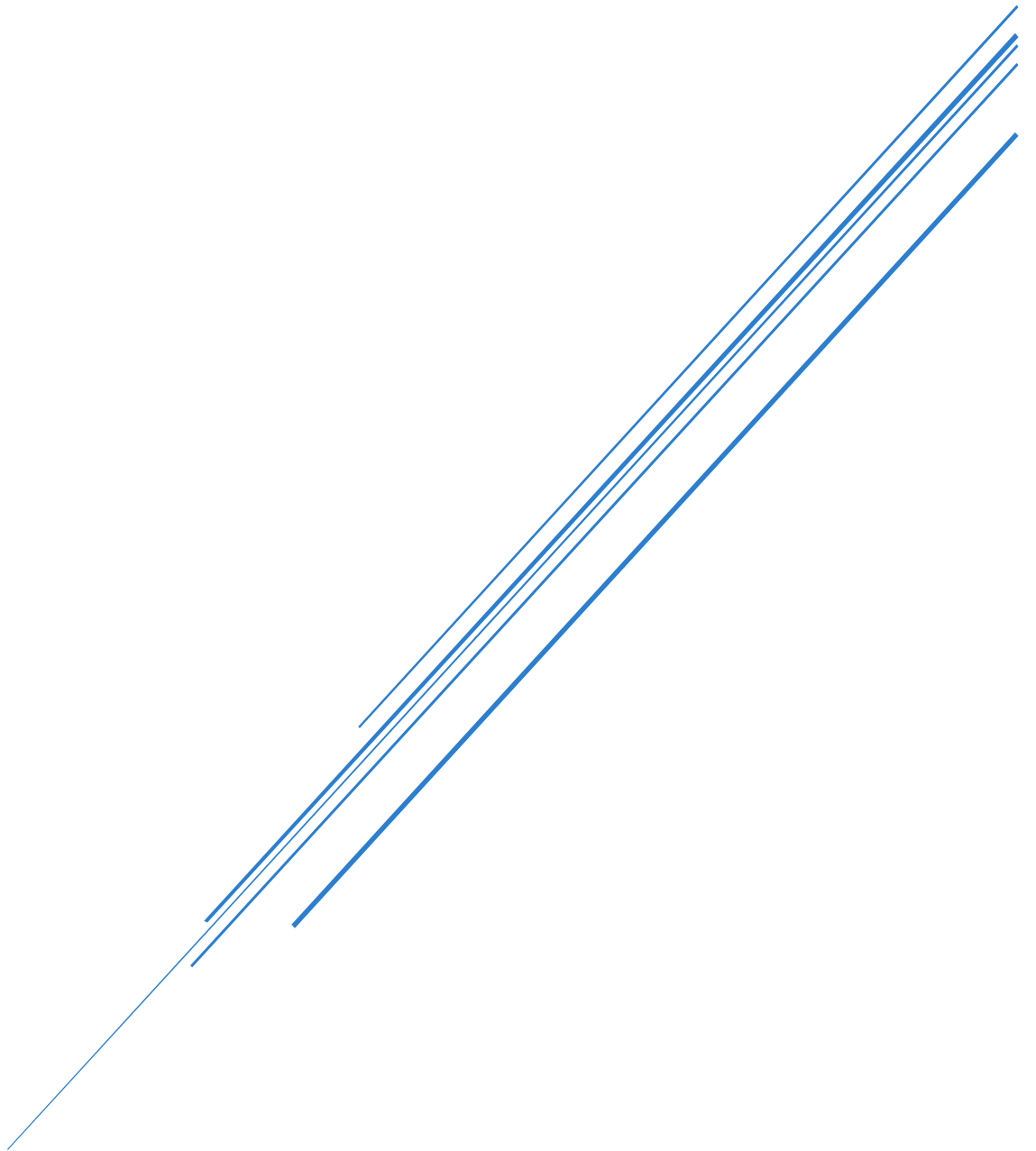
1	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS	V(m/h)	RS
1	0,212	10	0,212	10	0,212	10	0,212	10	0,212	10	0,212	10	0,212	10	0,212	10	0,212	10
10	0,237	10	0,237	10	0,237	10	0,237	10	0,237	10	0,237	10	0,237	10	0,237	10	0,237	10
100	0,259	10	0,259	10	0,259	10	0,259	10	0,259	10	0,259	10	0,259	10	0,259	10	0,259	10
100	0,284	10	0,284	10	0,284	10	0,284	10	0,284	10	0,284	10	0,284	10	0,284	10	0,284	10
100	0,311	10	0,311	10	0,311	10	0,311	10	0,311	10	0,311	10	0,311	10	0,311	10	0,311	10
100	0,337	10	0,337	10	0,337	10	0,337	10	0,337	10	0,337	10	0,337	10	0,337	10	0,337	10
100	0,370	10	0,370	10	0,370	10	0,370	10	0,370	10	0,370	10	0,370	10	0,370	10	0,370	10
100	0,402	10	0,402	10	0,402	10	0,402	10	0,402	10	0,402	10	0,402	10	0,402	10	0,402	10
100	0,443	10	0,443	10	0,443	10	0,443	10	0,443	10	0,443	10	0,443	10	0,443	10	0,443	10
100	0,484	10	0,484	10	0,484	10	0,484	10	0,484	10	0,484	10	0,484	10	0,484	10	0,484	10
100	0,525	10	0,525	10	0,525	10	0,525	10	0,525	10	0,525	10	0,525	10	0,525	10	0,525	10
100	0,576	10	0,576	10	0,576	10	0,576	10	0,576	10	0,576	10	0,576	10	0,576	10	0,576	10
100	0,627	10	0,627	10	0,627	10	0,627	10	0,627	10	0,627	10	0,627	10	0,627	10	0,627	10
100	0,677	10	0,677	10	0,677	10	0,677	10	0,677	10	0,677	10	0,677	10	0,677	10	0,677	10
100	0,728	10	0,728	10	0,728	10	0,728	10	0,728	10	0,728	10	0,728	10	0,728	10	0,728	10

Fricción en función de la velocidad km 72-70



ANEXO 2

Metodología de Tramos Homogéneos Laboratorio de
Control de Calidad de Pavimentos



Laboratorio de Control de Calidad de Pavimentos Instituto de Estructuras y Transporte Facultad de Ingeniería- Universidad de la República

Instructivo de tramos homogéneos y estadística

Método de las diferencias acumuladas

Para determinar tramos homogéneos se utiliza el método de las diferencias acumuladas. Este método está implementado en una planilla de cálculo "Tramos homogéneos.xlsm". Al abrir el archivo se debe dar click en Habilitar Edición.

En las columnas A y B, se deben pegar los datos que se quieren evaluar. **Para que funcione bien la planilla, las progresivas deben estar ordenadas de menor a mayor.** Una vez pegados los datos, se opirme el botón *Arrastrar tramos*.

Deberían arrastrarse las fórmulas de las celdas grises de forma automática y actualizarse el gráfico.

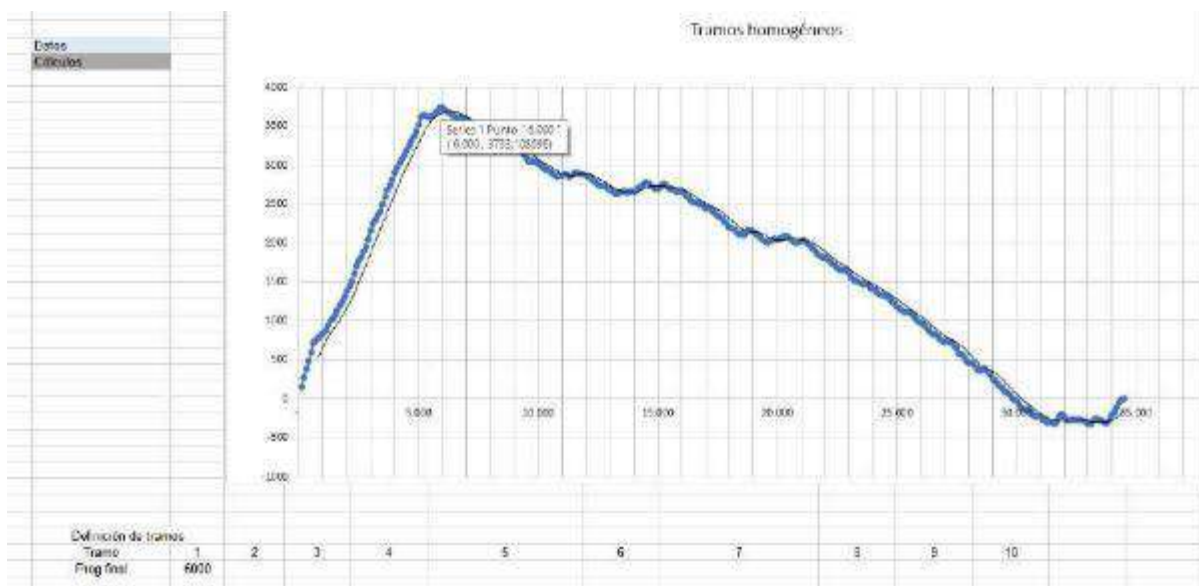


Figura 1. Gráfico del método de diferencias acumuladas

En este gráfico se muestra la variable Zx en función de la progresiva, cada cambio de pendiente indicaría un nuevo tramo homogéneo. En este caso podría definirse un primer tramo hasta la progresiva 6000.

Estadística

Una vez definidos los tramos homogéneos, se determinan ciertos parámetros estadísticos para evaluar la distribución de los datos. El promedio y la desviación estándar son los más típicos en el caso de que los datos se asemejen a una distribución del tipo Gaussiana. Para poder evaluar cualitativamente si esto es así, se podría calcular la mediana y la moda. En caso de que la distribución de los datos sea

similar a una campana, el promedio, mediana y moda deberían ser similares. En caso contrario, sería un indicativo de que la distribución no es simétrica, por ejemplo. En estos casos puede que el promedio y la desviación estándar no sean representativos de los datos.

Para cuantificar la dispersión, suele utilizarse el coeficiente de variación (CV), definido como:

$$CV = \frac{\sigma}{\mu}$$

Donde σ es la desviación estándar y μ es el promedio.

Valores por debajo de 20 % están asociados a dispersiones bajas, mientras que valores por encima del 40 % ya son dispersiones muy elevadas.

Otros valores útiles son los percentiles, que indican el valor que superan el x % de los datos.

En análisis de pavimentos, suele considerarse el percentil 80 como valor característico.

Para el análisis de los datos se sugiere calcular los siguientes parámetros:

- Promedio
- Mediana
- CV
- Valor característico (80 %)

Al considerar un valor característico se debe tener en cuenta qué parámetro se está evaluando ya que, en algunos casos, el valor que queremos determinar estará asociado a un percentil 80 % y en otros casos a un percentil 20 %.

A modo de ejemplo, si estamos evaluando deflexiones, vamos a querer determinar un valor de deflexión para el cual sólo un 20 % de los datos esté por encima de este valor. Sin embargo, si estamos evaluando una resistencia, vamos a querer que el 80 % de los datos esté por encima de ese valor característico.

Definición de tramos homogéneos

Para proceder con la tramificación del sector en análisis y teniendo estudiado el trazado de los parámetros del pavimento, se utilizan dos métodos.

Uno de ellos es el examen visual para determinar subjetivamente dónde se producen unidades relativamente semejantes.

Además, hay métodos analíticos como el “Método de diferencias acumuladas” que es fácilmente adaptable a la evaluación informatizada. Se basa en el simple hecho matemático de que cuando la variable Z_x (definida como la diferencia entre el área bajo la curva de respuesta a cualquier distancia y el área total desarrollada a partir de la respuesta global del proyecto a la misma distancia) se representa en función de las progresivas a lo largo del proyecto, los límites del tramo se definen donde se produce el cambio de pendiente en el gráfico de la variable de diferencia acumulativa para todo el tramo en estudio (Z_x vs X). Luego, se debe evaluar la longitud resultante de cada unidad para determinar si dos o más unidades deben combinarse para consideraciones prácticas. La combinación de unidades debe hacerse en relación con la sensibilidad de los valores para cada tramo en el desempeño de futuros diseños de rehabilitación.

La expresión que define la variable Z_x es la siguiente: $Z_x = \sum_{ni=1} a_i - F * \sum_{ni=1} \Delta x_{ini} = 1$

Siendo $a_i = (r_i - 1 + r_i) * \Delta x_i / 2 = r_i * \Delta x_i$ $F = \sum_{ni=1} a_i = 1 * L_p$

r_i : valor de respuesta a la medición i .

n : número de intervalos entre mediciones consecutivas.

nt : número total de intervalos entre mediciones consecutivas.

x_i : diferencia entre progresivas.

L_p : longitud total del tramo.

Fuente: Método AASHTO 93 – Apéndice J

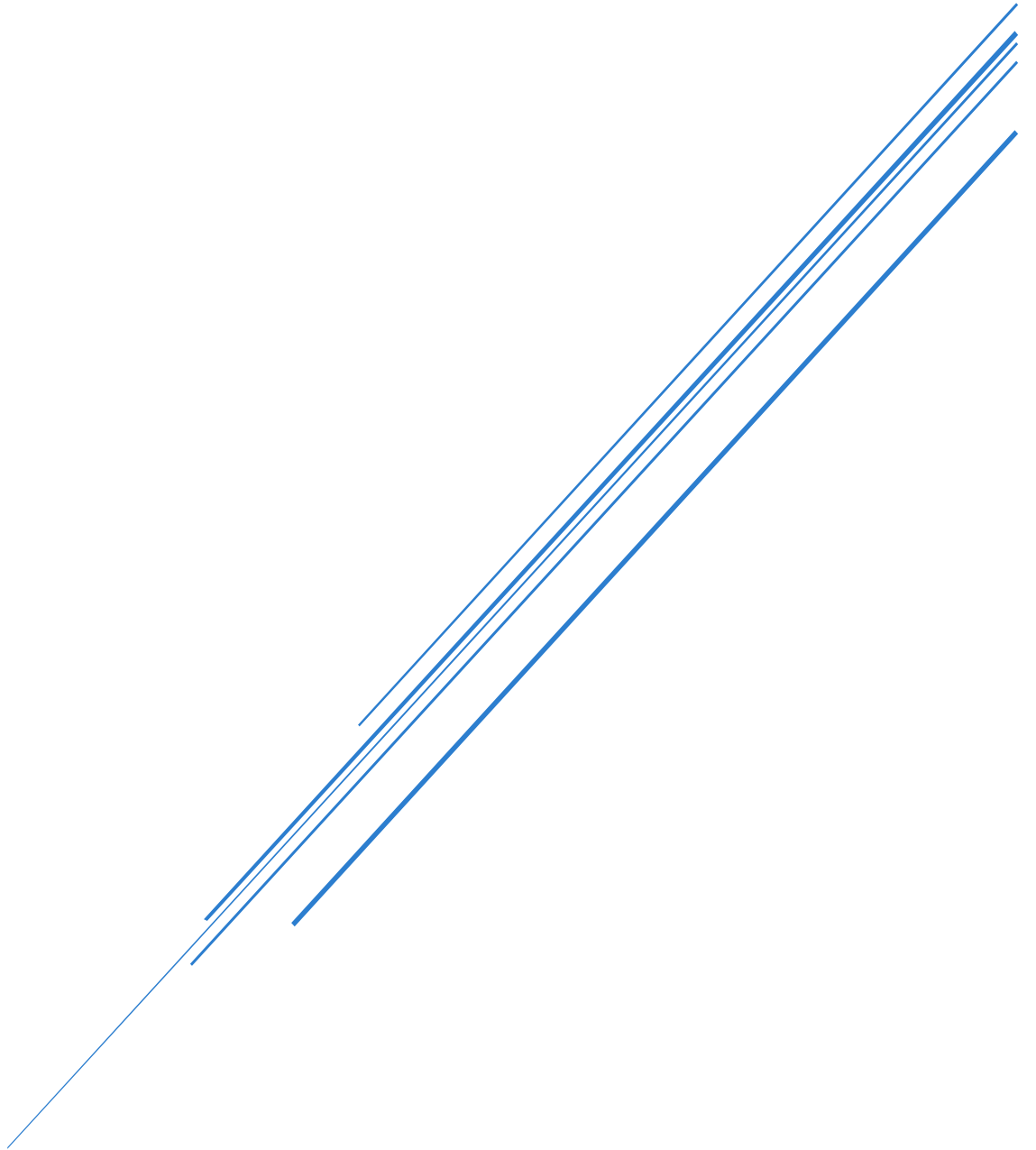
Esta expresión se vuelve compleja dado que considera que el muestreo no se realiza con datos equiespaciados.

Si fueran equiespaciados, la ecuación se simplifica a la siguiente:

$$Z_x = \sum (r_i - r_{ni=1})$$

ANEXO 3

Medición de Macrotextura con Parche de Arena sobre Demarcaciones Horizontales Tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico



Ing. Beatriz Carnales
Grupo San José S.A

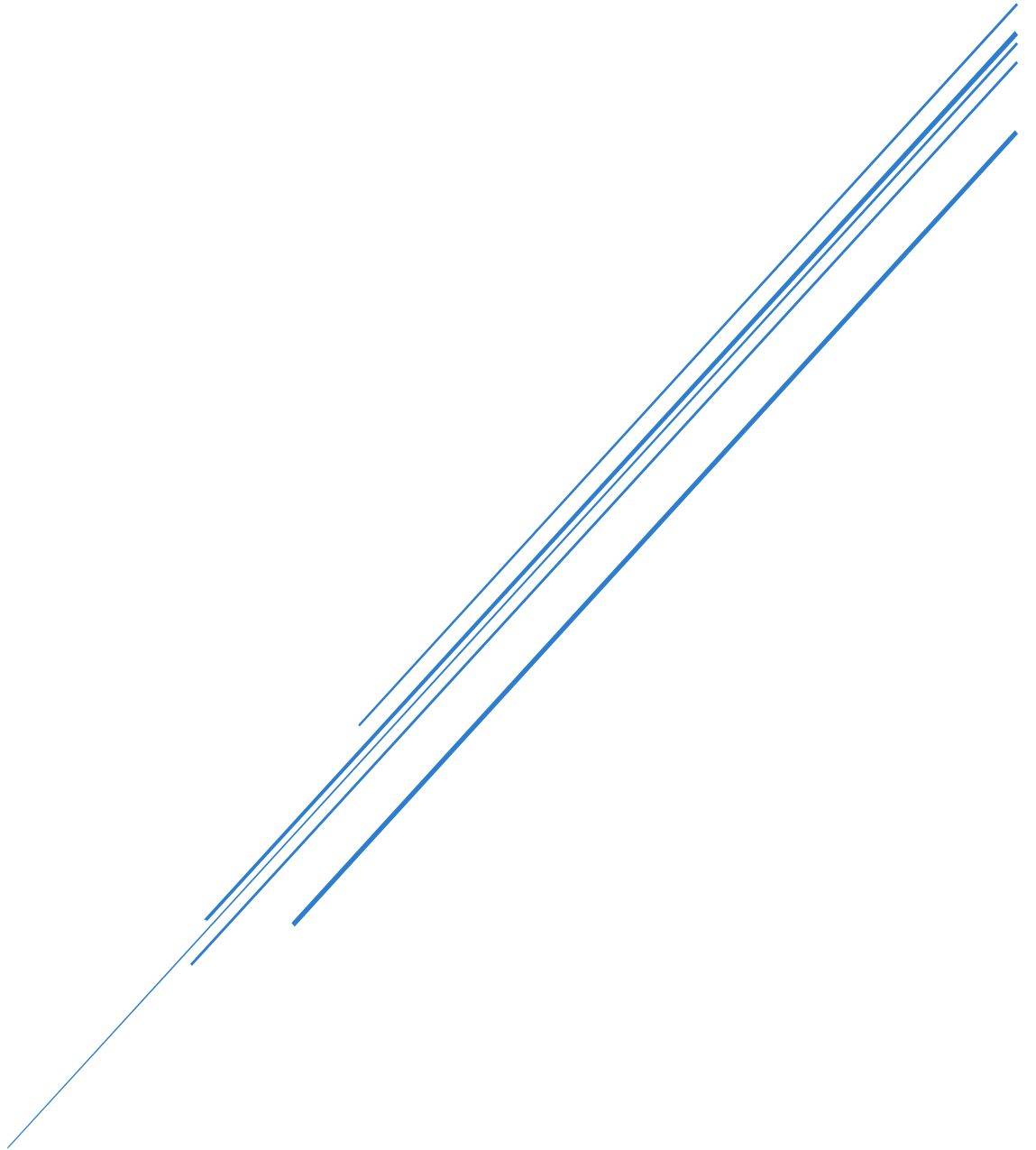
Obra:	Obra:	Doble Vía Ruta 3
Operadores:	Operadores:	Fecha: junio- agosto 2024
Material:	Material: Microesferas	Volumen : 25200 mm³



N°	Progresiva	Pa vimiento a -						Señaliza ción a -					
		Senda rá pida			Senda lenta			Senda rá pida			Senda lenta		
		(-)	seje	(+)	(-)	seje	(+)	(-)	seje	(+)	(-)	seje	(+)
3y 4	71900 - - y - + m ay.24	22					22,1	27					26,4
		21,8					22,2	27					26,2
		21,6					22	27,1					26,2
		23,8					22,1	27					26,4
	Prom ed io	22,3					22,1	27,0					26,3
	Prof m edia	0,65					0,66	0,44					0,46
5y6	71+550 - - y - + m ay.24	21,9					20,6	26,8					23,2
		22					20,4	26,8					23
		22					20,4	26,6					23
		21,8					20	26,6					23,2
	Prom ed io	21,9					20,4	26,7					23,1
	Prof m edia	0,67					0,77	0,45					0,60
3	Flecha Term o.2500 - dic.23						26						22,9
							26,3						22,9
							26,1						22,8
							26						22,8
	Prom ed io						26,1						22,9
	Prof m edia						0,47						0,61
3	Flecha Term o. 72.050 - diclem bro 21	21,8						22					
		21,2							24,2				
		21,4							21,4				
		21,6							21,6				
	Prom ed io	21,5						22,3					
	Prof m edia	0,69						0,65					

ANEXO 4

Medición con Péndulo Británico sobre Demarcaciones Horizontales tipo Imagen con Material Preformado/ Termoplástico y sobre el Pavimento



Ing. Beatriz Carnales
Grupo San José S.A

**MEDICION CON PENDULO INGLES- 30 DE JUNIO - 1 DE AGOSTO
2024, algunos ejemplos**

1-70.800 a +: Señal de 45 preformada y Pavimento: Año 2022

Temperatura del aire= 14 °C; Vientos=20km/h

Temperatura del pavimento=17 °C

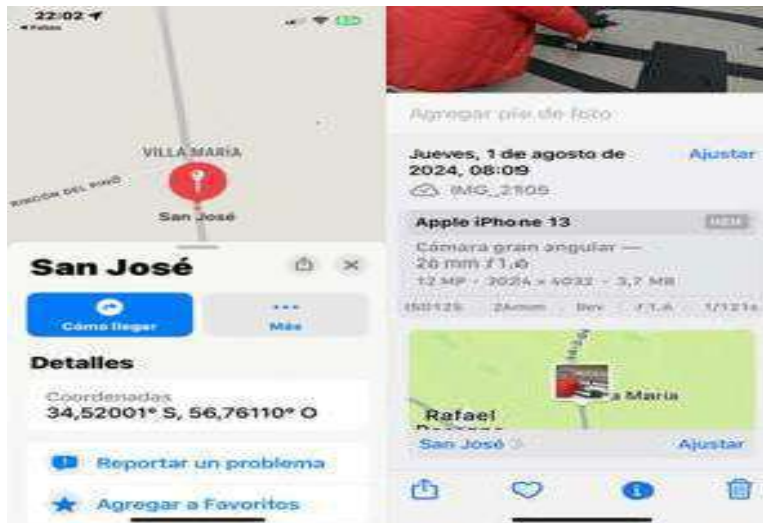


Pav. = 62 y Señal=60

1. 70.800 a + - y Pavimento Señal de 45 preformada y Pavimento: Año 2022

Temperatura del aire= 14 °C; Vientos=20km/h

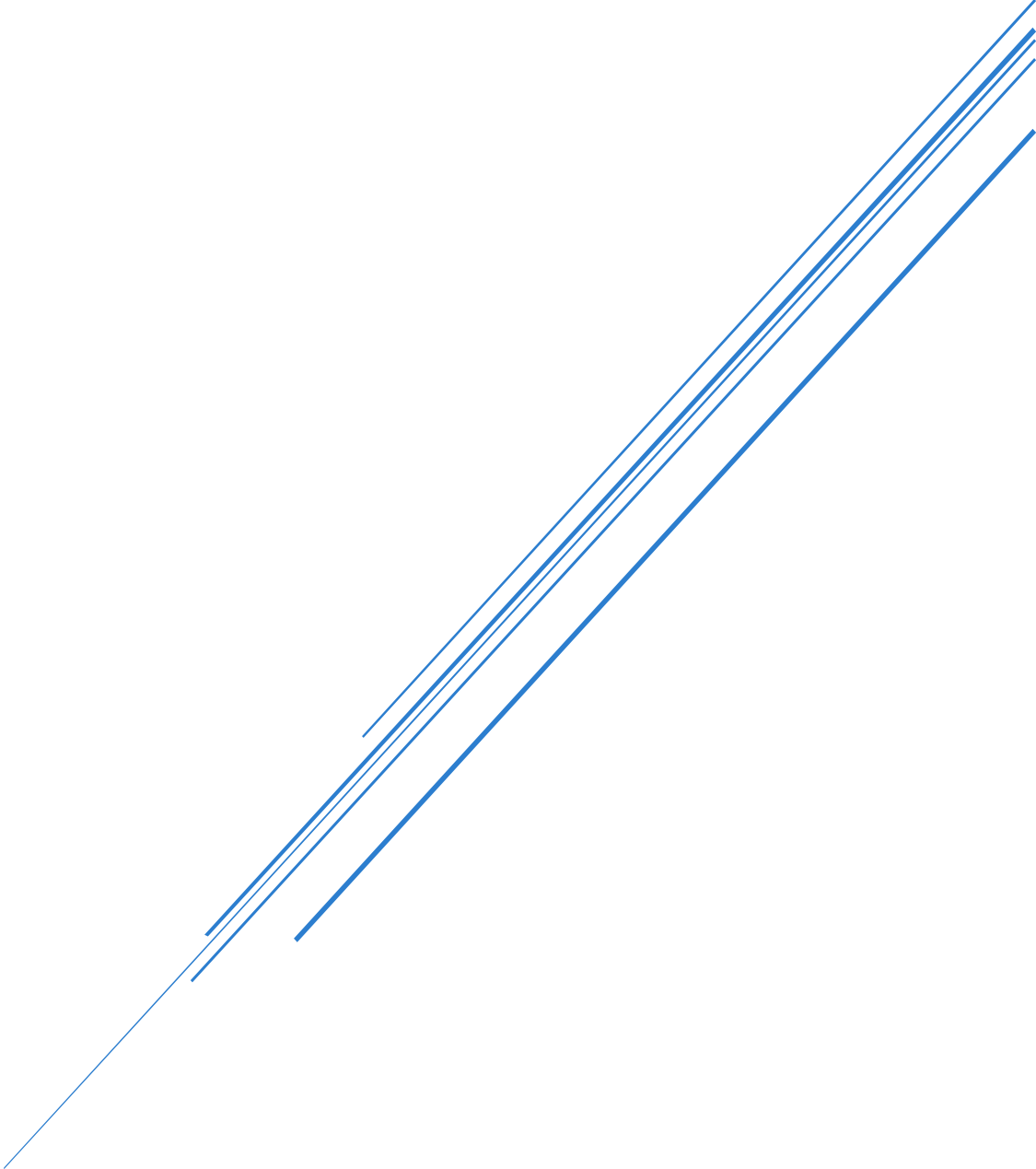
Temperatura del pavimento= 17 °C



Pav.= 63 y Señal= 60

ANEXO 5

PLANILLA 1- CENTRAL



GRUPO SAN JOSE

MEDICION DE ADHERENCIA NEUMATICO CALZADA

Coefficiente de fricción con Péndulo de Fricción

Macrotextura con Parche de arena

ROTA N°:

TRAMO: Kms

0003

Promedio

Percentil 100

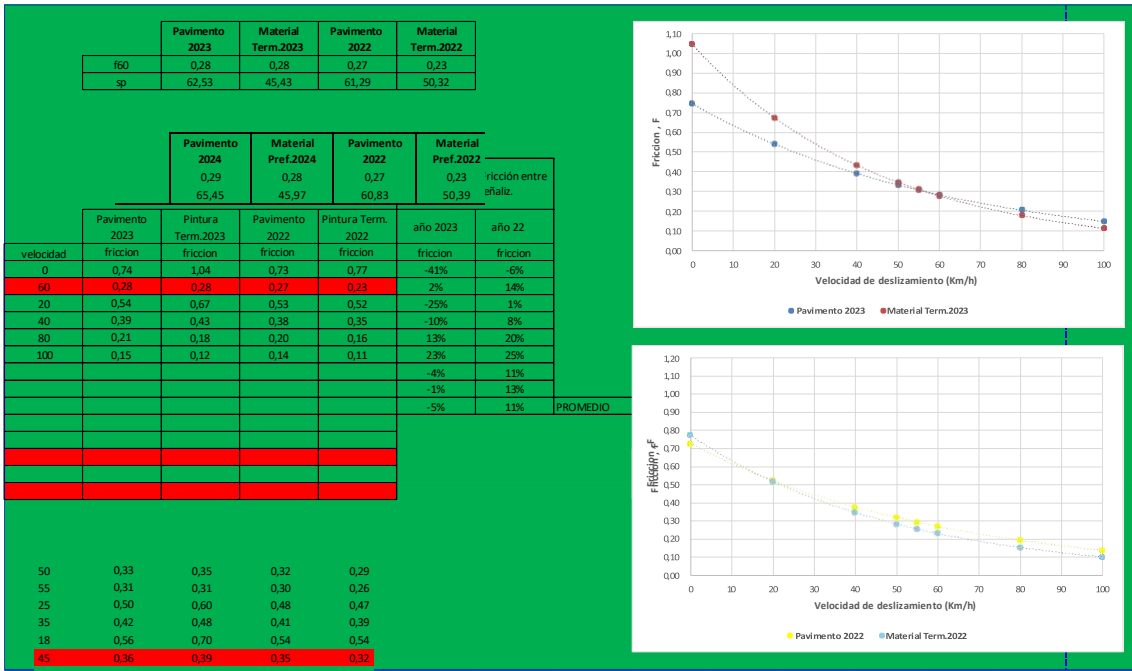
Percentil 80

Percentil 50

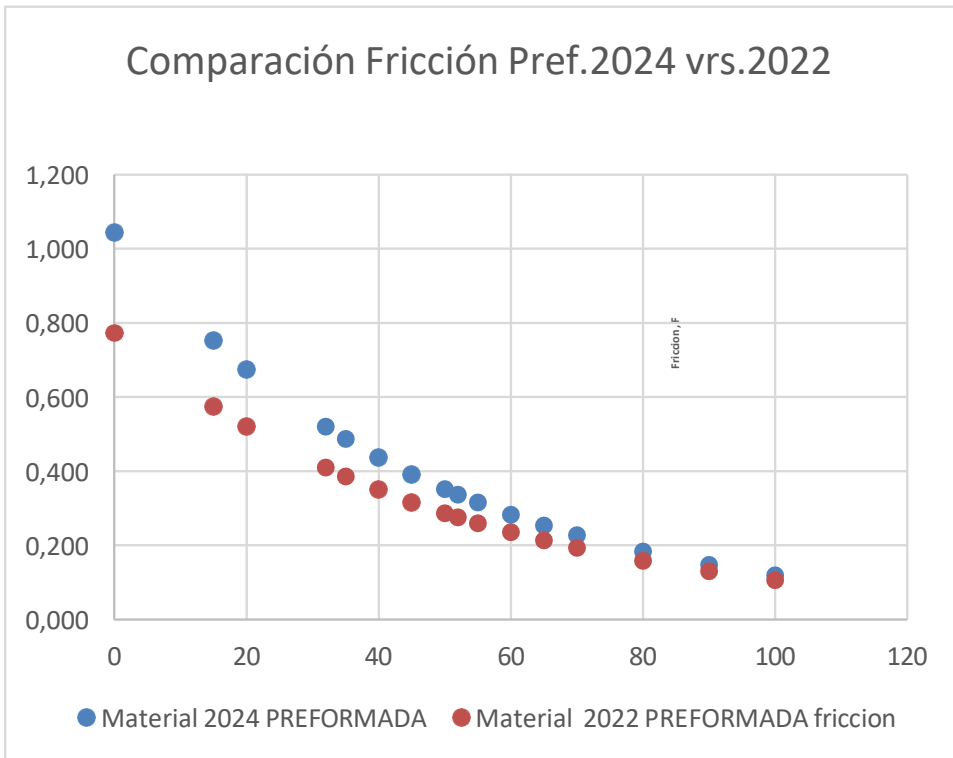
* Diámetro 2 es un promedio de 2 mediciones

* Diámetro 1 es un promedio de 2 mediciones

		MEDICION EN CAMPAÑA										CÁLCULOS						
de medición	Temperatura (°C)	Cilindro Vol (mm³)	Parche de Arena		Péndulo de Fricción					Hs = V / (π * (D / 2)²)	BPN (1 a 10)	SP	FR80	FR0	F (SP FR0)			
			Díámetro 1 (mm)	Díámetro 2 (mm)	Díámetro Promedio (mm)	1	2	3	4							5	Parche de Arena - Hs (mm)	Péndulo de Fricción
AÑO 2024																		
1- Preformado Escuela 71.100 ++	Ascendente	Interna	18	25000	249	244	246	85	80	90	85	80	0,53	84	47,79	29,50	0,29	(47,79 ; 0,29)
1- Pavimento Escuela 71.100 ++	Ascendente	Interna	18	25000	219	218	219	65	66	68	62	60	0,67	64	63,78	29,31	0,29	(63,78 ; 0,29)
2- Preformado Escuela 71.100 +	Ascendente	Interna	18	25000	231	232	232	80	85	85	80	85	0,59	83	55,51	33,72	0,32	(55,51 ; 0,32)
2- Pavimento Escuela 71.100 +	Ascendente	Interna	18	25000	218	216	217	64	66	60	62	60	0,68	62	64,83	28,86	0,28	(64,83 ; 0,28)
3- Preformado radar 71.900 -	Ascendente	Interna	19	25000	270	270	270	85	80	80	80	85	0,44	82	37,64	21,72	0,23	(37,64 ; 0,23)
3- Pavimento radar 71.900-			19	25000	222	222	222	66	65	70	60	62	0,65	65	61,41	28,62	0,28	(61,41 ; 0,28)
4- Preformado radar 71.900+	Ascendente	Interna	19	25000	262	264	263	90	85	90	90	85	0,46	90	40,31	26,04	0,26	(40,31 ; 0,26)
4- Pavimento radar 71.900+	Ascendente	Interna	19	25000	221	219	220	60	64	60	66	60	0,66	62	62,75	27,95	0,28	(62,75 ; 0,20)
5- Preformado Escuela 71.500 -	Ascendente	Interna	19	25000	268	266	267	85	90	85	90	85	0,45	87	38,76	23,95	0,25	(38,76 ; 0,25)
5- Pavimento Escuela 71.500 -	Ascendente	Interna	19	25000	219	217	218	65	65	70	65	65	0,67	66	64,13	30,26	0,29	(64,13 ; 0,29)
6- Preformado Escuela 71.500 +			19	25000	230	232	231	90	90	85	85	85	0,60	88	55,80	36,08	0,33	(55,80 ; 0,33)
6- Pavimento Escuela 71.500 +			19	25000	204	202	203	60	62	66	64	64	0,77	63	75,79	32,67	0,31	(75,79 ; 0,31)
Promedio Macrotextura Año 2024 Preformados																		
Promedio diámetros Parche de Arena Preformados			19	25000			261						0,51		45,97			
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos			19	25000			216						0,68		65,45			
Promedio BPN Preformados													86		28,89		0,28	(45,97 ; 0,28)
Promedio BPN Pavimento													64		29,69		0,29	(65,45 ; 0,29)
AÑO 2023																		
1- Señal Ceda al Paso Termoplástica : 270			22	25000	241	244	243	87	85	85	87	87	0,54	86	49,53	31,41	0,30	(49,53 ; 0,30)
1- Pavimento 270			22	25000	202	203	203	68	70	68	66	66	0,78	68	76,23	35,08	0,33	(76,23 ; 0,33)
2- Flecha Termoplástica senda a + : 200			22	25000	252	249	251	85	83	83	85	85	0,51	84	45,66	28,17	0,28	(45,66 ; 0,28)
2- Pavimento +200			22	25000	232	236	234	60	68	68	68	62	0,58	65	54,08	25,86	0,26	(54,08 ; 0,26)
3- Flecha Termoplástica senda a -2500			22	25000	260	262	261	87	85	85	85	83	0,47	85	41,12	25,19	0,26	(41,12 ; 0,26)
3- Pavimento -2500			22	25000	228	229	229	63	63	60	60	63	0,61	62	57,30	25,82	0,26	(57,30 ; 0,26)
Promedio Macrotextura Año 2023 Termoplástica																		
Promedio diámetros Parche de Arena Termoplástica							251											
Promedio diámetros Parche de Arena Pavimentos							222											
Promedio BPN Termoplástica													0,51	86	45,43	28,32	0,28	(45,43 ; 0,28)
Promedio BPN Pavimento													0,66	65	62,53	29,16	0,28	(62,53 ; 0,28)

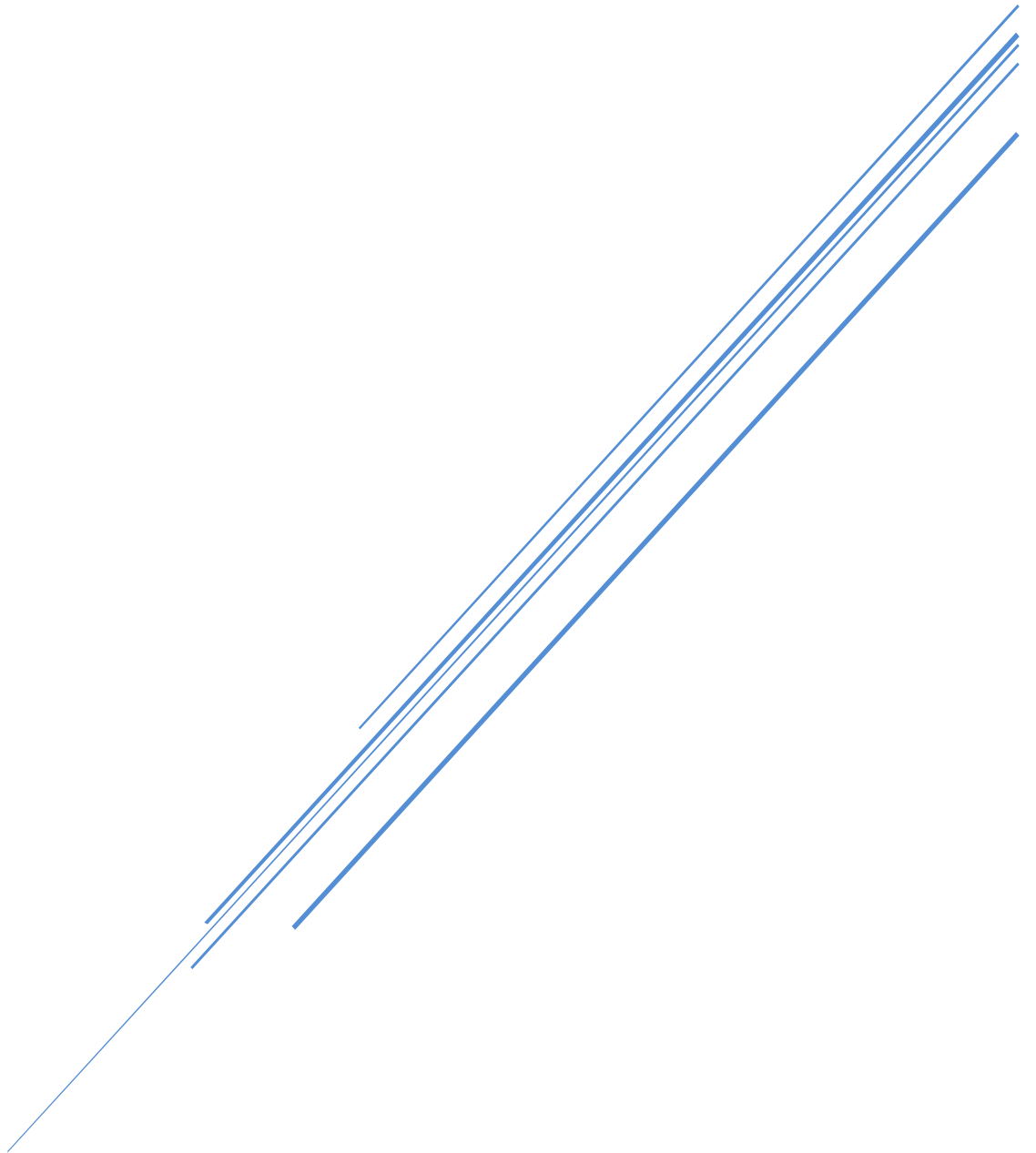


7



ANEXO 6

MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE
UNA PAVIMENTO POR LA TECNICA
VOLUMETRICA



Norma de Ensayo
del
Centro de Estudios de Carreteras

NLT-335/00

**MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE
UN PAVIMENTO POR LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA**

Norma de Ensayo
del
Centro de Estudios de Carreteras

NLT-335/00

MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE
UN PAVIMENTO POR LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA

1 OBJETO, FUNDAMENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma de ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la profundidad media de la macrotextura superficial de un pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material granular a la superficie y la subsiguiente medida del área total cubierta. En el ensayo, que no es sensible a la microtextura del pavimento, se obtiene la profundidad media de su macrotextura.

1.2 La extensión del material sobre la superficie del pavimento hace que los huecos superficiales de éste se rellenen completamente con aquel hasta nivelarse con las partes más elevadas de los áridos circundantes (figura 1).

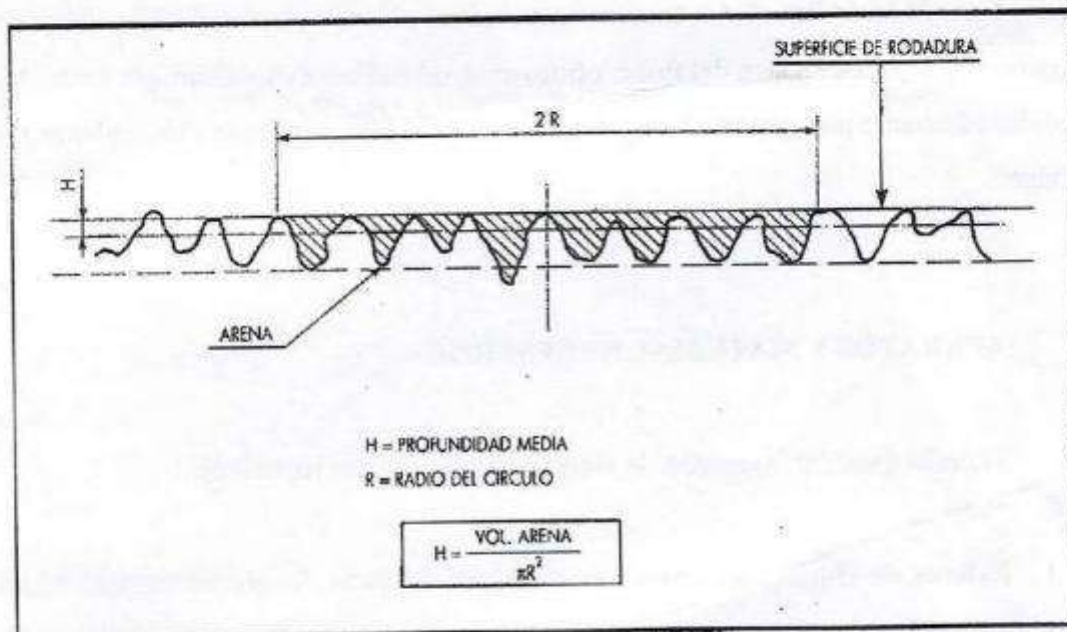


FIGURA 1. Ensayo del círculo de arena

1.3 Cuando se utiliza conjuntamente con otros ensayos físicos, los valores de profundidad de macrotextura que se obtienen con este método se pueden utilizar para determinar las características de resistencia al deslizamiento, ruido, así como la idoneidad de los materiales empleados o de su puesta en obra. En estos casos se extremará el cuidado para que los diferentes ensayos se realicen en el mismo emplazamiento.

1.4 El material para aplicar a la superficie del pavimento puede ser, en principio, cualquiera granulado, uniforme y estable, con tamaño de grano adecuado a la macrotextura del pavimento. Está muy generalizado el empleo de arena silícea, aunque la tendencia es sustituirla por esferas de vidrio. Esta norma de ensayo presenta, optativamente, el empleo de uno u otro material.

1.5 El método es adecuado para la determinación de la profundidad media de macrotextura de cualquier tipo de pavimento, tanto bituminoso como de hormigón hidráulico. Se interpretarán con reserva, los resultados obtenidos con este método en pavimentos drenantes, estriados o ranurados o cuando tales resultados se salgan del rango de 0,25 a 5,00 mm.

2 SEGURIDAD Y SALUD

2.1 Cuando se realizan estos ensayos en carreteras abiertas a la circulación, el equipo y el operario invaden un área del firme obstruyendo el tráfico. Se tomarán, por tanto, las medidas adecuadas para conseguir una zona de trabajo segura, conforme a los reglamentos en vigor.

3 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

3.1 Material granular: a) esferas de vidrio o b) arena silícea (optativo):

3.1.1 **Esferas de vidrio**, resistentes, esencialmente esféricas. Su granulometría será tal que el 90% en masa pase por el tamiz UNE 250 μm y quede retenida en el tamiz UNE 180 μm .

3.1.2 **Arena silícea**. Se utilizan dos tipos de arena silícea de río, de grano redondeado, lavada y secada en estufa a una temperatura de $(110\pm 5)^\circ\text{C}$, con las siguientes granulometrías:

- Arena tipo 50-80 : pasa UNE 320 μm ; retiene UNE 160 μm .
- Arena tipo 80-200: pasa UNE 160 μm ; retiene UNE 80 μm .

3.2 **Recipientes**. Tres recipientes cilíndricos de latón o plástico duro y de la forma que se muestra en la figura 2, para tres medidas diferentes del volumen del material granular; su diámetro interior será de (20 ± 1) mm y sus alturas las necesarias para que sus volúmenes respectivos sean de:

A, $(50.000 \pm 200) \text{ mm}^3$

B, $(25.000 \pm 150) \text{ mm}^3$

C, $(10.000 \pm 100) \text{ mm}^3$

3.3 **Disco** de madera plano de unos 25 mm de espesor y de 50 a 75 mm de diámetro. La superficie inferior del disco llevará adherida una zapata de goma dura y la superior un mango (figura 3).

3.4 **Compás de puntas**, para medir diámetros de hasta 400 mm.

3.5 **Regla**, metálica o de plástico, de 400 mm o mayor, graduada en milímetros.

3.6 **Recipientes** de boca ancha, para el almacenamiento y transporte del material granular (\bullet 2 litros).

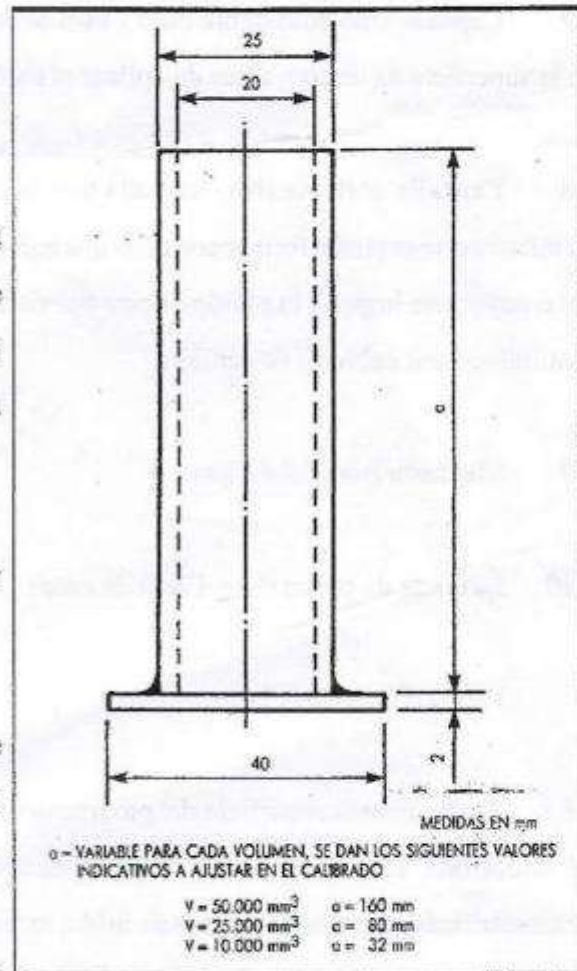


FIGURA 2. Recipiente calibrado para el ensayo del círculo de arena

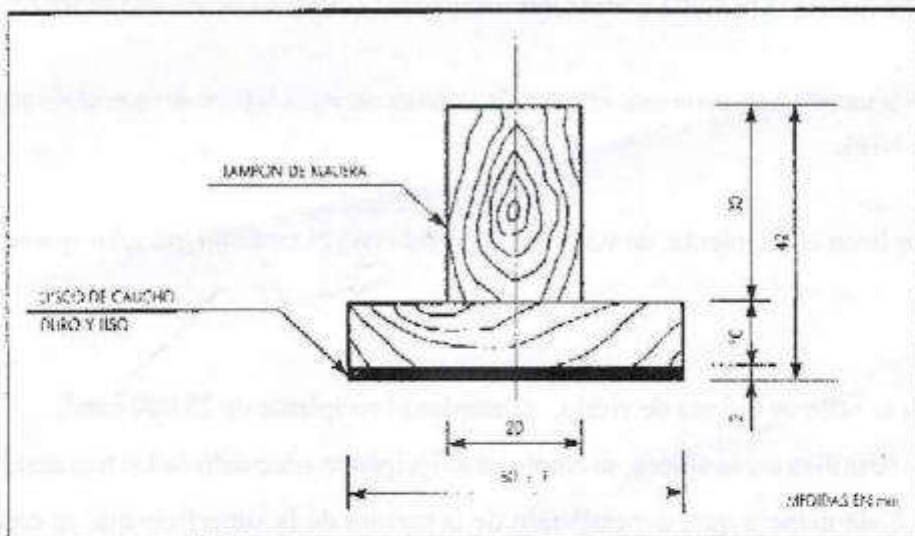


FIGURA 3. Tampón extendedor

3.7 **Cepillos.** Uno de alambre duro y otro de cerdas blandas. Se utilizan para la limpieza de la superficie de ensayo antes de aplicar el material granular.

3.8 **Pantalla cortavientos,** formada por varias chapas metálicas rectangulares unidas de manera que se pueda formar con ellas una barrera poligonal alrededor del emplazamiento del ensayo para impedir la acción directa del viento sobre el mismo. Puede utilizarse, como sustitutivo, una cubierta de camión.

3.9 **Mechero portátil de gas**

3.10 **Balanza de precisión $\pm 1\%$ de la carga**

4 **PROCEDIMIENTO**

4.1 Se examina la superficie del pavimento en el que se vayan a realizar las medidas y se selecciona una zona seca y homogénea, que no presente aisladamente grietas, descascarillado, desprendimientos de árido, exudación o cualquier otra falla.

4.2 Se limpia cuidadosamente la zona seleccionada utilizando los cepillos, primero el metálico y después el blando. La zona debe quedar exenta de cualquier partícula suelta o residuo. Se instala la pantalla cortavientos alrededor del punto de ensayo (nota 1).

Nota 1 Si la superficie del pavimento está húmeda, se puede secar con la llama de un mechero portátil de gas, sin dañarla.

4.3 Se llena el recipiente de volumen conocido con el material granular que se vaya a emplear:

- Si se utilizan esferas de vidrio, se emplea el recipiente de 25.000 mm³.
- Si se utiliza arena silícea, se empleará el recipiente adecuado de los tres descritos en 3.2, de manera que, dependiendo de la textura de la superficie que se ensaya, el



FIGURA 4. Esquema del ensayo del círculo de arena

radio del círculo de arena, resultante del vertido de la arena sobre la superficie, esté comprendido entre 5 cm y 18 cm. El tamaño máximo del grano de arena empleado no será superior a la profundidad media obtenida. En el nomograma de la figura 5 se muestran los rangos de empleo para cada volumen y granulometría de la arena.

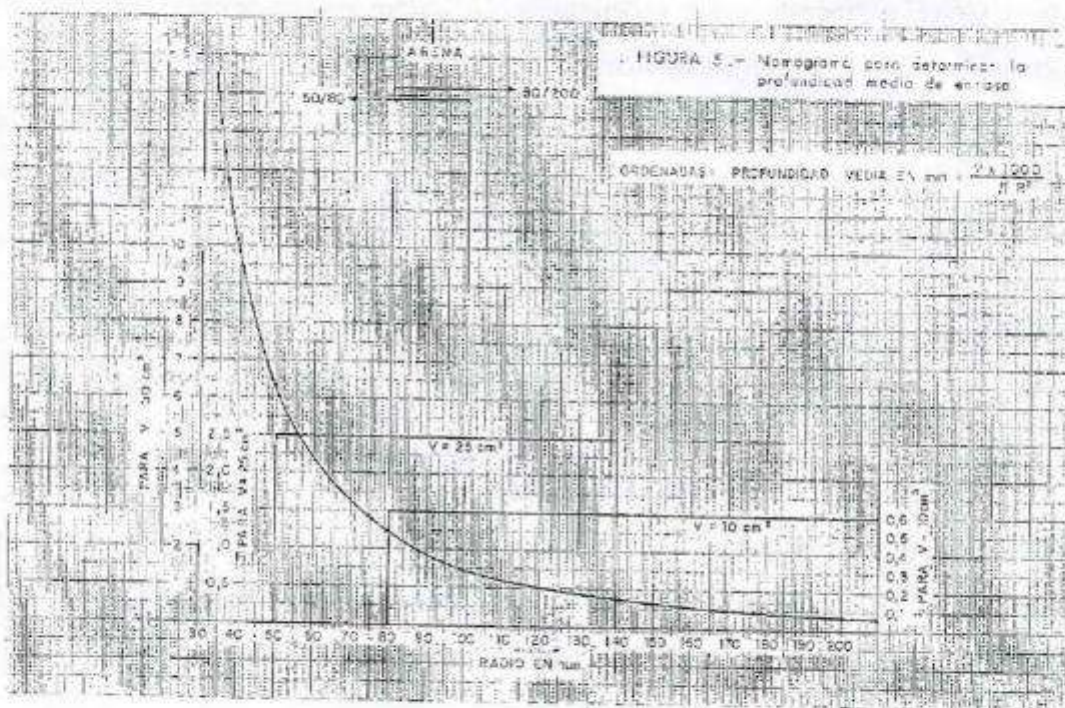


FIGURA 5. Ábaco para la determinación de la profundidad media de enrase

5 CÁLCULOS Y RESULTADOS

5.1 Se calcula el volumen interno del recipiente que se vaya a utilizar con la siguiente expresión:

$$V = \frac{1}{4} \delta d^2 h$$

donde:

V = volumen del recipiente, mm³

d = diámetro interior del recipiente, mm

h = altura interior del recipiente, mm

$\delta = 3,1415...$

5.2 Se calcula la profundidad media de macrotextura, H, con la siguiente relación:

$$H = \frac{4V}{\delta D^2}$$

donde:

H = profundidad media de macrotextura, mm

V = volumen del material granular (igual al del recipiente), mm³

D = valor medio del diámetro del área formada por el material granular, mm

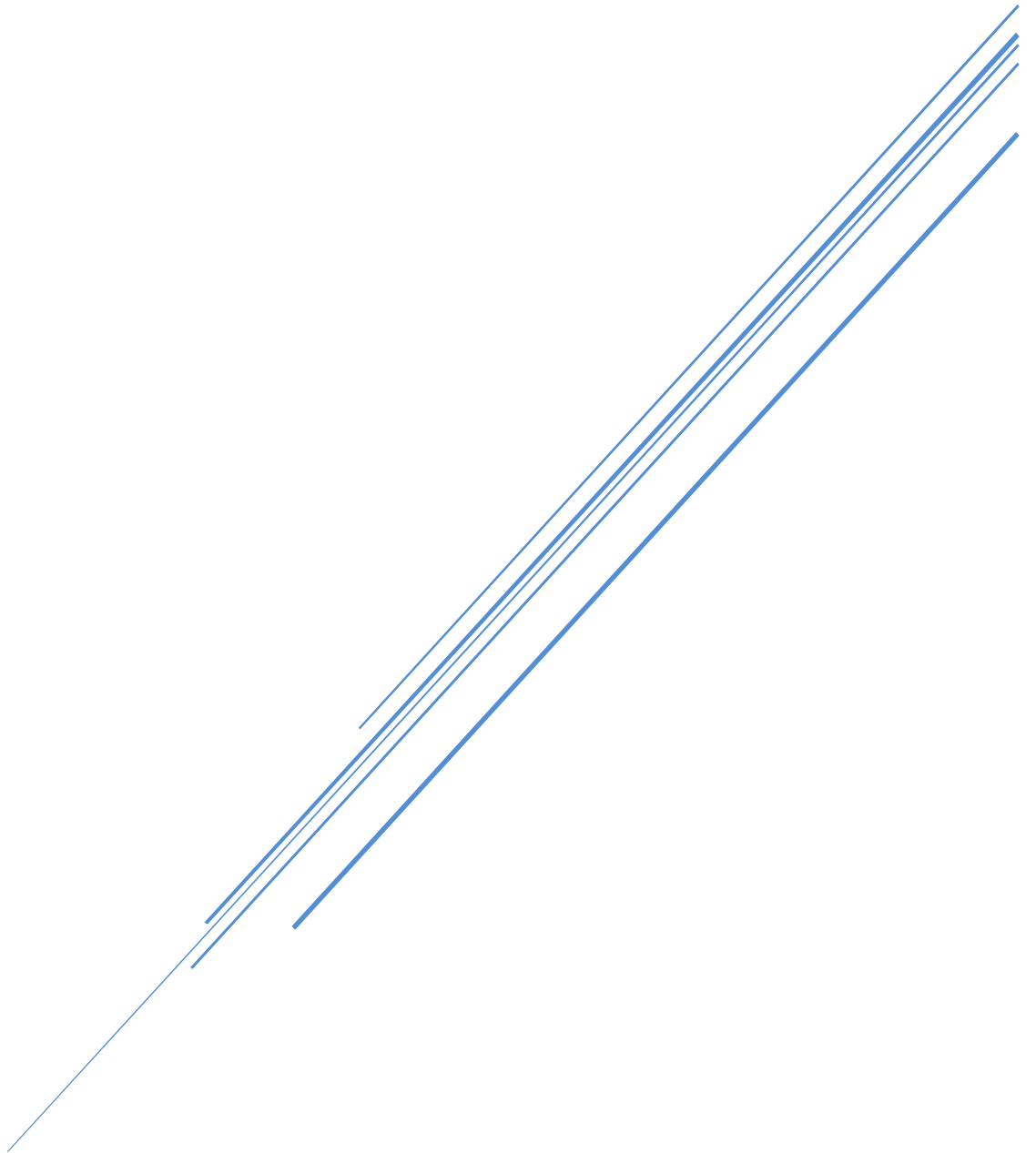
$\delta = 3,1415...$

5.3 En el nomograma de la figura 5 se puede obtener directamente la profundidad media, para cada volumen y tipo de arena empleado, si es el caso. Se delimitan, asimismo, las zonas adecuadas para cada volumen y granulometría de la arena.

5.4 El resultado de un ensayo será el valor medio de al menos cuatro (4) determinaciones realizadas dentro de una zona de pavimento dada, expresado con aproximación de 0,1 mm.

ANEXO 7

Coeficiente de Resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL



Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL

1 OBJETO, FUNDAMENTO Y CAMPO DE APLICACIÓN

1.1 Esta norma de ensayo describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento de una superficie utilizando el péndulo de fricción del TRRL (Transport Road Research Laboratory).

1.2 El ensayo tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento CRD que, manteniendo una dependencia con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características anti-deslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este método no tienen por qué ser necesariamente proporcionales o correlativos con los determinados con otros equipos o procedimientos.

1.3 El método consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características definidas, provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de ésta roza, con una presión determinada, sobre un recorrido (longitud) fijo de la superficie que se ensaya. La pérdida de energía se mide en función del ángulo suplementario de la oscilación del péndulo, mediante una escala calibrada.

1.4 El método de ensayo se puede emplear también para medidas del coeficiente de rozamiento en pavimentos de edificaciones industriales o de otro tipo, "in situ" o en laboratorio, con probetas, baldosas o cualquier muestra con superficie plana, aunque su aplicación más idónea es en los pavimentos de carreteras.

1.5 No es objeto de esta norma la medida sobre probetas de áridos para determinar el coeficiente de pulimento de áridos, CPA, que se describe en la norma NLT-174.

2 DEFINICIONES

2.1 Resistencia al deslizamiento es la propiedad de las superficies sometidas a tráfico que mantiene la adhesión entre el neumático de un automóvil y la superficie por la que circula.

2.2 Resistencia al resbalamiento es la propiedad de las superficies sometidas a tráfico que mantiene la adhesión entre el zapato de un peatón y la superficie por la que circula. Es el mismo concepto que el definido en 2.1.

Nota 1. La pérdida de adhesión conlleva la pérdida de control por el conductor o por el peatón, con el consecuente incremento en el riesgo de accidente o de caída.

Nota 2. Son numerosos los factores que contribuyen a la resistencia al deslizamiento, entre los que se destacan, la presión de los neumáticos, área de contacto, dibujo y composición del neumático o de la suela del zapato, la alineación de las ruedas, las características de textura y de fricción de la superficie del pavimento, la velocidad del vehículo y las condiciones climáticas, p. eje. humedad-sequedad.

Nota 3. La resistencia al deslizamiento no es constante, pues varía con el clima y el tráfico y los efectos de éstos en las características intrínsecas del material de superficie.

2.3 Fricción, es la resistencia al movimiento relativo entre dos cuerpos en contacto. En esta norma de ensayo la zapata y la muestra de ensayo, o el neumático o la suela del zapato y la superficie sobre la que se circula. La fuerza de fricción es tangencial a la superficie de contacto.

2.4 Coeficiente de resistencia al deslizamiento. El péndulo del TRRL incorpora una zapata de goma que simula el neumático. Así, se mide la fricción entre la zapata y la superficie de ensayo, proporcionando un valor normalizado de resistencia al deslizamiento, que se denomina Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento, CRD.

3 SEGURIDAD

3.1 Cuando se realizan ensayos de campo, el equipo y el operario invaden un área de la carretera obstruyendo el tráfico. Se tomarán, por tanto, las medidas adecuadas de seguridad para conseguir una zona de trabajo segura, conforme a los reglamentos en vigor.

4 APARATOS Y MATERIAL NECESARIO

4.1 Péndulo de fricción. El péndulo (Figura 1) presentará las siguientes características fundamentales:

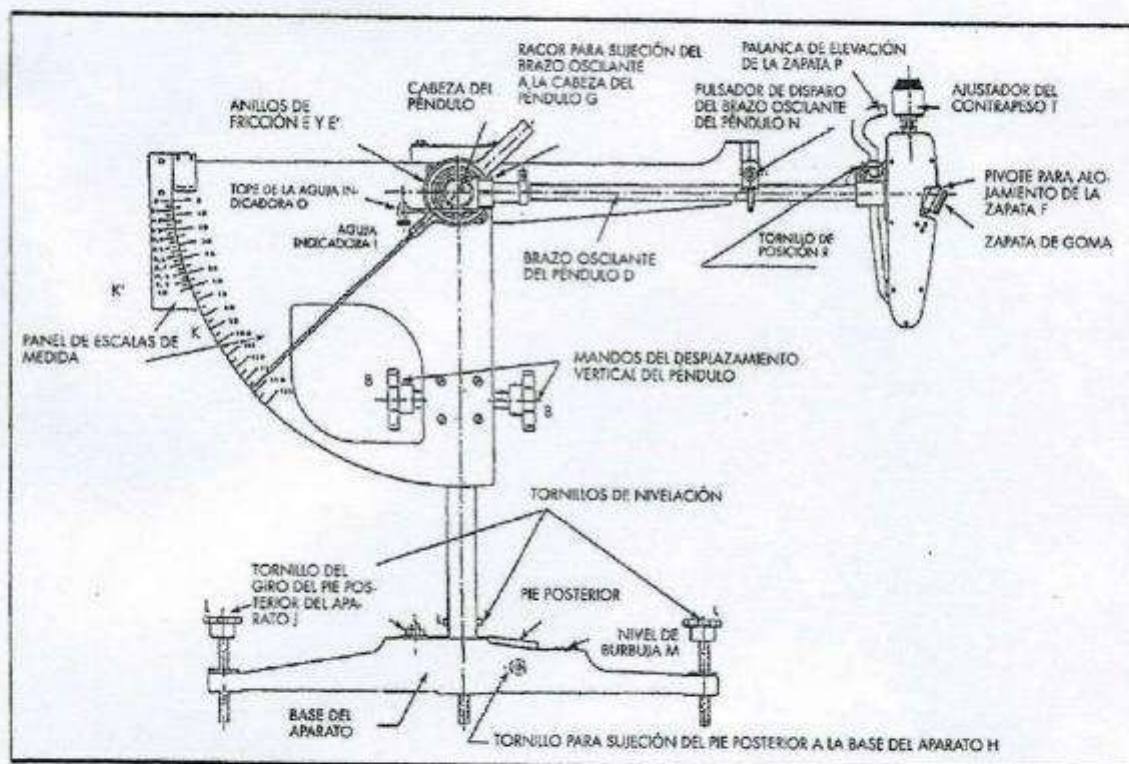


FIGURA 1. Péndulo de fricción del TRRL

4.1.1 El péndulo como tal (Figura 2a), con la zapata y su placa soporte, debe tener una masa de (1500 ± 30) g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de (410 ± 5) mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por la arista de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá una radio de (510 ± 1) mm. La zapata, instalada conforme al procedimiento de calibración (Anejo A), ejercerá una fuerza estática nominal de $(22,2 \pm 0,5)$ N, $(2,26 \pm 0,05)$ kgf, sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación en la tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de $0,2$ N/mm, $(20$ g/mm).

4.1.2 Características de la zapata. Las dimensiones de la zapata de goma para medidas de resistencia al deslizamiento serán (Figura 3a) de $(76,2 \pm 0,5)$ mm de ancho, $(25,4 \pm 1,0)$ mm de longitud, (en la dirección de la oscilación) y $(6,35 \pm 0,5)$ mm de espesor. La masa del conjunto zapata y placa soporte de aluminio será de (36 ± 7) g. Se pueden utilizar también zapatas de $(31,75 \pm 0,5)$ mm de ancho, $(25,4 \pm 1,0)$ mm de longitud y $(6,35 \pm 0,50)$ mm de espesor, siendo en este caso la masa del conjunto zapata y placa soporte de (20 ± 5) g. Las zapatas se obtendrán del corte de

una plancha de goma de 6,5 mm de grueso con una edad no mayor de seis meses desde la fecha de fabricación y cumplirá las propiedades que se muestran en la tabla 1.

PROPIEDAD	TEMPERATURA (°C)				
	0	10	20	30	40
Rosilencia (%) [1]	43.49	58.65	66.73	71.77	74.79
Dureza (IRDH) [2]	55±5				
** Normas : ISO 4662 : 1986 o UNE 53.604					
** Normas : ISO 48 o UNE 53.549					

Tabla 1. Propiedades de la goma de la zapata

Nota 4. La composición de la goma de la zapata se refiere en el Anejo B de esta norma. Las zapatas de goma se almacenarán en la oscuridad a temperatura de (20 ± 5) °C.

4.1.3 La zapata de goma va pegada, con un adhesivo adecuado, a una placa soporte de aluminio (Figura 2b) que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de (26 ± 3) grados con la horizontal y de tal manera que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la

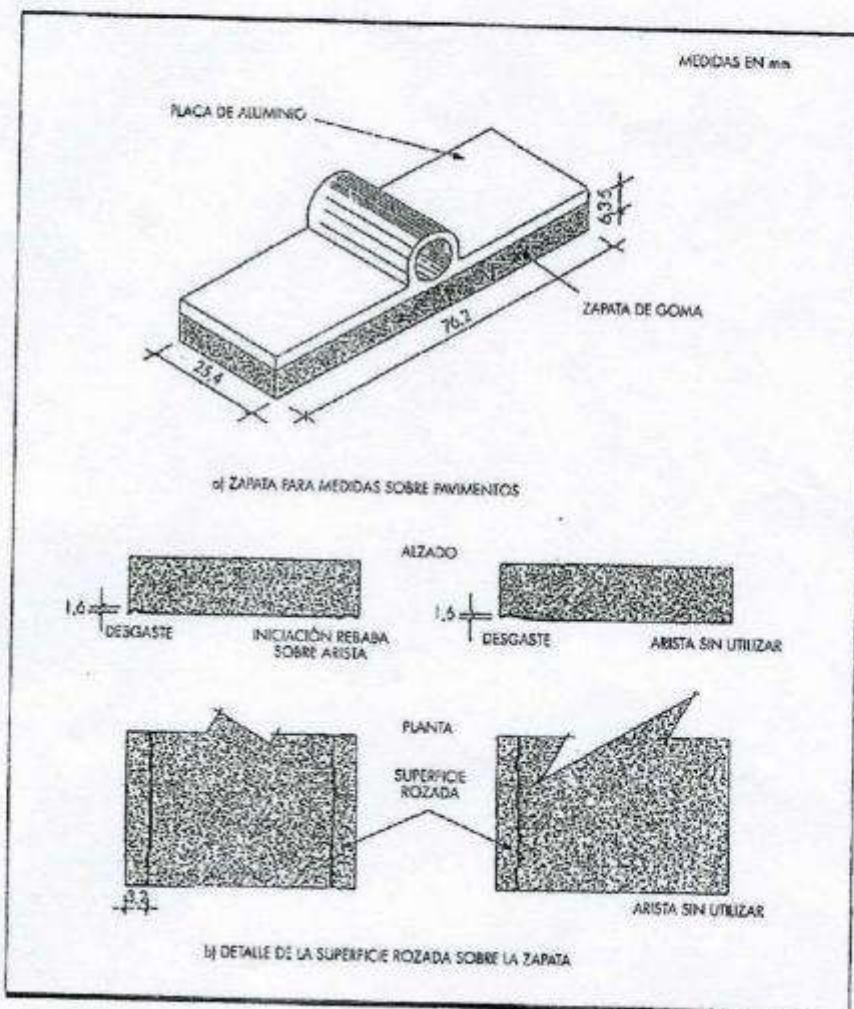


FIGURA 3. Zapata de goma, rebabas y superficie de rozamiento.

superficie de ensayo, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

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

4.1.5 Dispositivo de desplazamiento vertical, que permita desplazar verticalmente el eje de suspensión del péndulo, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie de ensayo en una longitud de (126 ± 1) mm. El desplazamiento vertical de la cabeza del aparato solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N) se

efectuará por medio de una cremallera fijada a la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B y B') (Figura 4). La cabeza quedará inmovilizada por medio del tornillo de presión (A).

4.1.6 Dispositivo de sujeción y de disparo o liberación del brazo del péndulo, que permita sujetar o liberar el brazo del péndulo (N) de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal (Figura 1).

4.1.7 Dispositivo de medida, consistente en una aguja (I) (Figura 1) con una masa no mayor de 85 g y longitud nominal de 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, que indicará al final de su recorrido, durante el ensayo, la posición del brazo del péndulo, en una escala circular (K) grabada sobre un panel, o en otra escala (K') auxi-

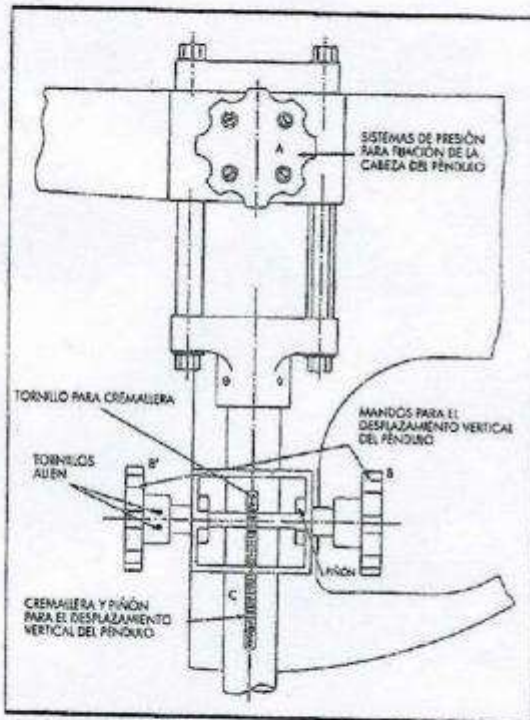


FIGURA 4. Detalle del dispositivo de desplazamiento vertical del péndulo.

liar que se utiliza en el ensayo de coeficiente de pulimento acelerado de los áridos (NLT-174). Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los anillos de fricción roscados (E y E') (Figura 5) de manera que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su posición horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto, punto "cero", de la escala de medidas, situado a (10 ± 1) mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación. La escala (K) estará calibrada para una longitud o recorrido de deslizamiento de la zapata de 126 mm, en una superficie plana, marcada desde 0 hasta 150 en intervalos de 5 unidades. Esta escala es la que se empleará en las medidas de campo y laboratorio y proporciona el valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento (Nota 5).

Nota 5. La escala K' se utiliza para la determinación del Coeficiente de pulimento acelerado de los áridos, CPA, (norma NLT-174) y está calibrada para un recorrido de deslizamiento de 76 mm, sobre probetas planas o curvadas.

4.2 Accesorios

4.2.1 Reglilla graduada. Una reglilla graduada (Figura 6) cuyas marcas exteriores estén separa-

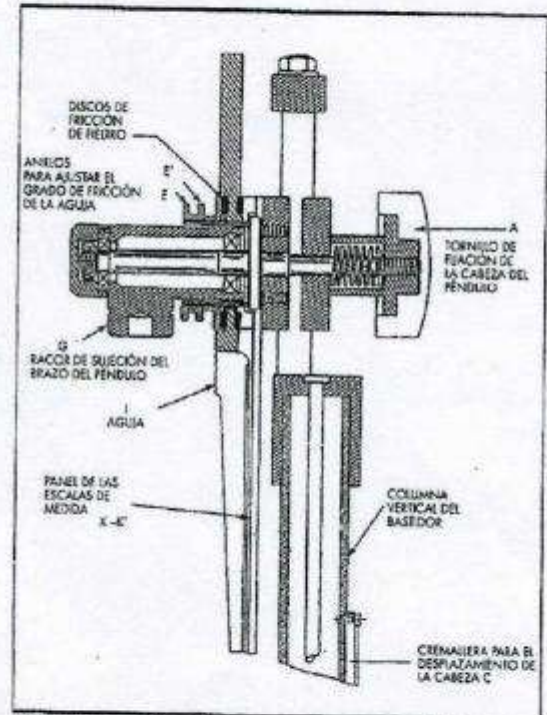


FIGURA 5. Detalle del mecanismo de suspensión del péndulo.

das 127 mm y las interiores 122 mm siendo, por tanto, de 2,5 mm la separación entre cada par de marcas exterior e interior próximas.

4.2.2 Termómetro convencional o electrónico. Escala de $(-10$ a $\pm 60)^{\circ}\text{C}$ y lectura de 1°C .

4.2.3 Recipientes para agua, dos, uno con capacidad de 10 litros y el otro de 0,5 litros. Este último dispondrá en el tapón de un tubo de salida con un orificio de unos 3 mm de diámetro, que permita rociar copiosamente con agua la superficie de ensayo y la zapata.

4.2.4 Cepillo, de cerdas de goma dura de longitud no menor de 2 cm que pueda abarcar un área de barrido de unos 16 cm^2 , de la superficie de ensayo.

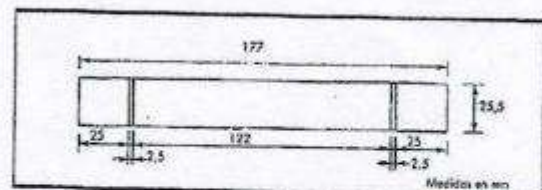


FIGURA 6. Reglilla graduada para ajustar la longitud de medida sobre la superficie de ensayo.

4.2.5 Cinta métrica, de longitud igual o superior a 15 m, para situar los puntos de medida en el pavimento.

4.2.6 Caja de herramientas, para el transporte de las herramientas, zapatas, termómetro, reglilla, tiza, etc., elementos necesarios para realizar medidas en el campo.

4.2.7 Caja de transporte, especial para transportar el equipo de medida.

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

4.2.9 Agua, potable o destilada, para humectación de la superficie de ensayo.

5 MUESTRAS DE ENSAYO. PREPARACIÓN

5.1 Medidas de campo

5.1.1 Se limpia la superficie de ensayo, con ayuda del cepillo (4.2.4), asegurándose de que queda libre de partículas sueltas, y se humedece con abundante agua.

5.1.2 Se coloca el péndulo sobre el pavimento de forma que el sentido de oscilación coincida con el de tráfico. La superficie no tendrá pendiente superior al 6%. Cuando la pendiente supere el 6%, el ensayo se podrá realizar en cualquier ángulo respecto al sentido del tráfico, siempre que se satisfaga el criterio de pendiente máxima admisible. En las superficies de pavimentos que presenten estriado o ranurado regular, como en los hormigones serrados o cepillados o en los adoquinados, los ensayos se efectúan de modo que la arista de rozamiento de la zapata forme un ángulo de, aproximadamente, 80 grados con respecto al estriado.

5.1.3 Se mide la temperatura de la superficie de ensayo y de la zapata con aproximación a un grado C. El ensayo no se realizará en el caso de que la temperatura de la superficie esté fuera del intervalo 5°C a 40°C.

5.2 Medidas en laboratorio

5.2.1 Las probetas para ensayo en laboratorio tendrán unas dimensiones como mínimo superiores en 20 mm al ancho de la zapata y en 15 mm a la longitud del recorrido de rozamiento.

5.2.2 La toma de muestras del pavimento se realiza por medio de corona o sierra evitando que la superficie de tales muestras se altere en el proceso.

5.2.3 Las muestras para ensayo en laboratorio estarán limpias y libres de partículas sueltas y se fijarán sólidamente de manera que no se muevan durante la realización del ensayo.

5.2.4 El péndulo, las zapatas y el agua para humedecer la superficie de ensayo, se mantienen en recinto regulado a $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$, durante 2 horas como mínimo, antes de comenzar el ensayo y durante la ejecución del mismo.

5.2.5 Las muestras de ensayo, se mantendrán también durante no menos de 30 minutos a $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ antes y durante el ensayo.

6 MUESTREO EN EL PAVIMENTO

6.1 La resistencia al deslizamiento de algunos materiales varía considerablemente en un mismo perfil transversal del pavimento. Los ensayos se deben realizar en la zona más utilizada por el tráfico de vehículos, esto es, en la rodada, pero se pueden requerir ensayos en otras áreas.

6.2 La localización de los puntos de ensayo será representativa. El número de ensayos necesarios para obtener un valor del coeficiente de resistencia al deslizamiento, CRD, en un determinado tramo o sección de pavimento dependerá de la uniformidad de la superficie. Se debe estudiar y preparar un plan de muestreo.

6.3 El método no es aplicable a superficies que presenten afloraciones de betún, manchas de aceite o desigualdades, ondulaciones o baches, pues los resultados serán poco fiables.

6.4 En particular, sobre superficies de textura gruesa o visiblemente no uniformes, se efectuarán tres ensayos separados entre sí no más de 400 mm, para definir un valor del CRD de esa zona o localización.

6.5 Para obtener un valor del CRD en una sección de 50 m de longitud se efectuarán 5 medidas separadas 10 m una de otra.

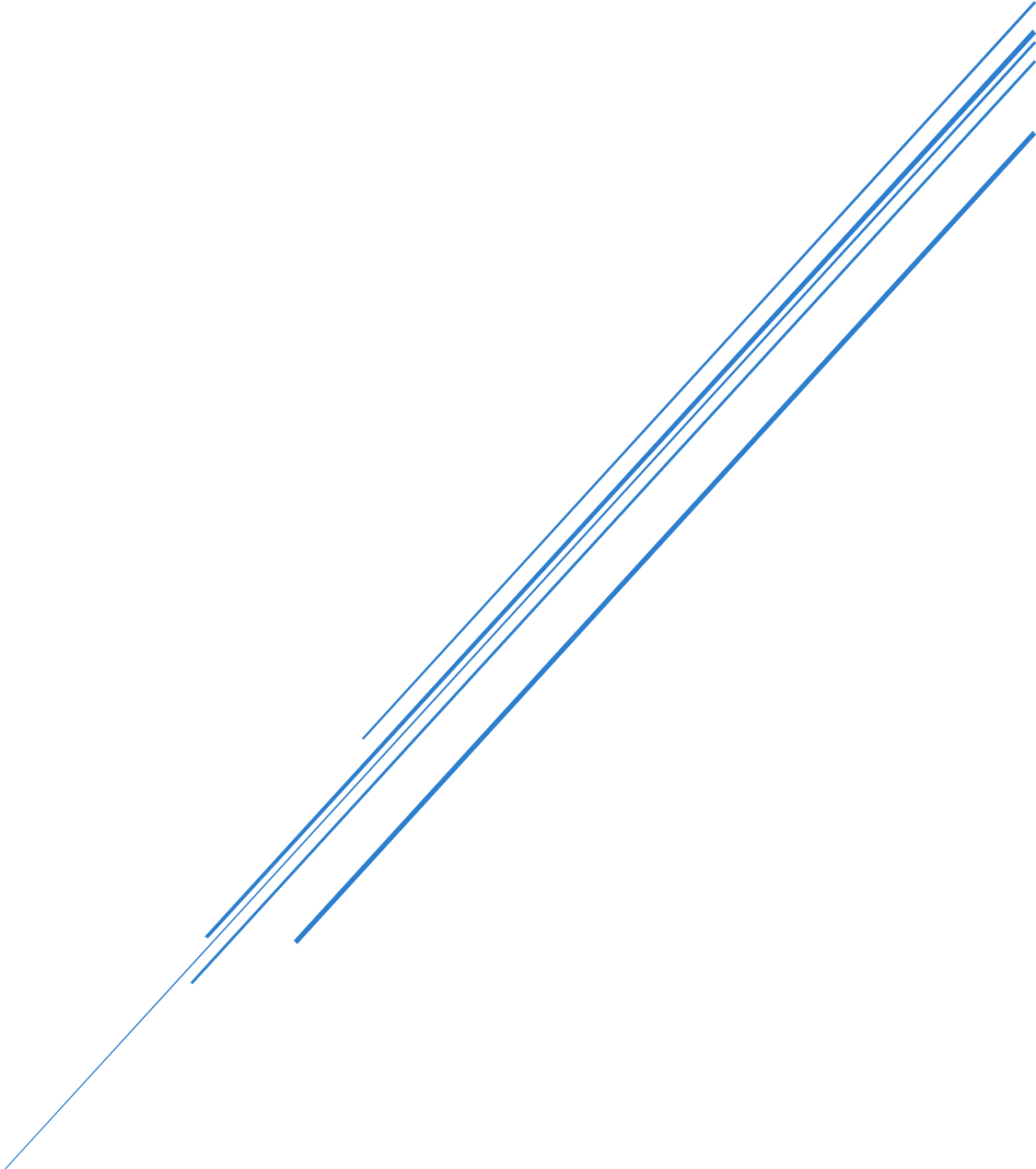
6.6 En las figuras 8 y 9 se muestran, a título de ejemplo, una distribución transversal de los puntos de ensayo y una partición en bandas consideradas para la expresión de resultados de un tramo de carretera.

7 MONTAJE Y ACONDICIONAMIENTO DE LA ZAPATA. CALIBRADO DEL PÉNDULO.

7.1 Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciéndolo girar so-

ANEXO 8

Road Note N° 27 and Table 1- of-Road Note 27

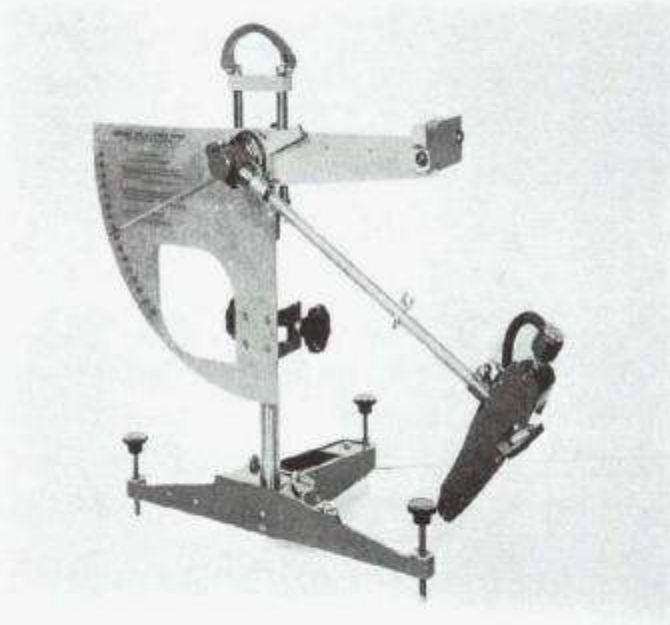


ROAD RESEARCH LABORATORY
MINISTRY OF TRANSPORT

ROAD NOTE

Second Edition

27



Instructions for using the portable
skid-resistance tester

LONDON: HER MAJESTY'S STATIONERY OFFICE 1988

First edition 1960

Second edition with minor amendments and metric units 1969

ROAD RESEARCH LABORATORY

CROTHORNBEE, WILTSHIRE

Tel: Crowthorne 3 13 1, Telex: 84212

SBN 1 1 550060 X

Instructions for using the portable skid-resistance tester

	<i>Page</i>
Introduction	1
Method of use	1
Interpretation of results and recording of data	3
Maintenance of tester	7
Transporting the apparatus	9
References	9
Appendix 1. The measurement of texture depth by the sand patch method	10
Appendix 2. A simple camera unit for photographing road surfaces	12

Introduction

A portable tester, shown in Plate 1, was developed at the Road Research Laboratory some years ago to provide highway engineers with a routine method of checking the resistance of wet road surfaces to skidding. The apparatus measures the frictional resistance between a rubber slider (mounted on the end of a pendulum arm) and the road surface.

Special attention was given to overcoming the practical difficulties met when using such an apparatus in all weathers, on rough and uneven road surfaces, and on roads having considerable gradient and camber. At the same time the characteristics of the apparatus were chosen as far as possible to simulate sliding between vehicle tyre and road at 50 km/h.

This Road Note describes the method of operation of the tester, its use on wet road surfaces, and the interpretation of the results.

Method of use

Setting the tester

- (i) Set the base level by means of the spirit level and the three levelling screws on the base-frame.
- (ii) Raise the head so that the pendulum arm swings clear of the surface. Movement of the head of the tester, carrying the swinging arm, graduated scale, pointer, and release mechanism, is controlled by a rack and pinion on the rear of the vertical column. After unclamping the locking

knob A at the rear of the column, the head may be raised or lowered by turning either of the knobs B/B¹. When the required height is obtained the head unit must be locked in position again by clamping knob A.

- (iii) Check the zero setting. This is done by first raising the swinging arm to horizontal release position, on the right-hand side of the apparatus. In this position it is automatically locked in the release catch. The pointer is then brought round to its stop in line with the pendulum arm. The pendulum arm is released by pressing button C. The pointer is carried with the pendulum arm on the forward swing only. Catch the pendulum arm on its return swing, and note the pointer reading. Return the arm to the release position. Correct the zero setting as necessary by adjustment of the friction rings E.* If the pointer has swung past the zero position, rings E are screwed up a little more tightly. If it has not reached zero the rings should be unscrewed a little.
- (iv) With the pendulum arm free, and hanging vertically, place the spacer, which will be found attached to a chain on the base of the vertical column, under the lifting-handle setting-screw to raise the slider. Lower the head of the tester using knobs A and B so that the slider just touches the road surface, and clamp in position with knob A. *Remove the spacer.*
- (v) Check the sliding length of the rubber slider over the surface under test, *by gently lowering the pendulum arm* until the slider just touches the surface first on one side and then on the other side of the vertical; the sliding length is the distance between the two points where the sliding edge of the rubber touches the test surface. (To prevent undue wear of the slider when moving the pendulum arm through the arc of contact, the slider should be raised off the road surface by means of the lifting handle.) If necessary, adjust to the correct length by raising or lowering the head slightly. When the apparatus is set correctly the sliding length should be between 125 and 127 mm; on the scale provided, the outer marks are 127 mm apart and the inner ones each indicate the 2-mm tolerance allowed.
- (vi) Place pendulum arm in its release position. The apparatus is now set ready for operation.

Operation of tester (wet conditions)

- (i) Wet the road surface and slider, ensuring that the road surface is free from loose grit.
- (ii) Bring the pointer round to its stop. Release the pendulum arm by pressing button C *and catch it on the return swing, before the slider strikes the*

*This adjustment is necessary as the tester is used under different temperature conditions and in windy conditions: sufficient adjustment has been allowed to cover all normal ranges of temperature encountered in Great Britain, but some difficulty may be experienced in correcting to zero in very high winds—it may be necessary to operate the tester with a positive error and subtract the error from the mean value.

road surface. Note the reading indicated by the pointer. (N.B. if the slider is not wetted as well as the road surface, the reading obtained on this first swing should be neglected.)

- (iii) Return the arm and pointer to the release position, keeping the slider clear of the road surface in this operation by means of the lifting handle. Repeat swings, spreading the water over the contact area with the hand or a brush between each swing (this is particularly important on smooth surfaces). Record the mean of five successive readings, provided they do not differ by more than three units. If the range is greater than this, repeat swings until three successive readings are constant; record this value.
- (iv) Raise the head of the tester so that it swings clear of the surface again and check the free swing for zero error.

Procedure when testing road surfaces

- (i) Inspect the road and choose the section to be tested.
- (ii) Set the apparatus on the road surface in the track chosen to be tested, so that normally the slider swings in the direction of the traffic. On surfaces bearing a regular pattern, such as ridged or brushed concrete, tests should be made with the slider operating at 80° to the ridges. Take the mean of five readings, as above, at each of five locations in the test track (usually the nearside wheel-track) spaced at approximately 5- to 10-m intervals along the length under test. The mean of these readings gives a representative value of the skidding resistance of the road.
- (iii) The slipperiness of some roads varies considerably across the width of the road and sometimes the crown of the road is the most slippery part. Where this is suspected, tests should also be made on the crown of the road.

Interpretation of results and recording of data

Like all skidding machines, the portable tester can only be used to the best advantage with a full knowledge of the factors influencing skidding resistance, and results must be interpreted with due consideration for all conditions obtaining at the time of the tests. Full details of performance tests are given elsewhere,¹ but the main factors influencing 'skid resistance' are outlined here.

- (i) The quantity measured with the portable tester has been termed 'skid-resistance' and this correlates with the performance of a vehicle with *patterned* tyres braking with locked wheels on a wet road at 50 km/h. From measurements made at skidding accident sites and elsewhere, it has been possible to draw up a table as a guide to the values of 'skid-resistance' required for different road layouts and traffic conditions. This is shown in Table 1.

As the unit of 'skid-resistance' represents the performance of a patterned tyre, it may be found that some smooth-looking surfaces have values of

'skid-resistance' in the range of Categories B and C may be *less* satisfactory when judged from accident statistics than measurements with the portable tester would indicate. On smooth-looking roads in these Categories, therefore, when the portable tester gives high results it needs to be backed by accident studies² (or sideways-force measurements which give the skidding resistance of a smooth tyre). On the other hand, values of 'skid-resistance' below the suggested minimum indicate sites potentially slippery to all vehicles, whatever the surface texture or the state of their tyres.

The order of merit of road surfaces can change substantially between 50 km/h and 130 km/h.³ Thus, 'skid-resistance' values, which represent the 50 km/h value, cannot alone be expected to give an indication of high speed performance. The fall-off in skidding resistance with increased speed on wet roads depends on the roughness of the surface texture, and is considerably less on rough surfaces than on smooth ones. If the tester is used on high speed roads, an additional criterion indicating texture is required.

Table 1
Suggested minimum values of 'skid-resistance'
(measured with the portable tester)

Category	Type of site	Minimum 'skid-resistance' (surface wet)
A	Difficult sites such as: (i) Roundabouts (ii) Bends with radius less than 150 m on unrestricted roads (iii) Gradients, 1 in 20 or steeper, of lengths greater than 100 m (iv) Approaches to traffic lights on unrestricted roads	65
B	Motorways, trunk and class 1 roads and heavily trafficked roads in urban areas (carrying more than 2000 vehicles per day)	55
C	All other sites	45

Note: For category A and B sites where speed of traffic is high (in excess of 95 km/h) an additional requirement is a minimum 'texture depth' of 0.65mm

Because the portable tester indicates the performance of patterned tyres at relatively low speeds, it is important to record the surface texture or

appearance of each road surface tested. On roads where speeds are low, it is sufficient to classify the texture from visual inspection. Plate 2 shows typical surfaces classified as follows:

Plate 2 (a) and (b): rough-textured surfaces where tyre tread pattern would have a negligible effect; smooth and patterned tyres would generally be equally effective on these surfaces.

Plate 2 (c) and (d): medium-textured surfaces where some tread pattern effect would exist; vehicles having smooth tyres would experience a skidding resistance slightly lower than the value indicated by the tester.

Plate 2 (e) and (f): smooth-textured surfaces where the effect of tread pattern may be large.

On roads where speeds are high, a simple measure of surface texture, the 'texture depth', may be determined by the 'sand patch' method: a known volume of fine sand is poured in a heap on the road, and spread to form a circular patch so that the small valleys on the road are filled to the level of the peaks; the 'texture depth' is the ratio of the volume of sand to the area of the patch (calculated from the measured radius). The additional requirement recommended for high-speed roads is then a minimum 'texture depth' of 0.65 mm, as indicated at the foot of Table 1. Details of the test are given in the Appendices, which also describe a simple method of taking close-up surface photographs with standard conditions of illumination. This provides a useful record of the appearance of the surface.

- (ii) In general the skidding resistance of wet roads is higher in winter than in summer. The magnitude of the variation depends on (a) road layout and traffic conditions, (b) road surface characteristics, and (c) the weather; it varies considerably from one road to another, so that it is not possible to predict the skidding resistance at one time of year from a single measurement made at another time. However, regular movements (at two-week intervals) on a selected number of sites provide a useful basis for a seasonal guide. Based on such tests, the Laboratory now issues a 'seasonal index' to indicate changes in performance over the years.⁴ Table 2 gives the index month by month for 1962 to 1968. This shows that skidding resistance of roads is at its lowest between May and September; it is also important to note that roads with satisfactory values in winter (especially in December, January, and February) may prove slippery during the summer. The date of test should therefore always be recorded.
- (iii) The effect of temperature on rubber resilience exerts a perceptible influence in all skidding resistance measurements;⁵ it shows itself as a fall in skidding resistance as the temperature rises. In addition, the magnitude of the variation of skidding resistance with temperature varies considerably from road to road, mainly because of the changes in road surface texture. As a rough guide, however, an average temperature correction evaluated for a range of surface textures is given in Fig. 1. From this it is apparent that a correction for the effect of temperature only becomes important

for tests made at temperatures below 10°C, and then its main use is to give a more accurate assessment of the skidding resistance which the road is likely to offer to the tyres of vehicles, since they are likely to be running at temperatures rather higher than that of the slider rubber on the portable tester.

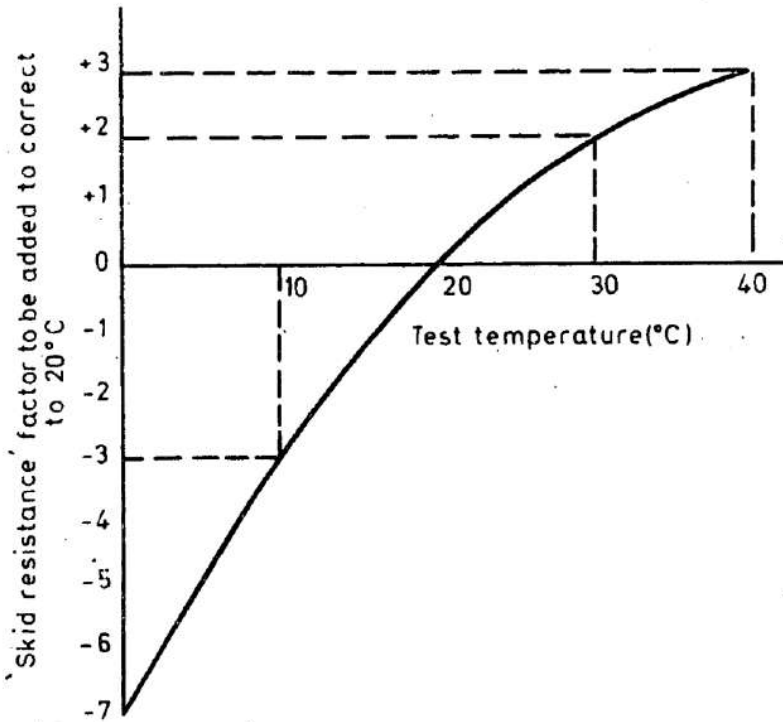


FIG. 1. Suggested temperature corrections for 'skid-resistance' values to allow for changes in resilience of the slider rubber

To help in interpreting results, therefore, the temperature of the water lying on the road immediately after test should be recorded. It must be stressed, however, that the change in state of polish of road surfaces throughout the year is a much bigger factor determining changes in 'skid-resistance' than is the change in temperature; the latter accounts for about one-quarter of the total seasonal change in 'skid-resistance', which is primarily due to real and reversible changes in the road surface.

ANEXO 9

Fórmula de Mezcla asfáltica para Ruta 3 y By Pass



GRUPO SAN JOSE

San José, 11 de Agosto 2021

Ing. Beatriz Carnales
Consortio San José

Nro.: C7 – EPC 0030

Ref: Fórmula de mezcla asfáltica para carpeta de rodadura

Se presenta por este medio para su consideración, la fórmula de mezcla propuesta para la ejecución de la carpeta de rodadura en la obra de Ruta 3.

Filler (cal hidratada Bulldog)	1% (Respecto a los agregados)
Piedra Intermedia	51% (Respecto a los agregados)
Polvo de trituración	48% (Respecto a los agregados)
Cemento asfáltico	5,4% (Respecto a la mezcla total)

Se trabajará con asfalto PG 76-28, asfalto modificado, cuyos ensayos ya fueron entregados.

La fuente de abastecimiento del agregado intermedio y el polvo de piedra triturados corresponde a cantera de Pavón, ubicada en el km 34 de Ruta 11, cantera con habilitación de DINAMA y MTOP para este proyecto.

Adjuntamos resultados de ensayos de los aridos.

Agregado Intermedio:

Desgaste de Los Angeles (C)	28.10%
Índice de chatura	0.4
Peso específico Bulk	2,682 ton/m ³
Peso específico sólido aparente	2,711 ton/m ³
% de absorción	0.63%

Polvo de trituración:

Equivalente de arena	74%
Peso específico Bulk	2,646 ton/m ³
Peso específico sólido aparente	2,685 ton/m ³
% de absorción	0.54%

Las granulometrias de los materiales, y los resultados del diseño marshall de la mezcla son los adjuntos.

Por otra parte se adjunta el ensayo de ahuellamiento (ensayo de resistencia a deformación plástica de la norma NLT 173/01), realizado por el Departamento de ensayos del MTOP.

Ing. Pablo Carranza
Director de obra
SERVIAM S.A.



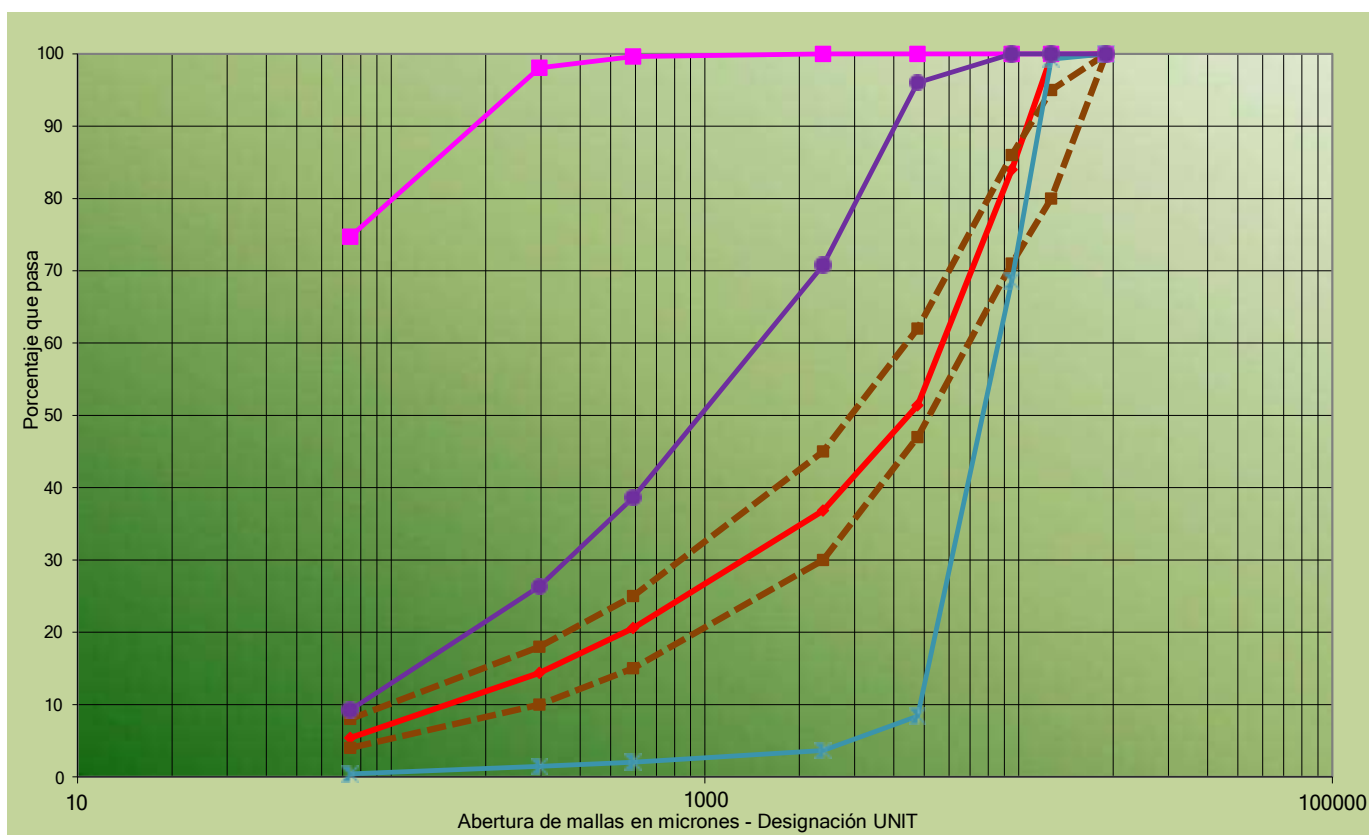
Treinta y Tres 413 – San José, Uruguay.
(00598) (434) 29371 – (00598) (434) 29003
Fax (00598) (434) 29763
administracion@serviam.com.uy



Laboratorio y planta:	EL CHIVO
Fecha:	20-05-21
Via:	Humeda
Operador:	Fernando Olveira



	Dosificación	CAL		Intermedio		Polvo		Composición	Huso mínimo	Huso máximo
		(%)	1	(%)	51	(%)	48			
	Peso muestra (gr)	272.5	V.H	3419.4	V.H	1775.2	V.H			
N° tamiz	Abertura tamiz	Retenido	Pasa %	Retenido	Pasa %	Retenido	Pasa %	Pasa %		
Designació	Designación UNIT									
3/4	19000		100		100		100	100	100	100
1/2	12700		100	24.7	99		100	100	80	95
3/8	9500		100	1050.0	69		100	84	71	86
4	4760		100	2057.9	8	70.7	96	51	47	62
8	2380		100	162.6	4	448.1	71	37	30	45
30	590	1.0	100	55.3	2	570.4	39	21	15	25
50	297	4.2	98	18.8	1	218.2	26	14	10	18
200	74	63.7	74.7	36.3	0.4	303.8	9.2	5	4	8
P/200			75	13.8	0		9	5		
Total		68.9		3419.4		1611.2				





RICE				
Rice n° de % de asfalto:	5.0%	5.5%	6.0%	5.4%
Peso del material	637.6	626.1	630.3	1209.8
Peso matraz enrasado de ag	3735.6	3735.6	3735.6	3734.4
Peso matraz enras. agua y n	4117.0	4108.6	4107.9	4456.6
A+D-E=B	256.2	253.1	258.0	487.6
Promedio SERVAM	2.489	2.474	2.443	2.481
Promedio y % de vacíos	2.489	2.474	2.443	2.481
OBSERVACIONES:				



Marshall 75 Golpes																
Temperaturas al moldaer en C°	Factor de la prensa:				2.13				Fluen. Mm.	Estabilidad (kg.)						Rango estab-fluenc.
	N°	% Asfalto	Altura	Peso Aire	Peso agua	Rotura hs.	Dh P. Espec. 1/2 Hora	Dh P. Espec. Reman.		Dial Estabil	Sin Correg.	Correg 1/2 hora	Dentro Rango 1/2 h	Correg 24 horas	Dentro Rango REM.	
	1	5.0	6.45	1218.3	512.9		2.375		4.0	830	1770	1726	1726		432	
	2	5.0	6.44	1220.2	516.1		2.364		3.5	740	1578	1543	1543		441	
	3	5.0	6.42	1218.4	513		2.375		3.8	820	1749	1718	1718		452	
	PROMEDIOS						2.372		3.77			1662	1662		442	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	N°	% Asfalto	% Agregados	RICE	% Dens. Máxima	% Vol. Asfalto en Mezcla Pasf.P.e	% Vol. Agr. en Mezcla Past. P.e.	Vacios Agr. VAM	Vacios en mezcla	Relac. Asfalto (6)	5+9	Densidad Teórica Maxima	Peso Especifico Agregados	Valor RICE	Peso Espec. Teórico Rice Real	
		5.0	95.0	2.489	100 x Dh/Dm	Gasf.	Gagr.	100-7	100-7-6	8 Vacios						
	Densidades			1/2 h.	24 hs.											
	Peso Especifico			2.372												
	Promedio Dh.			2.372												
	Rango de Estabilidad		(-20%)	1330												
			(+20%)	1994.9949												
	Rango de Fluencia		(-20%)	3.0												
			(+20%)	4.5												



Marshall 75 Golpes																
Temperaturas al moldaer en C°	Factor de la prensa:				2.13				Fluen. Mm.	Estabilidad (kg.)						Rango estab-fluenc.
	N°	% Asfalto	Altura	Peso Aire	Peso agua	Rotura hs.	Dh P. Espec. 1/2 Hora	Dh P. Espec. Reman.		Dial Estabil	Sin Correg.	Correg 1/2 hora	Dentro Rango 1/2 h	Correg 24 horas	Dentro Rango REM.	
	1	5.5	6.34	1217.4	509.3		2.390		4.1	810	1728	1732	1732		422	
	2	5.5	6.32	1214.4	510.4		2.379		4.6	820	1749	1762	1762		383	
	3	5.5	6.36	1218.9	509.5		2.392		4.3	790	1685	1681	1681		391	
	PROMEDIOS						2.387		4.33			1725	1725		399	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
	N°	% Asfalto	% Agregados	RICE	% Dens. Máxima	% Vol. Asfalto en Mezcla Pasf.P.e	% Vol. Agr. en Mezcla Past. P.e.	Vacios Agr. VAM	Vacios en mezcla	Relac. Asfalto (6)	5+9	Densidad Teórica Maxima	Peso Especifico Agregados	Valor RICE	Peso Espec. Teórico Rice Real	
		5.5	94.5	2.474	96.51	12.75	84.02	15.98	3.5	0.80	100.00					
	Densidades			1/2 h.	24 hs.											
	Peso Especifico			2.387												
	Promedio Dh.			2.387												
	Rango de Estabilidad		(-20%)	1380												
			(+20%)	2070.03384												
	Rango de Fluencia		(-20%)	3.5												
			(+20%)	5.2												
	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px; background-color: #d3d3d3;"></div> Porcentaje															



Marshall 75 Golpes																
Temperaturas al moldaer en C°	Factor de la prensa:				2.13				Fluen. Mm.	Estabilidad (kg.)						Rango estab-fluenc.
	N°	% Asfalto	Altura	Peso Aire	Peso agua	Rotura hs.	Dh P. Espec. 1/2 Hora	Dh P. Espec. Reman.		Dial Estabil	Sin Correg.	Correg 1/2 hora	Dentro Rango 1/2 h	Correg 24 horas	Dentro Rango REM.	
	1	6.0	6.22	1209.6	505.4		2.393		4.8	790	1685	1740	1740		362	
	2	6.0	6.28	1208.6	509.0		2.374		4.4	740	1578	1606	1606		365	
	3	6.0	6.32	1212.4	511.5		2.370		5.2	690	1472	1483	1483		285	
	PROMEDIOS						2.379		4.80			1610	1610		338	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
N°	% Asfalto	% Agregados	RICE	% Dens. Máxima	% Vol. Asfalto en Mezcla Pasf.P.e	% Vol. Agr. en Mezcla Past. P.e.	Vacios Agr. VAM	Vacios en mezcla	Relac. Asfalto (6)	5+9	Densidad Teórica Maxima	Peso Especifico Agregados	Valor RICE	Peso Espec. Teórico Rice Real		
	6.0	94.0	2.443	100 x Dh/Dm	Gasf.	Gagr.	100-7	100-7-6	8 Vacios							
				97.39	13.86	83.30	16.70	2.6	0.83	100.00						
Densidades			1/2 h.	24 hs.	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; background-color: #d3d3d3; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> Porcentaje </div>											
Peso Especifico			2.379													
Promedio Dh.			2.379													
Rango de Estabilidad	(-20%)		1288													
	(+20%)		1931.47416													
Rango de Fluencia	(-20%)		3.8													
	(+20%)		5.8													

ANEXO 10

Especificaciones Técnicas Equipo Grip Tester

LABORATORIO DE CONTROL CALIDAD DE PAVIMENTOS
UDELAR

**FICHA TÉCNICA
PERFILÓMETRO**

**Versión
04/ 19
Pág. 1**

EQUIPO:	Perfilómetro		
MARCA:	Romdas	PROCEDENCIA:	Nueva Zelanda
MODELO:	(1) TPL v3 (2) Dual Laser Profilometer	AÑO:	2013
FUNCIÓN:	Equipo para medición de perfil transversal, rugosidad, macrotextura y fisuras del pavimento. Registro fotográfico panorámico y superficial. Mediciones geométricas.		
FECHA DE COMPRA:	Diciembre 2013	CALIBRACIÓN:	Diciembre 2015

(1) TRANSVERSE PROFILE LOGGER (TPL)

DIMENSIONES	
PESO:	20kg
ANCHO:	2,2m
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
TIPO DE SENSOR:	Laser (Class 3B)
SENSORES:	13
ESPACIADO DE SENSORES:	250mm
RESOLUCIÓN:	+/- 0,05mm



(2) LASER PROFILOMETER (LP)

DIMENSIONES	
PESO:	3 kg
MEDIDAS:	170x120x106 mm
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
TIPO DE LASER:	Class 3B
CANTIDAD:	2
RESOLUCIÓN IRI:	+/- 0,01m/km



COMPLEMENTOS

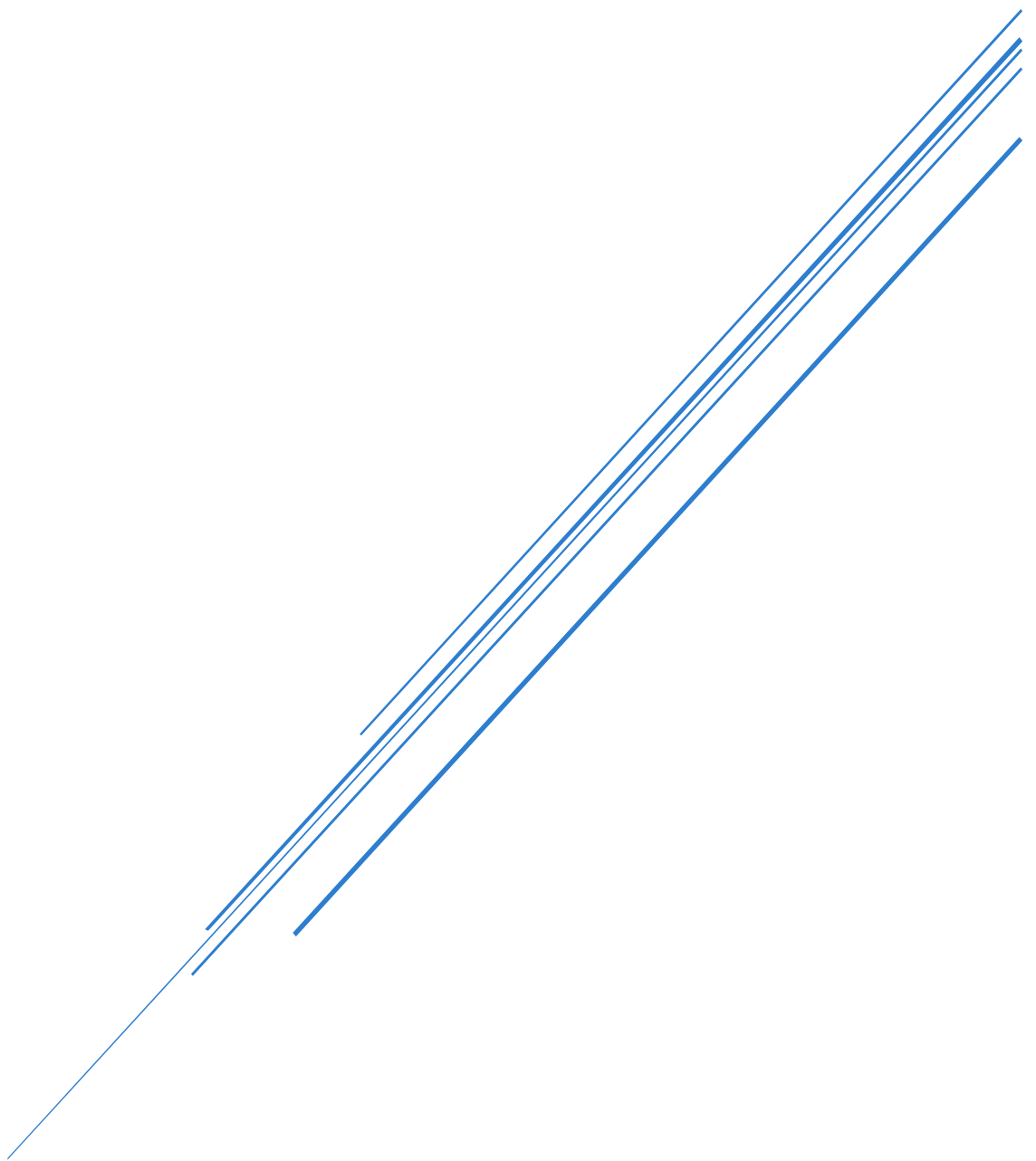
<u>_</u> GPS:	Sí; Omnistar
<u>_</u> Video:	Sí; frontal panorámico y trasero superficial
<u>_</u> Bump Integrator:	Sí; visualización de la rugosidad en tiempo real
<u>_</u> High Resolution Distance Measuring Instrument (HRDMI)	Sí
<u>_</u> Geometry Unit	Sí; proporciona pendiente longitudinal, transversal y radio de curvatura
<u>_</u> Visual Inventory and Condition (Rating Keyboards)	Sí
<u>_</u> Z-250 Profilometer	Sí; medida manual de rugosidad




Dimensiones	1010 mm: largo 790 mm: ancho 510 mm: altura
Peso	85 – 90 kg
Sistema de medición	Braked wheel, fixed slip (15%)
Medición de fuerza de arrastre (Drag) y carga vertical (Load)	Medidas directamente
Rango de espesores de película de agua	0.05 a 1.0 mm
Intervalos de medición	5, 10, 20, 50 m
Valor de fricción desplegado	Gripnumber (GN) 0.00 a 1.20
Rango permisible de velocidades	5 km/h hasta 130 km/h ICAO recomienda 65 y 95 km/h para pistas de aeropuerto. En carreteras la velocidad usual es de 50 km/h para zonas de alta velocidad y 20 km/h para zonas de baja velocidad.
Condiciones de superficie	ICAO recomienda espesor de película de agua de 1 mm. El requerimiento estándar para carreteras es de 0.25 mm de espesor.
Tipo de llanta de medición	Conforme a la norma ASTM E 1844
Expectativa de vida de la llanta de medición	Entre 700 y 1000 km dependiendo de la textura de la superficie.
Expectativa de vida del equipo	Al menos 20 años.

ANEXO 11

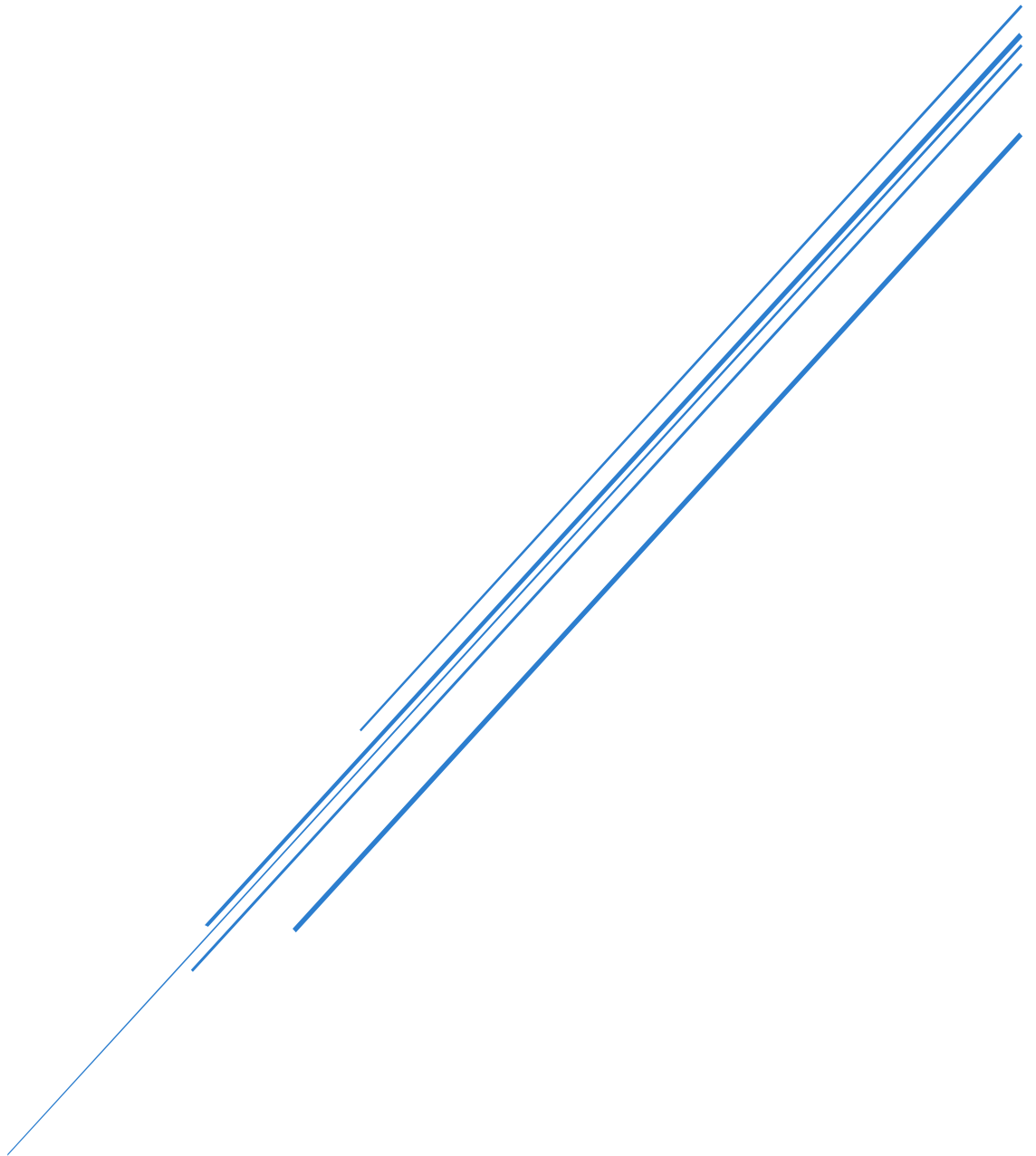
INVENTARIO DE SEÑALIZACION DE INVESTIGACION, ALGUNOS EJEMPLOS



N°	Fotografías	Tipo de Señal	Material	ubicación	Fecha de ejecución y Tareas de Mantenimiento
1		Rutero Ruta Nacional N° 3	Preformado	67.850 +	Sin tareas de mantenimiento Dic.2021
	 				

ANEXO 12

Evolución de Macrotextura en Ruta 3 y By Pass



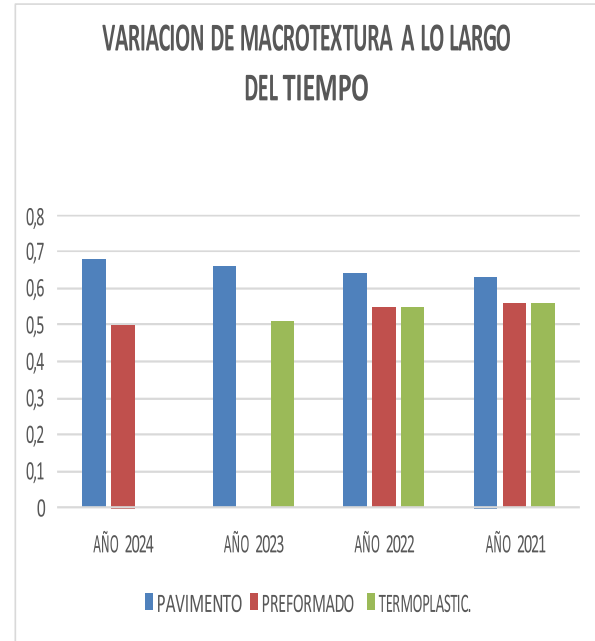
Ing. Beatriz Carnales
GRUPO SAN JOSE

TIPO SEÑ./PAV	VALORES DE MACROTEXTURA			
	AÑO 2024	AÑO 2023	AÑO 2022	AÑO 2021
PAVIMENTO	0,68	0,66	0,64	0,63
PREFORMADO	0,5		0,55	0,56
TERMOPLASTIC.		0,51	0,55	0,56

MAYOR VARIACION EN EL PAVIMENTO: 8% ↓

MAYOR VARIACION EN EL PREFORMADO: 11% ↑

MAYOR VARIACION EN LA TERMOPLASTICA: 9% ↑



ANEXO 13

TERMOVIAL XAH1



VIAMAS S.A
GRUPO SAN JOSE

TERMOVIAL® XA H1
Termoplástico para extrusión

Especificación Técnica

DESCRIPCIÓN: TERMOVIAL® XA H1 es un producto para demarcación vial de alta performance apto para pavimentos asfálticos u hormigones. TERMOVIAL®XA H1 formulado en base a resinas especiales es resistente a los álcalis del hormigón. El producto ofrece una retroreflectividad sostenida en el tiempo gracias a la renovación de la capa superficial.

VENTAJAS:

- Durabilidad.
- Buena adherencia sobre asfalto y hormigón.
- Rápida liberación al tránsito.
- Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo.
- Resistencia a los elementos climáticos.
- Facilidad de aplicación. Gracias a su estudiada formulación, la viscosidad a la temperatura de aplicación es la adecuada para una correcta nivelación, definición de bordes, adherencia al sustrato y a las microesferas sembradas.
- Nuestras modernas instalaciones de producción y control permiten obtener productos de calidad continua. Gracias a las características de nuestro proceso productivo el material en polvo presenta una homogeneidad superior respecto del mercado para un mismo pallet.
- Conservación del color a la temperatura de aplicación y luego de aplicado gracias a la tecnología de resinas y pigmentos utilizada.

EMBALAJE Y ENVASADO:

- Sacos plásticos con formulación en polvo, que permite una fusión más rápida y la incorporación de los envases plásticos (de características termodegradables) a la mezcla fundida.
- Bolsones por pedido.



www.cristacol.com.ar
Callao 1430(B1768AGL), Villa Madero. Pcia de Bs. As.
Argentina +541 4442 1423



TERMOVIAL®XA H1

Termoplástico para extrusión

Tabla 1. Tipo, uso, condiciones de aplicación.

PRODUCTO, CODIGO	CARACT. ESPECIALES/USO	DISPOSITIVO / USO	ESPEJOR mm	CONSUMO kg/m ²	SEMBRADO	TEMP. APLIC, °C
XA H1	Uso general, líneas longitudinales, líneas	Zapata de arrastre,	3 mm	6-7 kg/m ² nominal	300-500 g/m ²	190-210
TDC553H901	transversales	Cabezal de cortina	2,3 mm	5 kg/m ² nominal		

Nota: Por ejemplo, se podrá optar por el sembrado simple con H-85, con 20-40 o el Doble Sembrado con 20-40 + H-85, respetando los totales por m² indicados.

APLICACIÓN:

- Se lo aplica en estado fundido, a **una temperatura de entre 190°C y 210°C**. A estas temperaturas tienen la consistencia adecuada para su aplicación. Al enfriarse en forma rápida, permite la liberación al tránsito con un mínimo entorpecimiento del mismo. El espesor aplicado es exactamente el obtenido, al no evaporarse solventes.
- Tanto en pavimentos asfálticos y de hormigón deberá utilizarse previamente nuestras Imprimaciones PRIMEX® para garantizar una perfecta adherencia. En el caso de aplicación sobre hormigón, recomendamos la imprimación PRIMEX® TDS279555.
- Las características de aplicación variarán según el modelo del equipo a utilizar, pero nuestra empresa puede brindarle asesoramiento técnico al usuario en todo lo necesario para una óptima terminación del producto aplicado.
- Además, para obtener una reflectancia inmediata al efectuar la aplicación, se deberán **sembrar Microesferas tipo DROP-ON** antes que el producto se enfríe.

ALMACENAMIENTO:

Almacenar en lugar fresco y seco al resguardo de fuentes de calor o ignición y del agua. A temperaturas entre 5°C y 35°C.





TERMOVIAL®XA H1

Termoplástico para extrusión

Tabla 1 - DATOS TÉCNICOS TÍPICOS:

Propiedad	Valor típico	Método
Densidad	Entre 1,95 y 2,25 g/cm ³	Por desplazamiento en picnómetro, @20°C.
Color	Coordenadas cromáticas según tabla 2.	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D ₆₅ .
Luminancia (Y)	45 a 50	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D ₆₅ .
% Ligante	18% mínimo.	ASTM D4797
Punto de Ablandamiento	95°C-110°C	ASTM D36

	X	y
1	0,560	0,440
2	0,460	0,400
3	0,420	0,440
4	0,490	0,510



ANEXO 14

TERMOVIAL XBH1



VIAMAS S. A
GRUPO SAN JOSE

TERMOVIAL®XB H1
Termoplástico para extrusión

Especificación Técnica

DESCRIPCIÓN: TERMOVIAL® XB H1 es un producto para demarcación vial de alta performance apto para pavimentos asfálticos u hormigones. TERMOVIAL®XB H1 formulado en base a

resinas especiales es resistentes a los álcalis del hormigón. El producto ofrece una retroreflectividad sostenida en el tiempo gracias a la renovación de la capa superficial.

VENTAJAS:

- Durabilidad.
- Buena adherencia sobre asfalto y hormigón.
- Rápida liberación al tránsito.
- Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo.
- Resistencia a los elementos climáticos.
- Facilidad de aplicación. Gracias a su estudiada formulación, la viscosidad a la temperatura de aplicación es la adecuada para una correcta nivelación, definición de bordes, adherencia al sustrato y a las microesferas sembradas.
- Nuestras modernas instalaciones de producción y control permiten obtener productos de calidad continua. Gracias a las características de nuestro proceso productivo el material en polvo presenta una homogeneidad superior respecto del mercado para un mismo pallet.
- Conservación del color a la temperatura de aplicación y luego de aplicado gracias a la tecnología de resinas y pigmentos utilizada.

EMBALAJE Y ENVASADO:

- Sacos plásticos con formulación en polvo, que permite una fusión más rápida y la incorporación de los envases plásticos (de características termodegradables) a la mezcla fundida.
- Bolsos por pedido.



www.cristacol.com.ar
Callao 1430(B1768AGL), Villa Madero. Pcia de Bs. As.
Argentina +541 4442 1423

Tabla 1. Tipo, uso, condiciones de aplicación.

PRODUCTO, CODIGO	CARACT. ESPECIALES/USO	DISPOSITIVO / USO	ESPEJOR mm	CONSUMO kg/m ²	SEMBRADO	TEMP. APLIC, °C
XB H1	Uso general, líneas longitudinales, líneas	Zapata de arrastre,	3 mm	6-7 kg/m ² nominal	300-500 g/m ²	190-210
TDC551H901	transversales	Cabezal de cortina	2,3 mm	5 kg/m ² nominal		

Nota: Por ejemplo, se podrá optar por el sembrado simple con H-85, con 20-40 o el Doble Sembrado con 20-40 + H-85, respetando los totales por m² indicados.

APLICACIÓN:

- Se lo aplica en estado fundido, a **una temperatura de entre 190°C y 210°C**. A estas temperaturas tienen la consistencia adecuada para su aplicación. Al enfriarse en forma rápida, permite la liberación al tránsito con un mínimo entorpecimiento del mismo. El espesor aplicado es exactamente el obtenido, al no evaporarse solventes.
- Tanto en pavimentos asfálticos y de hormigón deberá utilizarse previamente nuestras Imprimaciones PRIMEX® para garantizar una perfecta adherencia. En el caso de aplicación sobre hormigón, recomendamos la imprimación PRIMEX® TDS279555.
- Las características de aplicación variarán según el modelo del equipo a utilizar, pero nuestra empresa puede brindarle asesoramiento técnico al usuario en todo lo necesario para una óptima terminación del producto aplicado.
- Además, para obtener una reflectancia inmediata al efectuar la aplicación, se deberán **sembrar Microesferas tipo DROP-ON** antes que el producto se enfríe.

ALMACENAMIENTO:

Almacenar en lugar fresco y seco al resguardo de fuentes de calor o ignición y del agua. A temperaturas entre 5°C y 35°C.



TERMOVIAL®XB H1

Termoplástico para extrusión

DATOS TÉCNICOS TÍPICOS:

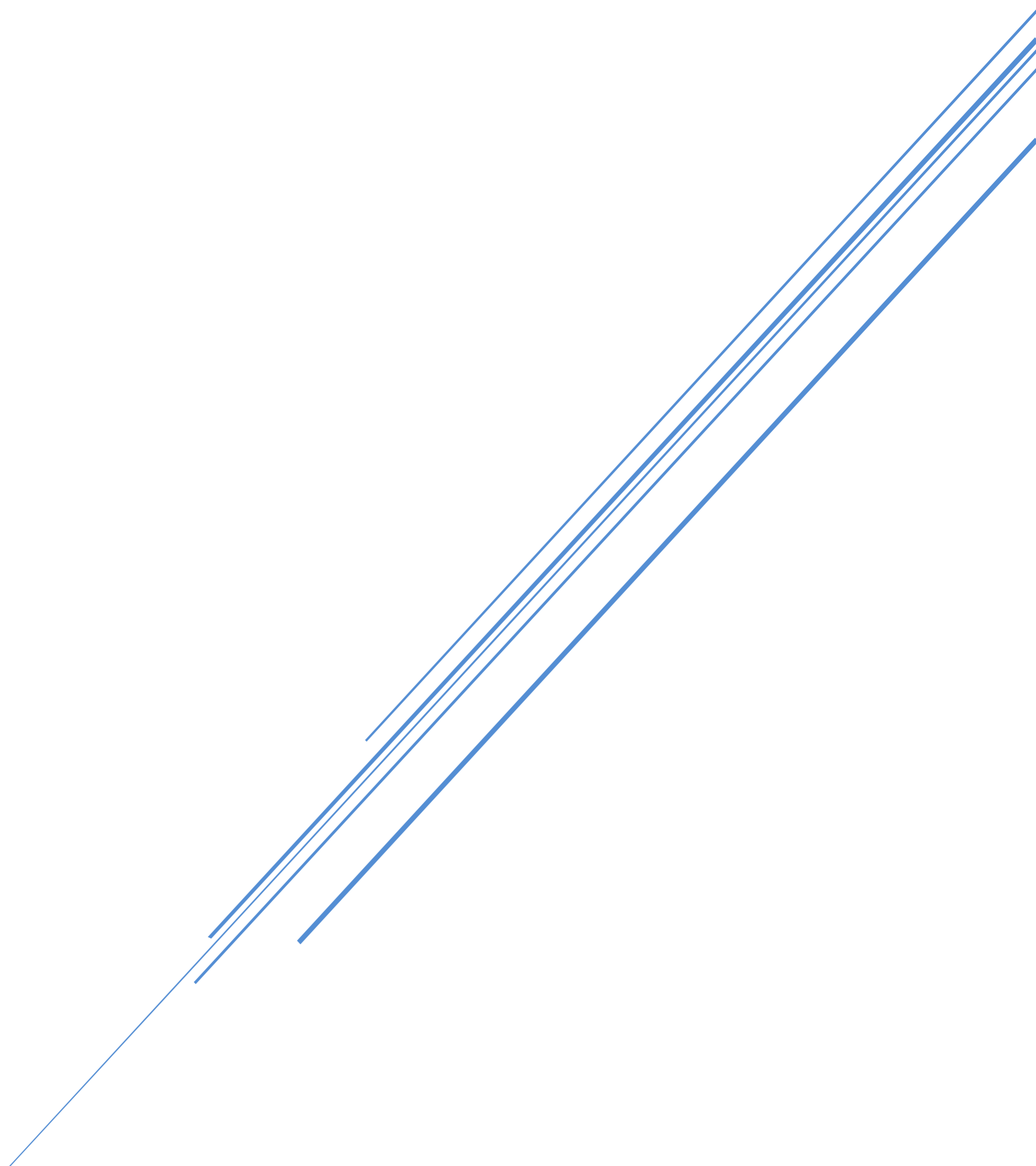
Propiedad	Valor típico	Método
Densidad	Entre 1,95 y 2,15 g/cm ³	Por desplazamiento en picnómetro, @20°C.
Color	Coordenadas cromáticas según tabla 2.	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D ₆₅ .
Luminancia (Y)	Mayor a 75	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D ₆₅ .
Índice de Amarilleo (YE) color blanco.	12 máximo	Una vez a 200°C se vierte el producto formando una probeta y se deja enfriar a 25°C se mide con observador patrón de 10°, geometría del equipo de 45°/0°, iluminante estándar CIE D ₆₅ .
% Ligante	18% mínimo.	ASTM D4797
Punto de Ablandamiento	95°C-110°C	ASTM D36

	x	y
1	0,355	0,355
2	0,305	0,305
3	0,285	0,325
4	0,335	0,375



ANEXO 15

ESTUDIO DE SINIESTRALIDAD



Estudio de siniestralidad

2019-2024

Ruta 3 progresivas 67k600 a 92k100



Ministerio
**de Transporte
y Obras Públicas**

División
Seguridad en el Tránsito



Elaboración del informe: Ayte. Wanda Sena

División Seguridad en el Tránsito - Dpto. Estudios de Circulación

Aprobación del informe: Ing. Luciana Montero

División Seguridad en el Tránsito - Jefa Dpto. Estudios de Circulación



GLOSARIO

En el contexto de este informe, se emplearán las siguientes abreviaciones y siglas:

SCV	Siniestros con víctimas leves, graves y fatales.
SG	Siniestros con víctimas graves.
SF	Siniestros con fallecidos.
SGyF	Siniestros con víctimas graves y/o fatales.
IP	Índice de Peligrosidad.
IR _{GyF}	Índice de Riesgo en siniestros graves y fatales.
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual.
UNASEV	Unidad Nacional de Seguridad Vial.
SGSP	Sistema de Gestión de Seguridad Pública.
DNPC	Dirección Nacional de Policía Caminera.

DEFINICIONES

- **Incidente de tránsito y Siniestro de tránsito:** Art. 46 de Ley 19.824: "Se define **incidente de tránsito** o incidente vial el hecho en el cual se produce daño a personas o bienes, en ocasión de la circulación en la vía pública. Se define **siniestro de tránsito** a la colisión u otro tipo de impacto con implicación de al menos un vehículo en movimiento, que tenga lugar en una vía pública o privada a la que la población tenga derecho de acceso, y que tenga como consecuencia al menos una persona lesionada".

En el contexto de este informe, se emplearán las siguientes definiciones, las cuales deben interpretarse en el contexto de la ocurrencia de un siniestro vial:

- **Herido:** Toda persona involucrada en un siniestro de tránsito que sufre heridas de diversa magnitud pero que no llegan a causarle la muerte. Es una parte del total de lesionados, sin incluir a los fallecidos.
- **Fallecido:** Toda persona que estuvo involucrada en un siniestro de tránsito y resultó fallecida en el lugar o hasta los 30 días después de producido el mismo.
- **Víctimas:** Toda persona herida leve, grave o fallecida.
- **Siniestros con víctimas:** Incluye todos los siniestros leves, graves y fatales.
- **Siniestro fatal:** Siniestro con víctimas en el que, al menos, una de ella resulte fallecida.

1. Introducción

Este informe presenta el estudio sobre la siniestralidad en Ruta 3 entre las progresivas 67k600 a 92k100, en ambos sentidos de circulación. El estudio, realizado por la División Seguridad en el Tránsito de la Dirección Nacional de Vialidad, considera el período comprendido entre el 01 de enero de 2019 y el 31 de diciembre del 2024.

La información base para este estudio surge de los partes de siniestros de tránsito del Ministerio del Interior (Policía Caminera y Sistema de Gestión de Seguridad Pública), así como de la base de datos SINATRAN (UNASEV).

2. Evolución de Siniestralidad - R3 progresivas 67k600 a 92k100

2.1 Evolución de siniestros

Se presenta a continuación la evolución anual de siniestros en el tramo en estudio, en el período 2019 a 2024. Para el año 2024 se registraron 21 siniestros con un 9.5% de siniestros graves y 19% de siniestros fatales.

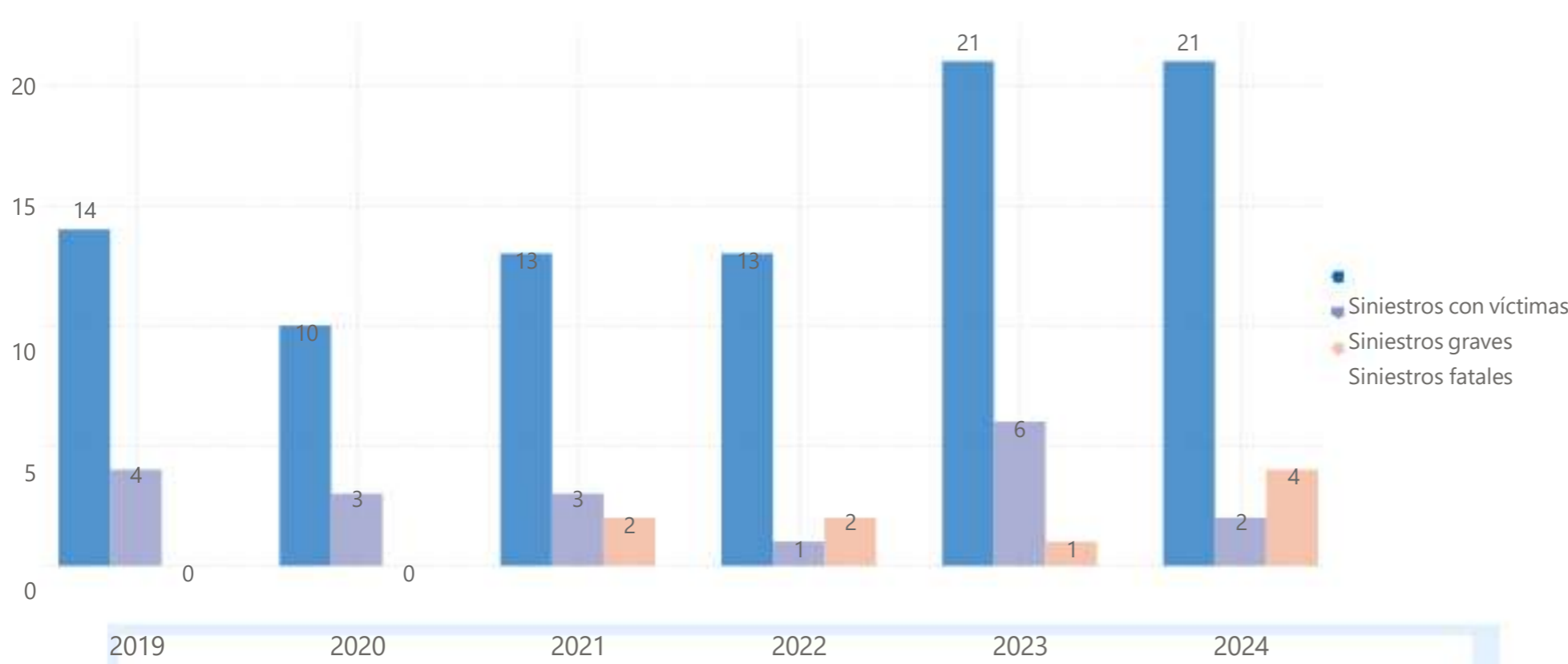
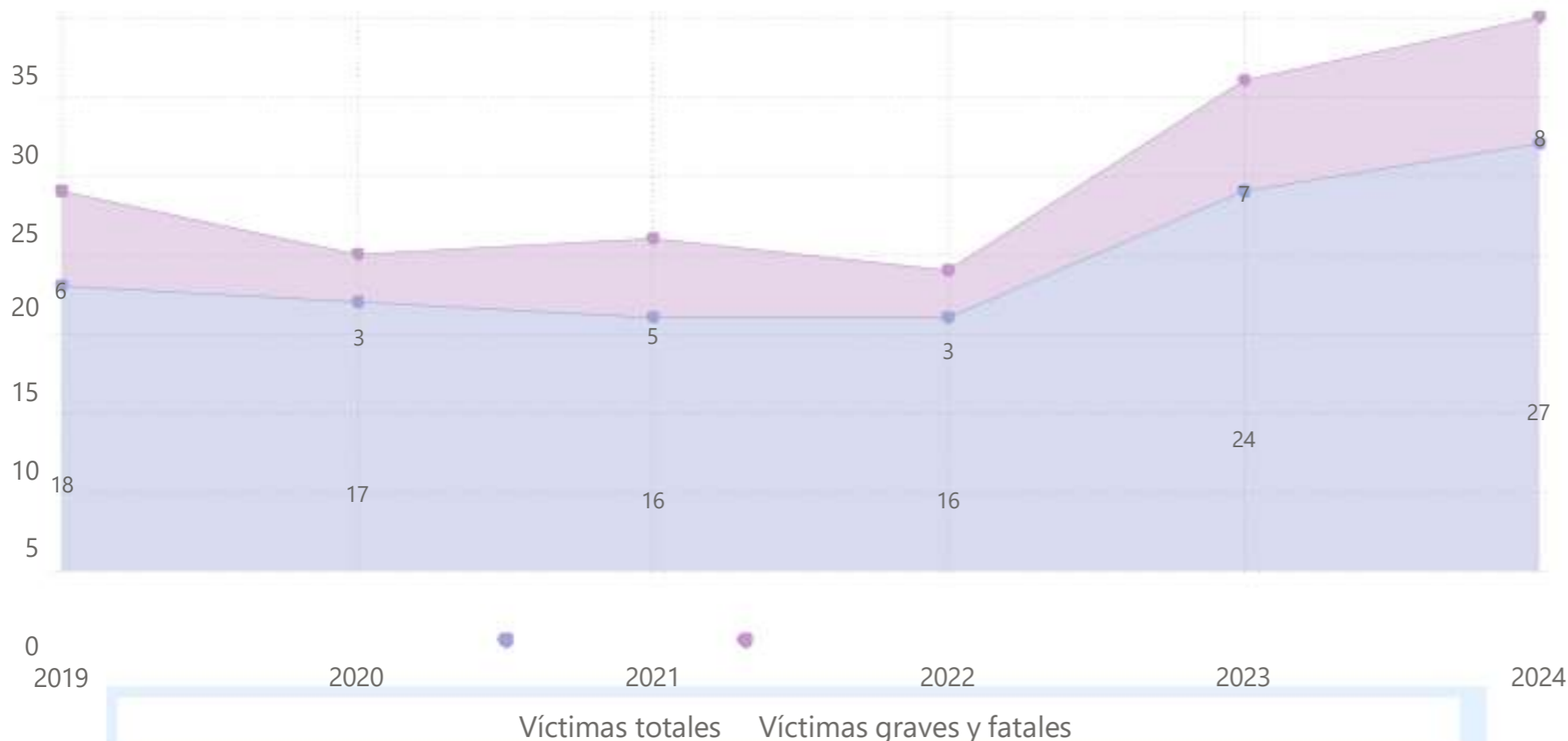


Gráfico 1: Evolución de siniestros de tránsito en el tramo en estudio

2.2 Evolución de víctimas en siniestros

Se presenta a continuación la evolución anual de víctimas en siniestros, en el período 2019 a 2024.



Sobre el total de las **118 víctimas involucradas**, el **27%** resultaron heridos graves o fallecidos.

Gráfico 2: Evolución de víctimas en siniestros de tránsito en el tramo en estudio



3. Tipología

En este capítulo se analizan las distintas tipologías de siniestros de tránsito ocurridos en el tramo en estudio. Las categorías utilizadas, establecidas por el Ministerio del Interior, incluyen: atropello de animales, atropello de personas, colisión de vehículo con obstáculo, colisión de vehículo en marcha, despistes, siniestros con birrodados y otros.

3.1 Distribución de siniestro por tipología

Año 2024: Se presentan la distribución de siniestros ocurridos en el tramo en estudio en comparación a los siniestros ocurridos en la Red Vial, en el año 2024, de acuerdo con su tipología.

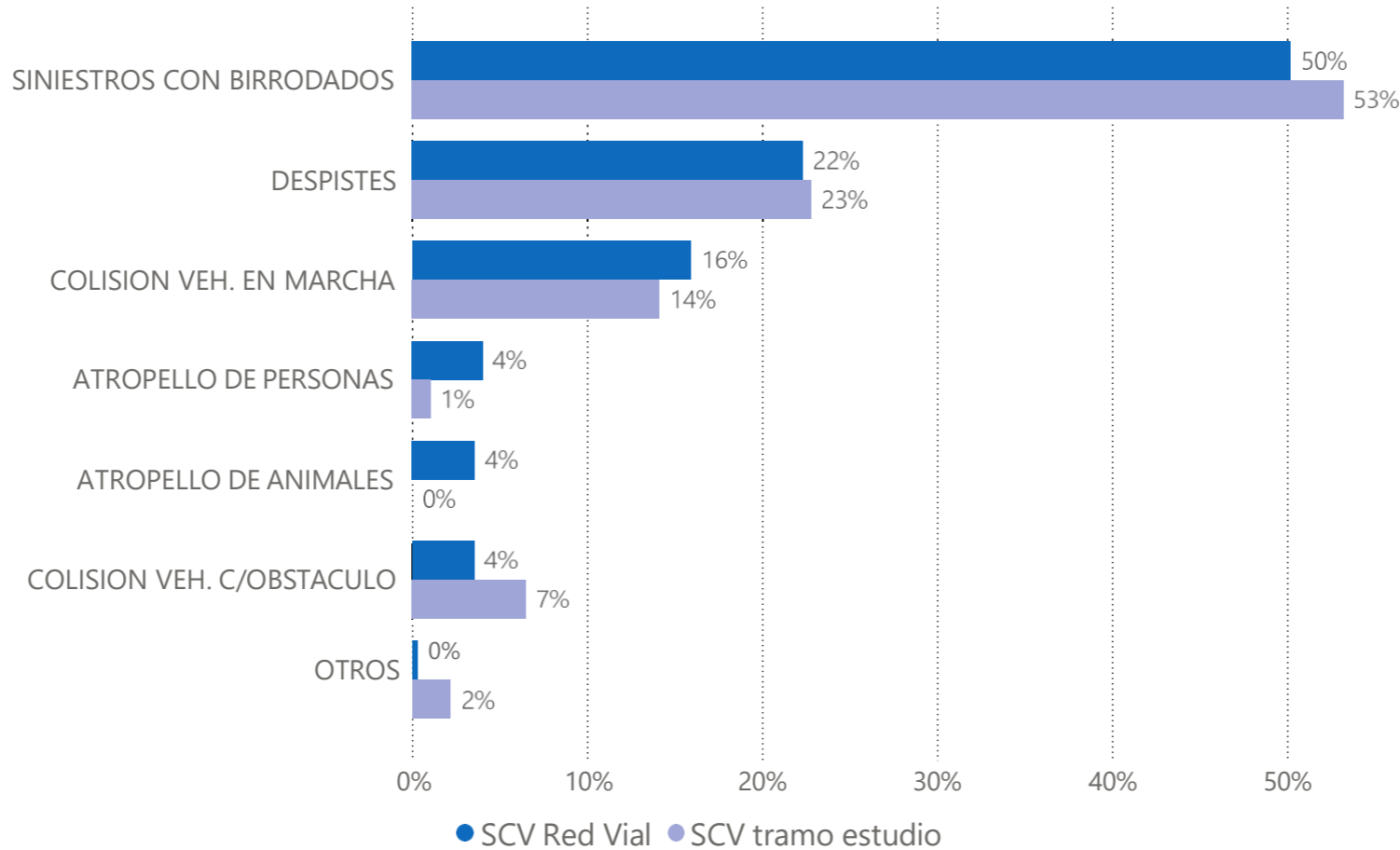


Gráfico 3: Distribución de siniestros de tránsito por tipología

3.2 Evolución anual de siniestros por tipología

Con el objetivo de estudiar la variabilidad de las tipologías de siniestros en el último tiempo, se analiza la evolución anual de ocurrencia de siniestros por tipología, en el período 2022 a 2024.

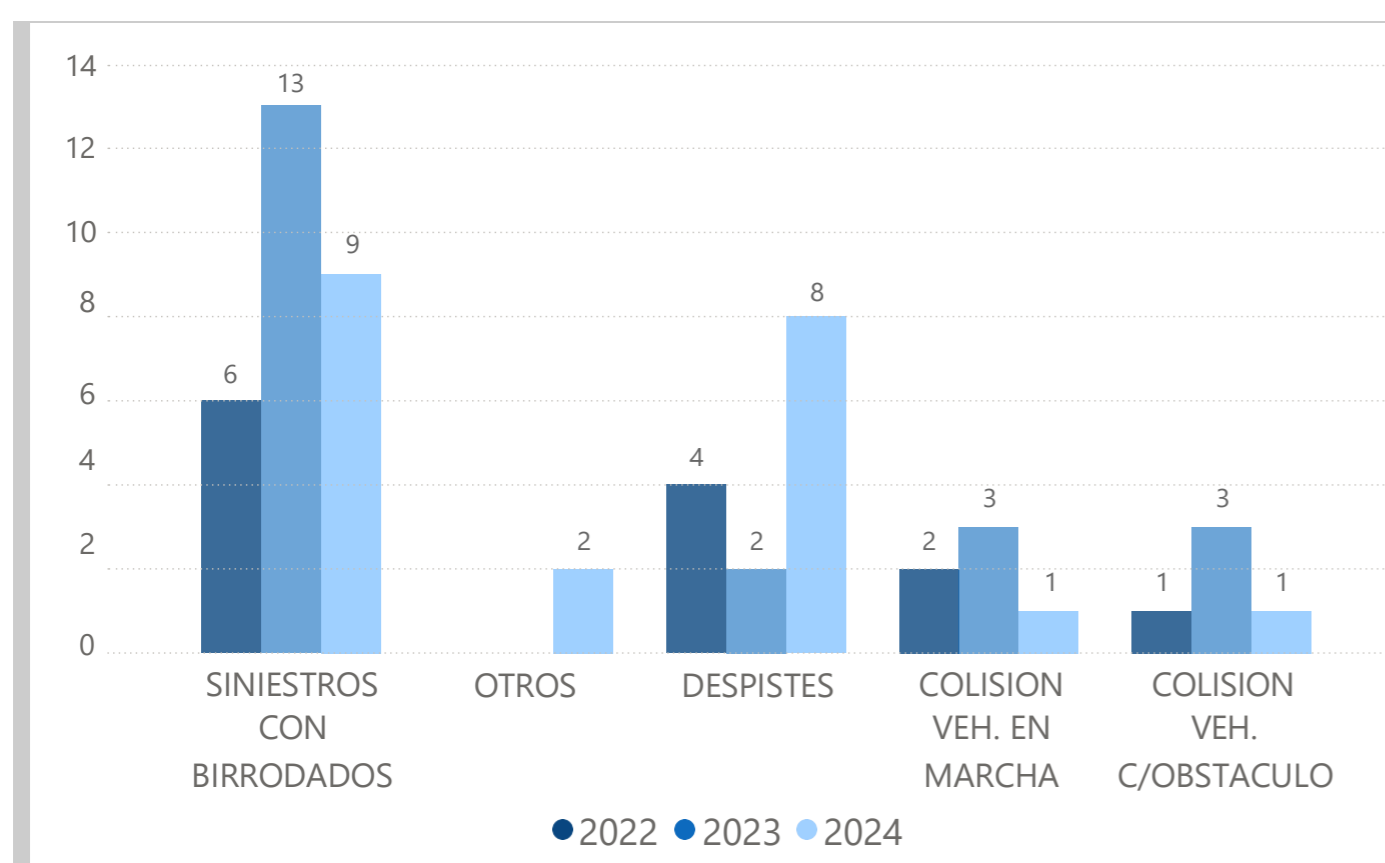


Gráfico 4: Evolución de siniestros en el tramo, de acuerdo con su tipología

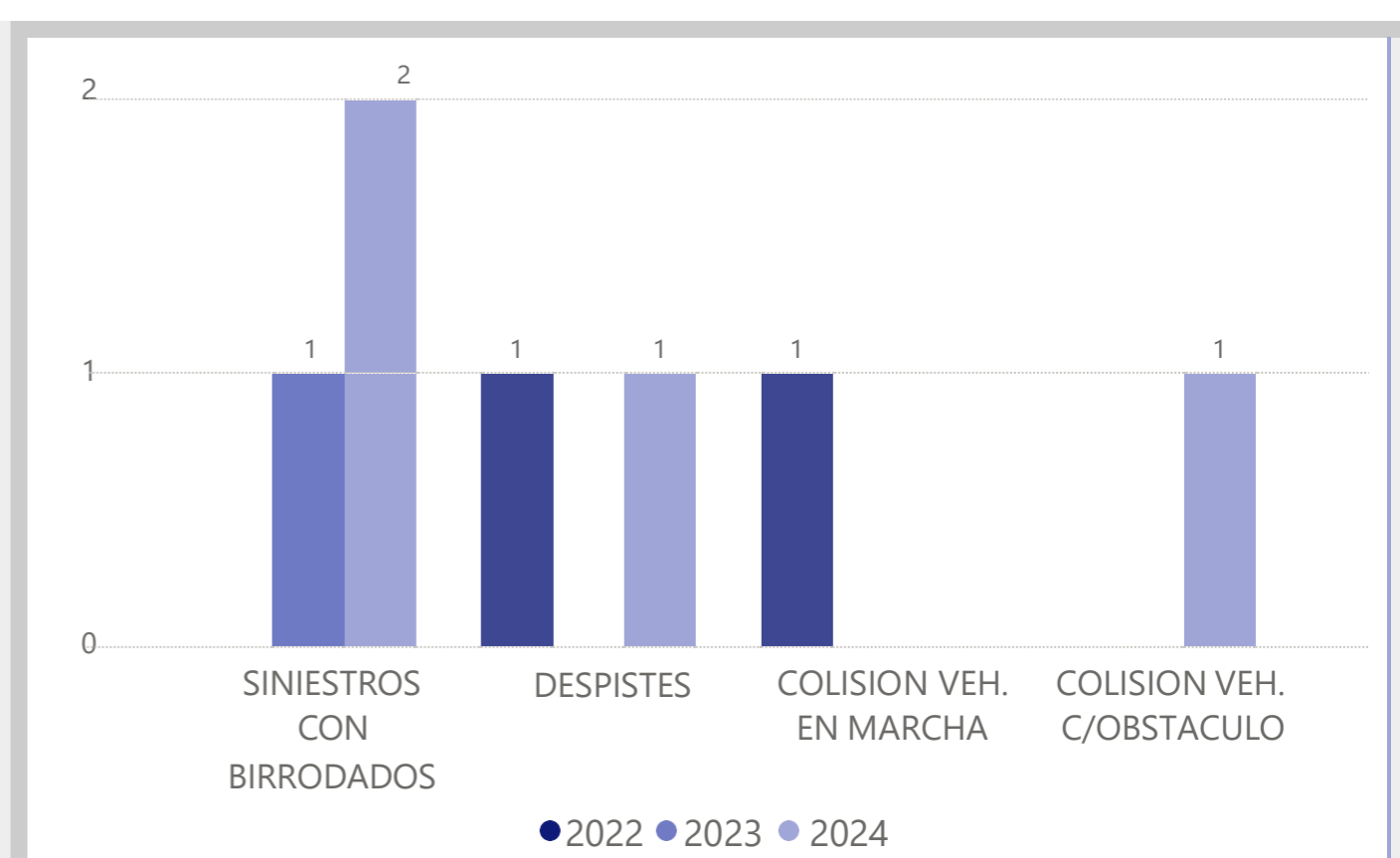


Gráfico 5: Evolución de siniestros fatales en el tramo, de acuerdo con su tipología



3.3 Evolución de siniestros por tipología considerando período de obras

A continuación, se presenta la evolución de siniestros por tipología, diferenciando los períodos según el estado de las obras:

- 1° Enero 2019 a 31 Enero 2021: Período previo a comenzar las obras de duplicación de calzada (25 meses)
- 1° Febrero 2021 a 14 Diciembre 2022: Período durante la ejecución de las obras (22.5 meses)
- 15 Diciembre 2022 a 31 Diciembre 2024: Período posterior a finalizar las obras (24.5 meses)

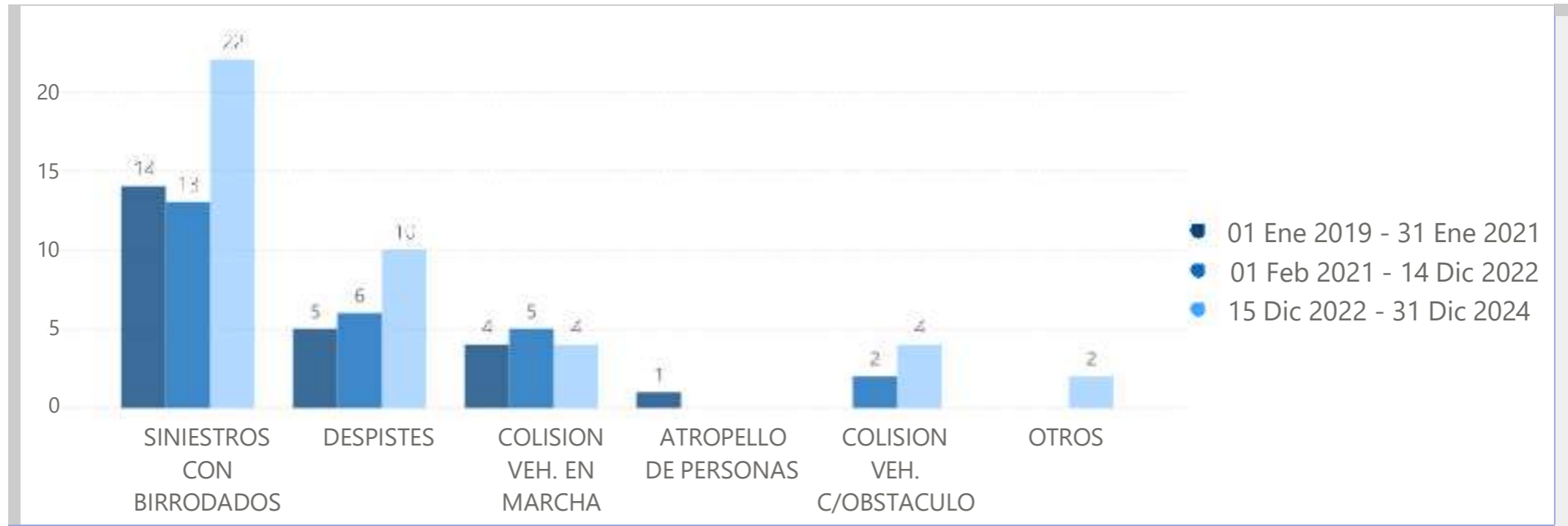


Gráfico 6: Evolución de siniestros en el tramo, de acuerdo con su tipología

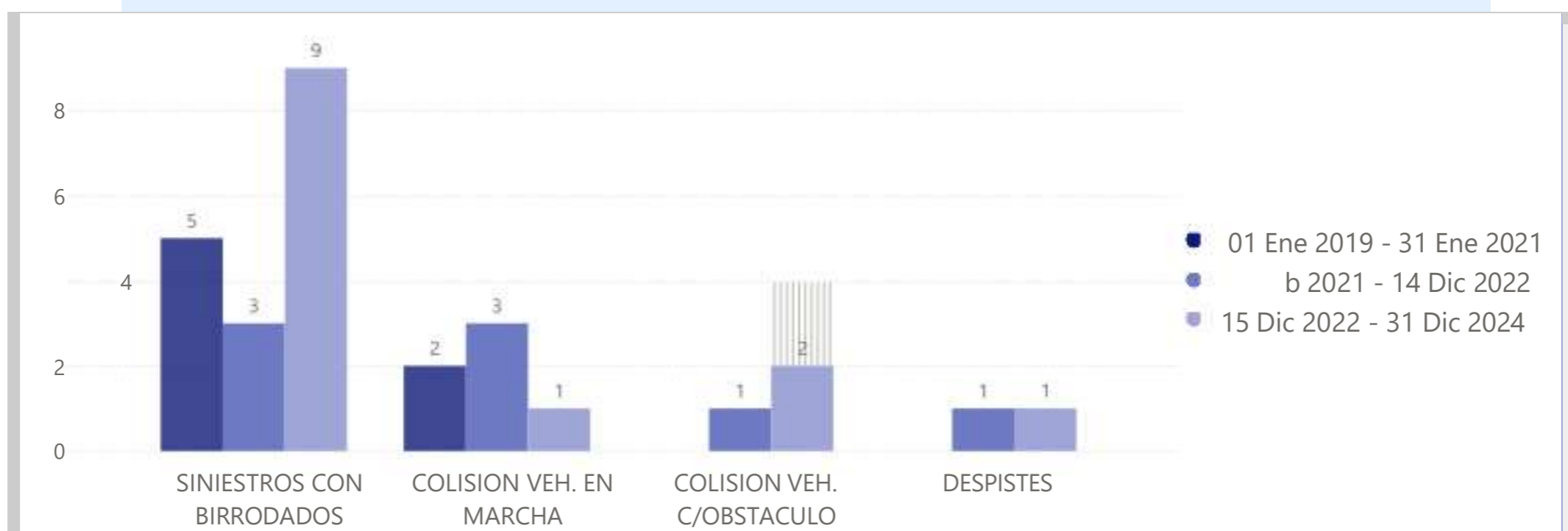


Gráfico 7: Evolución de siniestros graves y fatales en el tramo, de acuerdo con su tipología

3.4 Evolución de despistes según la circunstancia concurrente del siniestro

A continuación, se clasifican los despistes en los períodos definidos previamente, según su circunstancia concurrente. Se adjunta una planilla con los datos más relevantes de los despistes ocurridos en el tramo en estudio.

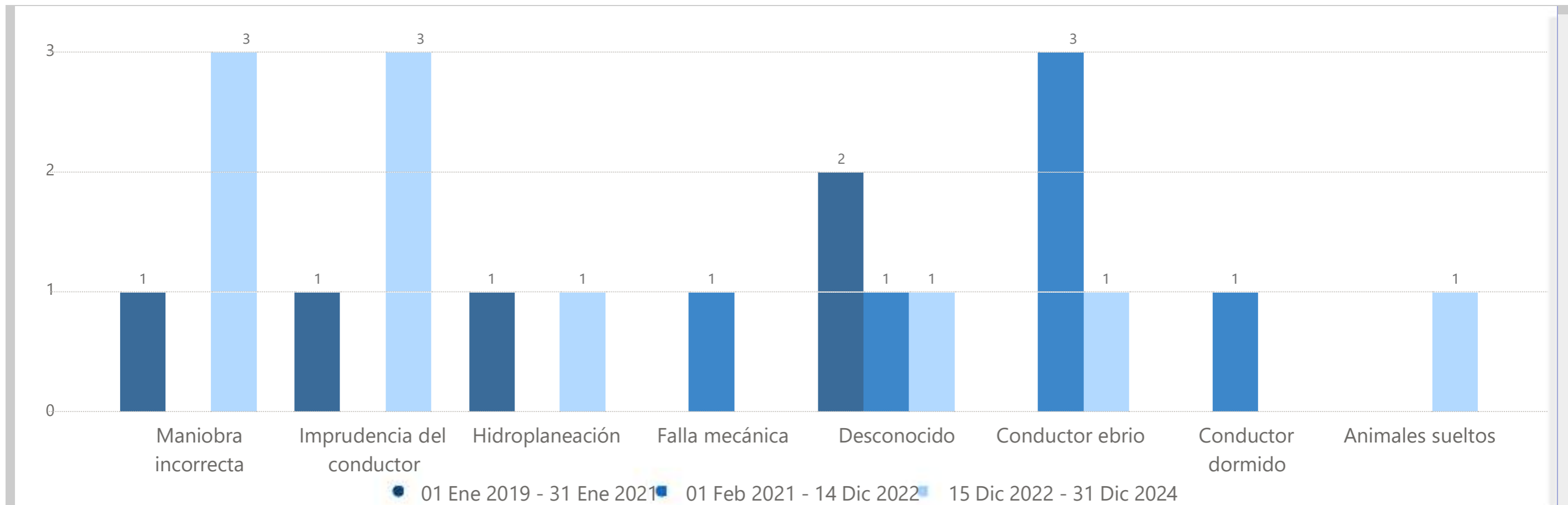
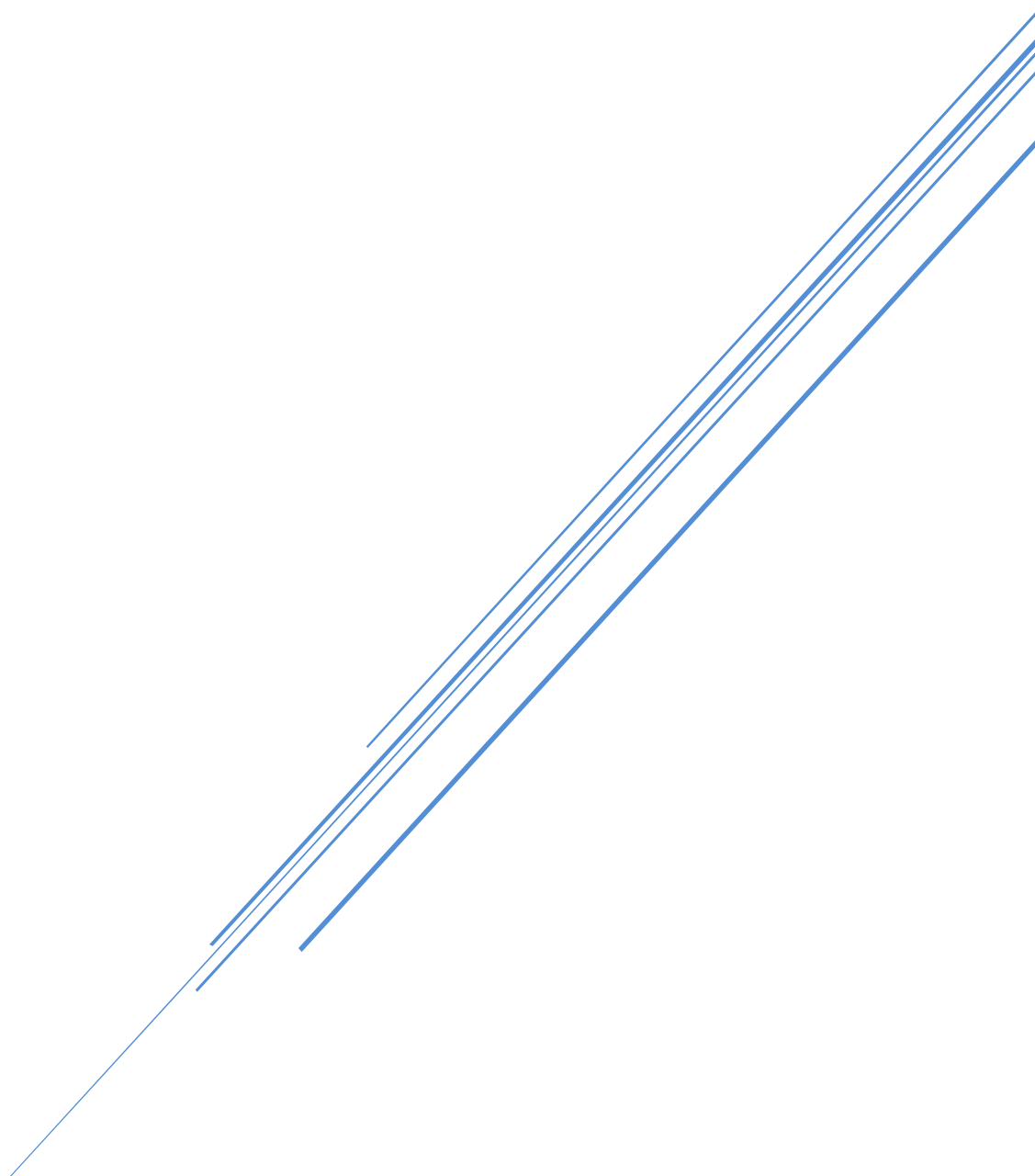


Gráfico 8: Evolución de siniestros en el tramo en estudio, de acuerdo con su tipología

ANEXO 16

MICROESFERAS GLASSBEADS PARA PINT. TERMOPLÁSICA
FICHA T 20-40



VIAMAS S.A
GRUPO SAN JOSE

FICHA TECNICA

Producto: 20-40

Tamiz Nº	Abertura μm	Abertura Mils	Pasante Acumulado
20	850 micras	33,46 mils	95-100%
30	600 micras	23,62 mils	85-60%
40	425 micras	16,73 mils	15-40%
50	300 micras	11,81 mils	0-10%

ESFERICIDAD	Microesferas Perfectas
Método Microscopio	$\geq 80 \%$
Método ASTM D 1155 - 10	$\geq 72 \%$

OTRAS CARACTERISTICAS	Resultado
Índice de Refracción	$\geq 1,50$
Resistencia a los Agentes Químicos: Agua	$< 10 \text{ ml de HCl } 0,1 \text{ N}$
Resistencia a los Agentes Químicos: Ácidos	No presenta defectos después de tratadas
Resistencia a los Agentes Químicos: Solución 1 N de CaCl_2	No presenta defectos después de tratadas

Tratamientos Superficiales para Adherencia y Flotación

Este producto cuenta con tratamientos químicos exclusivos, a base de xilanos, que mejoran significativamente la performance y durabilidad de la micro-esferas en la marca vial, garantizando una mayor reflectividad durante mayor tiempo.

El tratamiento incrementa las energías de enlace que existen en la interface micro-esferas–producto, a la vez que modifica la tensión superficial permitiendo controlar su grado de hundimiento.

Para su identificación los tratamientos se identifican como:

Tipo de Marca	Resultado	Código de Tratamiento
Pintura Base Solvente	Adherencia y Flotación	TAF
Pintura Base Agua	Adherencia y Flotación	PBA
Termoplásticos	Adherencia	TRM
Plástico en Frio / Bicomponente	Adherencia	PBC

Aplicación en Sembrado de marcas viales

Se recomienda utilizar este producto para pinturas con espesor húmedo iguales o mayores a 400 micrones (≥ 20 mils).

Para carreteras se recomienda sembrar 400 a 450 gramos por metro².

Dosis por metro lineal en Carreteras	Cantidad
Para líneas de 10 cm de ancho	40 a 45 gramos
Para líneas de 12 cm de ancho	48 a 54 gramos
Para líneas de 15 cm de ancho	60 a 67 gramos
Para líneas de 20 cm de ancho	80 a 90 gramos



Normas Técnicas

La micro-esferas 20-40 se adecuan a las siguientes especificaciones técnicas:

Generales: AASHTO 247 Type 2

Argentina: IRAM

La naturaleza del Vidrio utilizado y su índice de refracción

Las micro-esferas de vidrio de GLASS BEADS están fabricadas con vidrio de silicato sódico calcio granulado (70 -100 %) y su índice de refracción es de 1,50 a 1,55.

La composición química del Vidrio es:

SiO ₂	70 a 73%
NaO ₂	13 a 15%
K ₂ O	0,2 a 0,6%
CaO	7 a 11%
MgO	3 a 5%
Al ₂ O ₃	0,5 a 2%

NO HAY SILICE LIBRE.

NO CONTIENE METALES PESADOS.

Características Generales

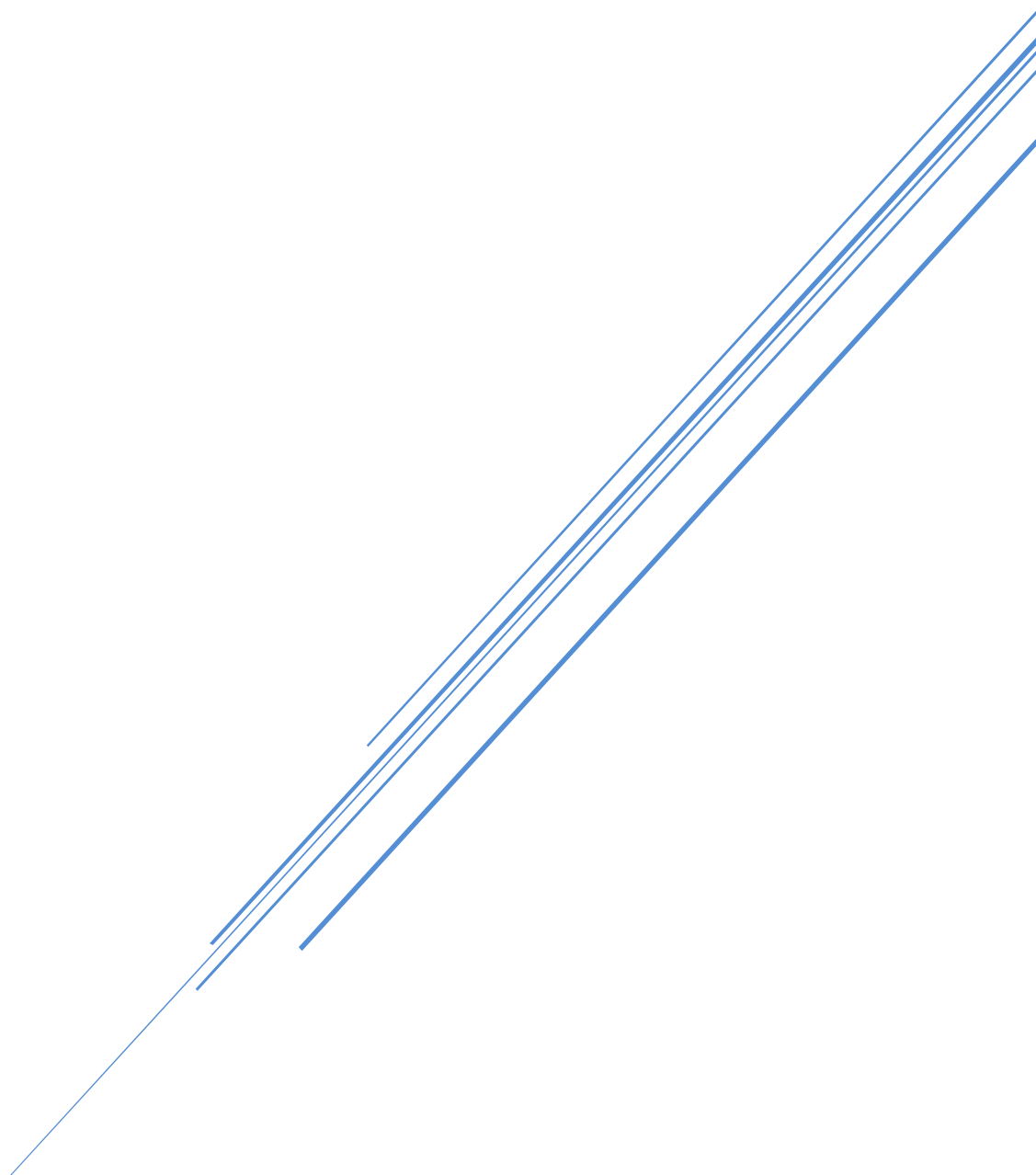
- Dureza Mohs: 5-6
- Dureza Rockwell: 47 rc
- Dureza Knop (Carga 100g.): 515 Kg/mm²
- Resistencia a la Compresión: 10.000 psi mínimo
- Densidad Aparente: 1,58 - 1,65

Envase:

- Sacos de 25 Kilos. Pallets por 40 sacos.
- Big Bags de 1000 kilos sobre pallet.

ANEXO 17

MICROESFERAS SWARCO PARA
PINT.TERMOPLASTICA



Centro de Tecnologia de Materiais

Página 1 de 3

RELATÓRIO DE ENSAIOS Nº. 21004968 – 2ª Via

Cliente: DA VINCI BRASIL LTDA

Endereço: Rua Jaci Schlichting de Lins – Rod. BR 101 – km 209, s/nº, Sala 02 – Trevo de Forquilha, Praia Comprida. São José/SC

Data da entrega da amostra: 10/09/2021

Período de ensaio: 10 a 27/09/2021

Os resultados são restritos ao material ensaiado no Tecpar.
A amostragem do material é responsabilidade do cliente. Este documento só poderá ser reproduzido por inteiro.

Data da emissão da 1ª via: 28/09/2021

1. MATERIAL

Material entregue (2 kg) e identificado na embalagem como:

MICROESFERAS DE VIDRO TIPO IIC C/ TRATAMENTO PARA ADERÊNCIA - SWARCO. NBR 16184/21. LOTE: 30023098. DATA DE FABRICAÇÃO: 18/05/2021. LOTE TOTAL: 180.000 kg. QUARTEADOS: 19 SACOS.

Importado por DA VINCI BRASIL – CNPJ 02.374.212/0001-64.

O processo de amostragem, quarteamento e envio da amostra foi realizado pelo cliente.

2. SERVIÇOS REALIZADOS

Avaliação de conformidade dos requisitos de granulometria, aparência, defeitos, aderência, densidade, índice de refração e elementos tóxicos.

3. MÉTODOS UTILIZADOS

ABNT NBR 16184:2021 Sinalização horizontal viária – Esferas e microesferas de vidro – Requisitos e métodos de ensaio.

4. EQUIPAMENTOS

Quantificação dos analitos – Espectrometria de Emissão óptica com plasma indutivamente acoplado com configuração axial (ICP OES), conforme Manual de Instruções VISTA – PRO, Varian, 2000.

5. RESULTADOS

Parâmetro	Especificação	Resultados
Aparência (item 7.7)	Limpas, claras, redondas, incolores e isentas de matéria estranha	Atende especificação
Determinação de defeitos, (item 7.7) % unidades: - Quebradas, não fundidas e elementos estranhos - Fragmentos ovóides, deformados, germinados ou bolhas gasosas	Máximo 1 Máximo 10	0 6
Determinação da densidade de massa (item 7.9), g/cm ³	2,40 a 2,60	2,40
Índice de refração (item 7.8)	Mínimo 1,50	Maior que 1,50
Aderência (item 7.11)	Apresentar coloração castanha-esverdeada	Atende especificação

Análise granulométrica (Tabela 2 - item 7.5)		
% passando em massa		
N.º da peneira (abertura, µm)	Especificação	Resultados
18 (1000)	100	100
20 (850)	90 - 100	94
30 (600)	10 - 30	30
50 (300)	0 - 5	4

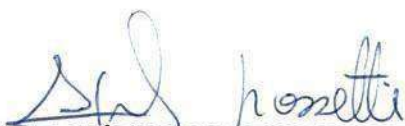
Verificação da presença de elementos tóxicos (item 7.12), mg/kg		
Parâmetros	Especificação	Resultados
Arsênio (As)	Máximo 200	< 50,0
Antimônio (Sb)		< 50,0
Chumbo (Pb)		< 50,0

< = menor que o limite de

6. DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE

O material, nos itens acima analisados, **ATENDE** aos critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 16184:2021, para microesfera tipo II-C.

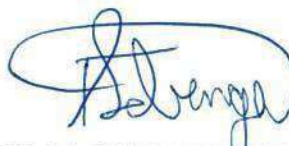
Curitiba, 07 de fevereiro de 2022.



SILVIA DE FÁTIMA MARTINS ROSSETTI

Técnica em Química, CRQ09400415

draco/storage-tec/235-ctm/2022. 02 LAUDOS



FÁBIO DA SILVA BARBOSA SCHVENGER

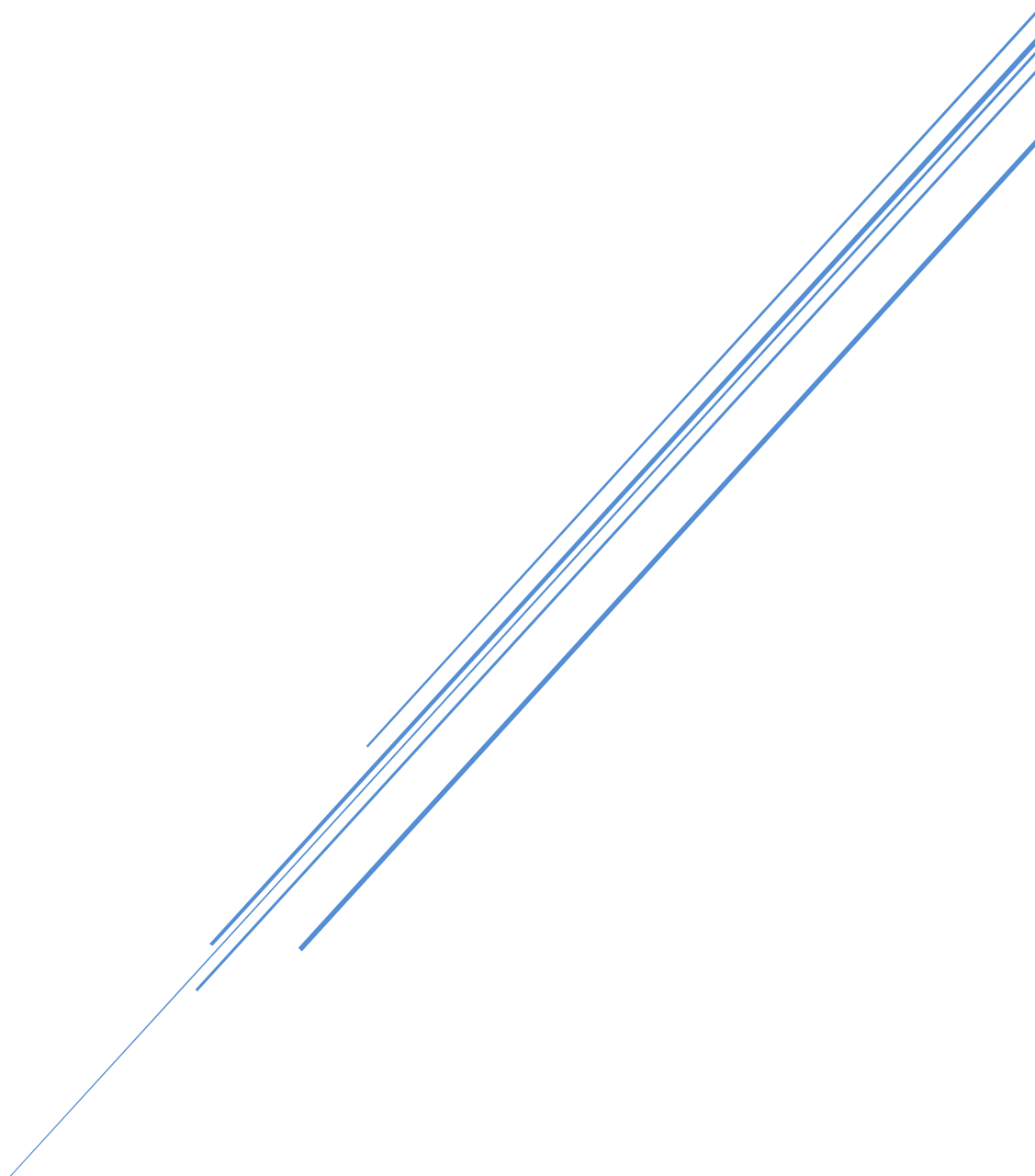
Eng. Ambiental e Sanitarista – CRQ. 09303369

Gerente Subst. do Centro de Tecnologia de Materiais

fim

ANEXO 18

MICROESFERAS PROMAX PARA PREFORMADO



PRODUCT INFORMATION

PROTEC BRIGHT REFLEX EXTRA A3200 AASHTO TYPE I

GLASS BEADS AASHTO TYPE I: 150-850 MICRONS NON COATED

1. PRODUCT IDENTIFICATION

PROTEC BRIGHT REFLEX EXTRA A3200 AASHTO TYPE I glass beads for road marking, fine grade. Reflective glass beads are especially made for use in road marking paints and thermoplastics to provide excellent night retro-reflectivity.

2. SPECIFICATIONS

Item	Standard
Specific gravity (g/cm ³)	2,4 - 2,6
Refractive index	≥1,5
Spherical beads (%)	>85

3. GRADATION

Sieve designation		Mass percent passing
<i>Standard, mm</i>	<i>Alternate No.</i>	<i>Type I</i>
1,18	16	100
0,850	20	95-100
0,600	30	75-95
0,425	40	—
0,300	50	15-35
0,180	80	—
0,150	100	0-5

4. PACKING

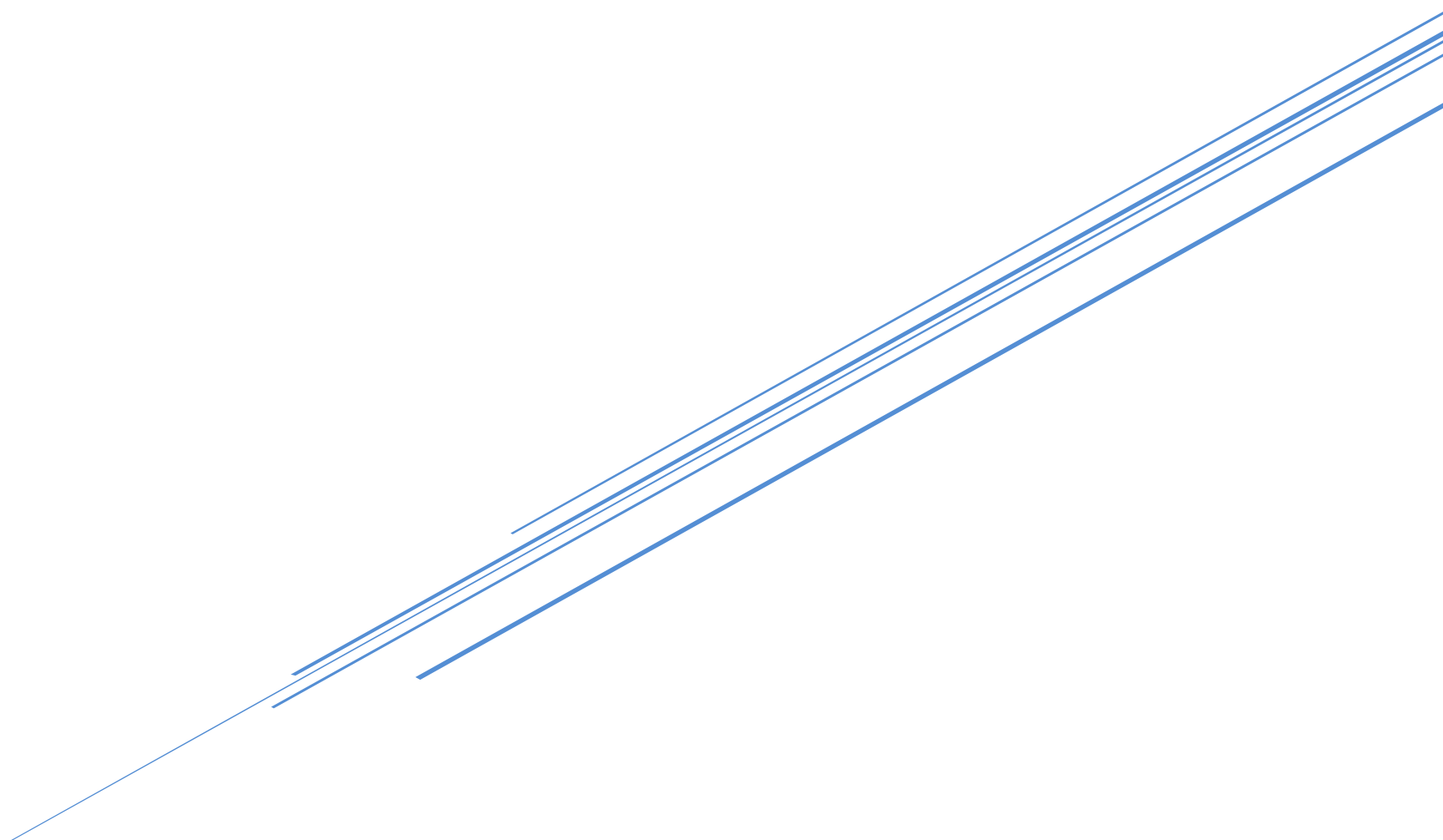
PROTEC BRIGHT REFLEX EXTRA A3200 AASHTO TYPE I is available in 25 kg bags in polyethylene with liner or paper bags with plastic liner. One ton super sack in polyethylene with plastic liner.

5. STORAGE

Keep bags and containers well closed. Avoid wet conditions.

ANEXO 19

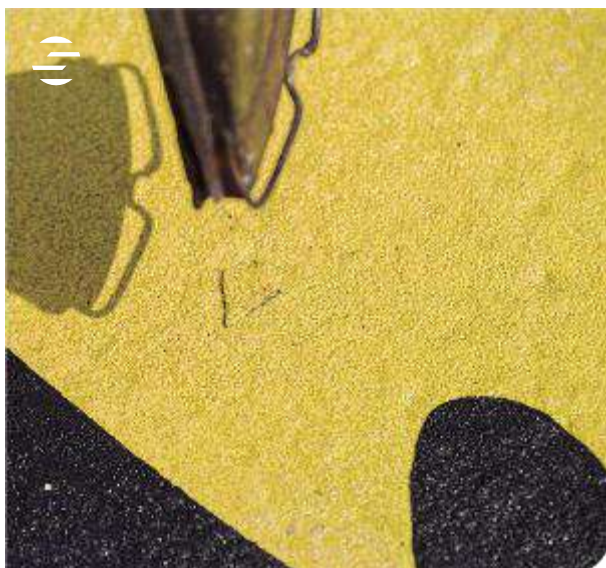
SERVIAM-TRIPTICOTHERMOMAT



Mayor vida útil



Reparaciones sin necesidad de reemplazar la señal completa



Materiales necesarios para colocación



Aplicación de THERMOMAT

Eficiencia & calidad



administración@serviam.com.uy
www.serviam.com.uy

Acerca de Thermomat

Thermomat es un material termoplástico preformado destinado a la demarcación horizontal. Con este material es posible desarrollar señales, líneas de marcación, diseños de formas y colores requeridos.

Su aplicación se realiza con calor y es posible asegurar una vida útil no menor a 2 años



En su formulación se adicionan microesferas, incorporadas y sembradas que otorgan alta reflectividad inicial y a lo largo de toda su vida útil.



Un producto eficaz y de excelente calidad

Este material es innovador y ofrece ventajas comparativas respecto a la pintura convencional.

Excelente visibilidad diurna y nocturna



Versatilidad en colores y diseño, buena definición



Buena resistencia al deslizamiento de tránsito pesado



Aplicación y enfriamiento en pocas horas

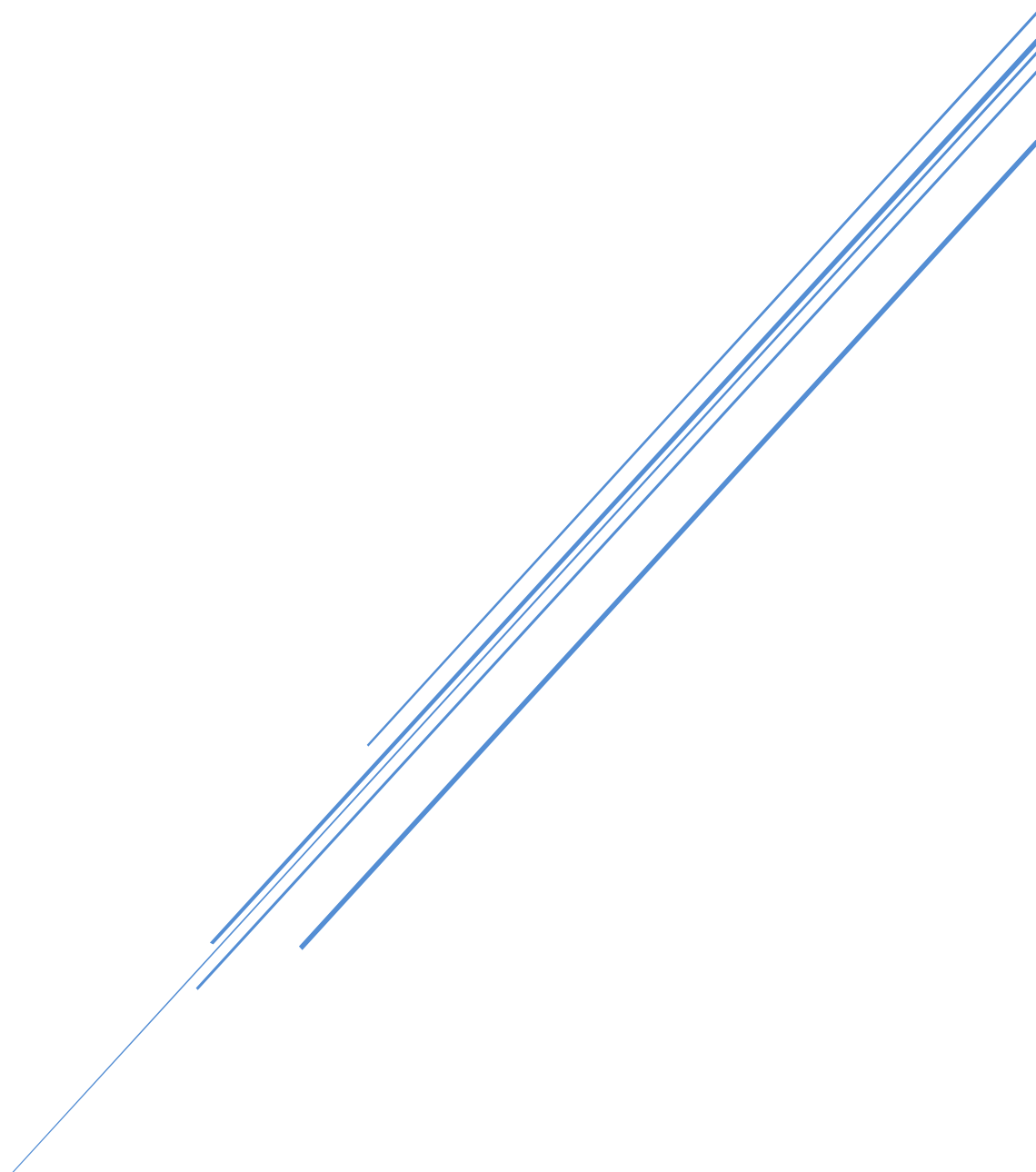


Fácil transporte del material e implementos de aplicación



ANEXO 20

IDENTIFICACION DEL PRODUCTO SWARCOFLEX



SWARCOFLEX acc. to AASHTO M247 Type I

TECHNICAL INFORMATION

Drop on | Reflective Glass Beads

PRODUCT SPECIFICATION

Our high-grade SWARCOFLEX standard glass beads achieve very good retro-reflective values. The product conforms to all national and international standards. Use in colored markings, in thermoplastic and thermal spray plastic; as well as in cold plastic and cold spray plastic.

SIEVING RANGE ACC. TO AASHTO M247

Beads Drop on blends

sieve size [µm]	accumulated retainment %
1180	0
850	0-5
600	5-25
300	65-85
150	95-100

PRODUCT INFORMATION

Size gradation	150-850µm
Refractive Index	≥ 1,5 Class A acc. to EN 1423
Roundness	≥ 80%
Bulk weight	~ 1,5 g/cm ³
Anti-skid material	-
Coating	H/T14
	H/T14 is a coating to improve adhesion to solvent-based paints and thermoplastics with high initial retroreflection values.
Hazardous substances acc. EN 1423	As, Pb, Sb - Class 1 (< 200 ppm)
Packaging	Paper bags of 25 kg net or Big Bags
Storage	Dry and sheltered; Can be stored for 24 months in the original container from date of delivery
Safety	Please read the Safety Data Sheet before using this product.

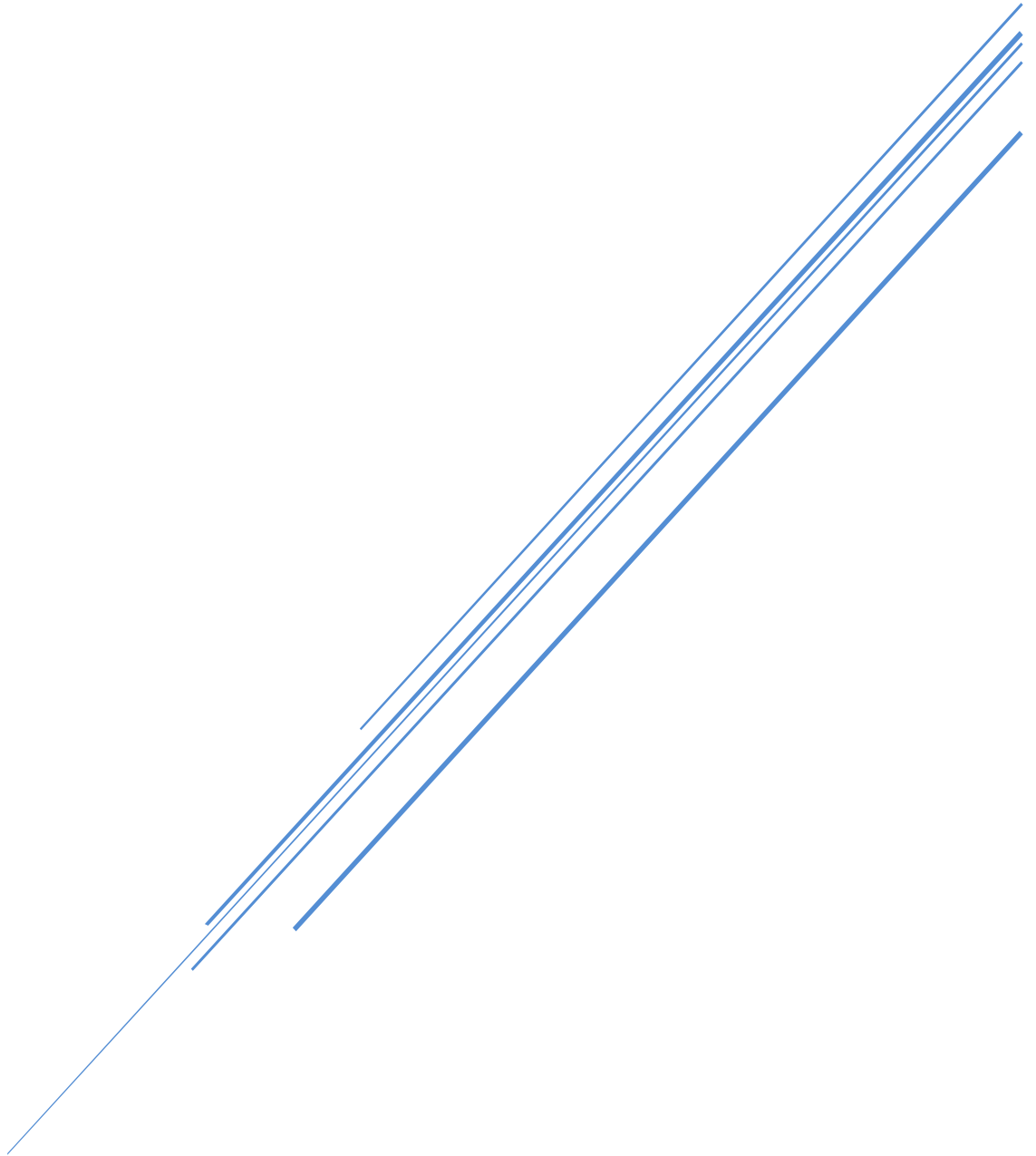
Important Information: Please consider our General Terms and Conditions and the general notes of the Technical Information Sheet! No liability is accepted for any errors! The information is provided to our best knowledge and experience. This information is, however, no warranty for any properties of the material. We provide this information without obligation, also regarding the rights of third parties. The user has to make sure that the material is appropriate for the respective application.

Date: 22.12.2020

Industriestrasse 10, 3300 Amstetten, Austria T.+43-7472-202-0, F. +43-7472-202-249, E. office.msa@swarco.com, www.swarco.com/rms

ANEXO 21

NORMA UNE EN 13036-4:2012 – equivalente Internacional NORMA
UNE 13036-4:2011



norma española

Febrero 2012

TÍTULO

Cara terísticas superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias

Métodos de ensayo

Parte 4: Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape

Ensayo del péndulo

Road and airfield surface characteristics. Test methods. Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface. The pendulum test.

Caractéristiques de surface des routes et aérodromes. Méthode d'essai. Partie 4: Méthode d'essai pour mesurer l'adhérence d'une surface. L'essai au pendule.

CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 13036-4:2011.

OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 13036-4:2004.

ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 41 *Construcción* cuya Secretaría desempeña AENOR.

Editada e impresa por AENOR
Depósito legal: M 5361:2012

© AENOR 2012

Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

AENOR Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6

info@aenor.es

Tel.: 902 102 201

35 Páginas

28004 MADRID-España

www.aenor.es

Fax: 913 104 032

Este documento ha sido adquirido por Carnales, Beatriz el 2024-5-8.
Para poder utilizarlo en un sistema de red interno, deberá disponer de la correspondiente licencia de AENOR

Versión en español

Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias
Métodos de ensayo
Parte 4: Método para la medición de la resistencia al deslizamiento/derrape
Ensayo del péndulo

Road and airfield surface characteristics.
Test methods. Part 4: Method for
measurement of slip/skid resistance of a
surface. The pendulum test.

Caractéristiques de surface des routes et
aérodromes. Méthode d'essai. Partie 4:
Méthode d'essai pour mesurer l'adhérence
d'une surface. L'essai au pendule.

Oberflächeneigenschaften von Straßen
und Flugplätzen. Prüfverfahren. Teil 4:
Verfahren zur Messung der Griffigkeit
von Oberflächen. Der Pendeltest.

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2011-07-29.

Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional. Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

CEN
COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation
Europäisches Komitee für Normung
CENTRO DE GESTIÓN: Avenue Marnix, 17-1000 Bruxelles

Este documento ha sido adquirido por Carnales, Beatriz el 2024-5-8.
Para poder utilizarlo en un sistema de red interno, deberá disponer de la correspondiente licencia de AENOR

ÍNDICE

	Página
PRÓLOGO	5
1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN	6
2 NORMAS PARA CONSULTA	6
3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES	6
4 SEGURIDAD	7
5 FUNDAMENTO DEL MÉTODO	7
6 EQUIPO DE ENSAYO	7
7 CALIBRACIÓN	13
8 OTROS ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO	14
9 MEDICIONES DE ENSAYO	14
9.1 Mediciones en campo	14
9.2 Mediciones en laboratorio	15
10 TOMA DE MUESTRAS EN CAMPO	15
11 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	16
12 CÁLCULOS	18
13 PRECISIÓN	19
14 INFORME DEL ENSAYO	19
ANEXO A (Normativo) VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL PÉNDULO DE FRICCIÓN	21
A.1 Validación del funcionamiento del péndulo de fricción	21
A.1.1 Generalidades	21
A.1.2 Procedimiento	22
A.1.3 Detección de errores	22
A.2 Preparación de un patín nuevo	23
A.2.1 Generalidades	23
A.2.2 Preparación de un patín nuevo	23
A.2.3 Nueva preparación de un patín utilizado	23
A.3 Calibración del péndulo de fricción	23
A.3.1 Generalidades	23
A.3.2 Verificación antes de la calibración	23
A.3.3 Comprobación/ajuste del centro de gravedad del brazo del péndulo y el conjunto del patín	25
A.3.4 Distancia del centro de gravedad hasta el centro de rotación	26
A.3.5 Comprobación/ajuste de la tensión efectiva del muelle	26
A.3.6 Comprobación/ajuste de las características fuerza-deflexión del patín	28
A.3.7 Comprobación/ajuste de la nivelación de la base	30
A.3.8 Calibración final	31
A.3.9 Informe de calibración y marcado (calibración externa)	31
ANEXO B (Informativo) DETALLES DE LAS ESCALAS	32
ANEXO C (Informativo) INFORME DE ENSAYO TÍPICO	34
BIBLIOGRAFÍA	35

PRÓLOGO

Esta Norma EN 13036-4:2011 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 227 *Materiales para la ejecución de carreteras*, cuya Secretaría desempeña DIN.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a ella o mediante ratificación antes de finales de febrero de 2012, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de febrero de 2012.

Se llama la atención sobre la posibilidad de que algunos de los elementos de este documento estén sujetos a derechos de patente. CEN y/o CENELEC no es(son) responsable(s) de la identificación de dichos derechos de patente.

Esta norma anula y sustituye a la Norma EN 13036-4:2003.

Esta norma europea forma parte de la serie de normas indicada a continuación:

- EN 13036-1 *Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Métodos de ensayo. Parte 1: Medición de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el método volumétrico.*
- CEN/TS 13036-2 *Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Métodos de ensayo. Parte 2: Evaluación de la adherencia de la superficie de la carretera mediante sistemas de medida dinámicos.*
- EN 13036-3 *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 3: Medida de la drenabilidad horizontal de la superficie del pavimento.*
- EN 13036-4 *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 4: Método para medir la resistencia al deslizamiento/derrape de una superficie. Ensayo del péndulo.*
- prEN 13036-5 *Características superficiales de carreteras y aeropuertos. Métodos de ensayo. Parte 5: Definición y cálculo de los índices de regularidad longitudinal.*
- EN 13036-6 *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 6: Medición de los perfiles transversales y longitudinales en las longitudes de onda de la regularidad superficial y la megatextura.*
- EN 13036-7 *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 7: Medición de las deformaciones localizadas de capas de rodadura de calzadas. Ensayo de la regla.*
- EN 13036-8 *Características superficiales de carreteras y superficies aeroportuarias. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación de los índices de regularidad superficial transversal.*

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Rumanía, Suecia y Suiza.

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma europea describe un método para determinar la resistencia al deslizamiento/derrape de una superficie, utilizando un dispositivo que permanece estacionario en la zona del ensayo. La resistencia al deslizamiento/derrape se mide por medio de un patín montado en el extremo de un brazo pendular.

El método proporciona una medida de las propiedades de resistencia al deslizamiento/derrape de una superficie, tanto si el ensayo se realiza en campo como si se realiza en laboratorio.

Este método mide la resistencia al deslizamiento/derrape de una pequeña área de una superficie (aproximadamente 0,01 m²). Esto se debería tener en consideración cuando se decida su aplicabilidad en una superficie cuyas características superficiales no sean homogéneas, por ejemplo, que tenga resaltos o ranuras, o que sea de textura rugosa (que exceda de 1,2 mm de profundidad media de textura).

NOTA Como los resultados de este ensayo corresponden a un área pequeña, no se pueden comparar con los resultados obtenidos con otros dispositivos, por ejemplo, dispositivos móviles, que midan la resistencia al deslizamiento/derrape en una longitud grande de una superficie.

2 NORMAS PARA CONSULTA

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

EN 1097-8 *Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 8: Determinación del coeficiente de pulimento acelerado.*

ISO 48 *Elastómeros, vulcanizados o termoplásticos. Determinación de la dureza (dureza entre 10 IRHD y 100 IRHD).*

ISO 4662 *Caucho vulcanizado o termoplástico. Determinación de la resiliencia por rebote.*

ISO 7619-1 *Caucho vulcanizado o termoplástico. Determinación de la dureza de indentación. Parte 1: Método del durómetro (dureza Shore).*

ISO 7619-2 *Caucho vulcanizado o termoplástico. Determinación de la dureza a la penetración (IRHD) por medio del medidor de dureza portátil.*

3 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los fines de este documento, se aplican los términos y definiciones siguientes:

3.1 resistencia al deslizamiento/derrape:

Propiedad de una superficie sometida a tráfico que limita el movimiento relativo entre la huella de contacto del calzado del peatón o de un neumático de vehículo y la superficie.

NOTA 1 La pérdida de resistencia al deslizamiento/derrape conlleva la pérdida de control por el peatón o por el conductor, con el consecuente incremento en el riesgo de accidente o caída.

NOTA 2 Los factores que contribuyen a la resistencia al deslizamiento son numerosos e incluyen la presión del neumático, el área de contacto, el dibujo y la composición del caucho del neumático o de la suela del zapato; el trazado, la textura y las características de rozamiento de la superficie; la velocidad del vehículo; las condiciones meteorológicas, es decir tiempo húmedo o seco, y la existencia de contaminación de la superficie.

NOTA 3 La resistencia al deslizamiento/derrape no es constante ya que varía con el clima y el tráfico, y el efecto de estos factores en las características del propio material de la superficie.

3.2 rozamiento:

Resistencia al movimiento relativo entre dos cuerpos en contacto. La fuerza de rozamiento (o fricción) es la fuerza que actúa de forma tangencial en el área de contacto.

3.3 valor del ensayo del péndulo (PTV):

Pérdida de energía que se produce cuando el conjunto del patín recubierto de caucho normalizado se desliza a lo largo de la superficie de ensayo, y que proporciona un valor normalizado de la resistencia al deslizamiento/derrape.

3.4 ensayo:

Procedimiento para determinar el valor del ensayo del péndulo en un solo punto o en una única muestra en laboratorio. En campo será necesario llevar a cabo varios ensayos para determinar la resistencia al deslizamiento/derrape de una zona.

4 SEGURIDAD

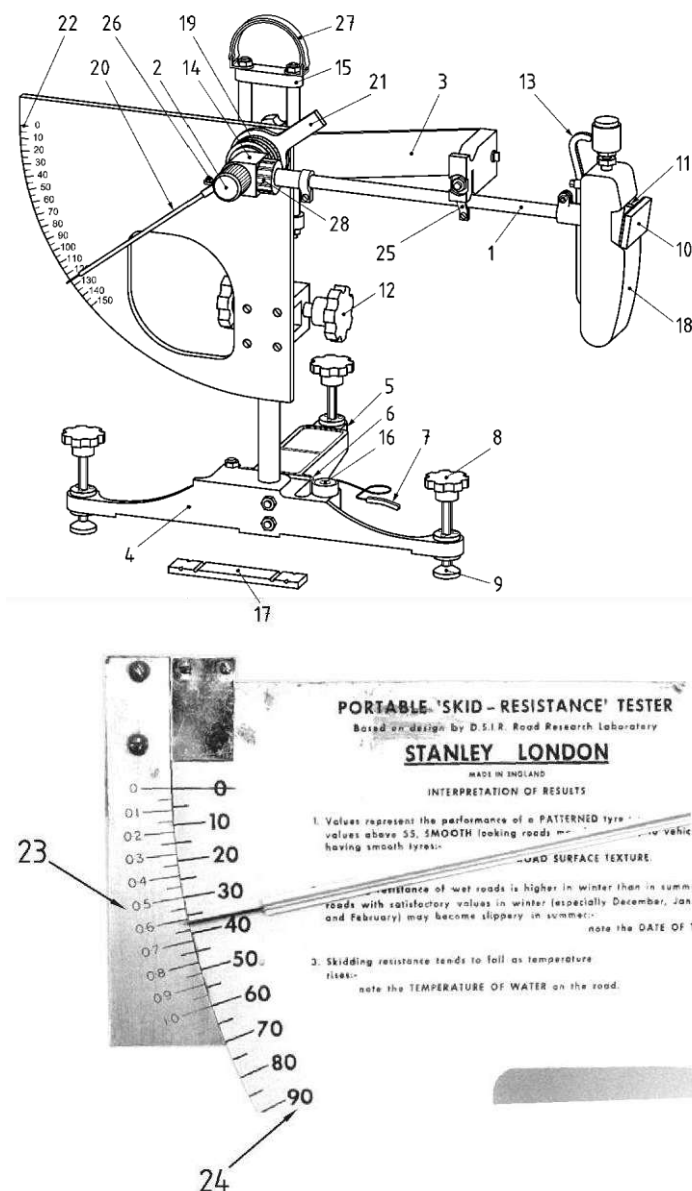
Cuando el ensayo se realiza en campo, el equipo y el operador forman un obstáculo estacionario. Se deben tomar las adecuadas medidas de seguridad con objeto de mantener una zona de trabajo segura, de acuerdo con la reglamentación en vigor.

5 FUNDAMENTO DEL MÉTODO

El péndulo de fricción lleva incorporado un patín, presionado por un muelle, que está compuesto de un caucho normalizado sujeto al extremo de un péndulo. Al soltar el péndulo desde la posición horizontal, la pérdida de energía conforme el patín pasa sobre la superficie de ensayo, se mide por la disminución en longitud de la oscilación hacia arriba por medio de una escala graduada.

6 EQUIPO DE ENSAYO

6.1 El péndulo de fricción debe estar dotado con los dispositivos imprescindibles que se indican a continuación y que muestra la figura 1:



Leyenda

- | | |
|---|--|
| 1 Brazo de péndulo | 15 Abrazadera para el ajuste vertical |
| 2 Marca (en el centro de rotación) | 16 Nivel de burbuja |
| 3 Mecanismo de disparo (pulsador) | 17 Regla (véase la figura 2) |
| 4 Base del aparato | 18 Pie del péndulo |
| 5 Pie de apoyo posterior | 19 Arandela de rozamiento (incluyendo tuerca de bloqueo) |
| 6 Tornillo del pie posterior | 20 Aguja indicadora |
| 7 Cuña para el ajuste aproximado de la longitud de deslizamiento (opcional) | 21 Contrapeso de la aguja indicadora |
| 8 Tornillo de nivelación | 22 Panel de escalas de medida |
| 9 Placa de apoyo (articulada, opcional) | 23 Escala de medida F |
| 10 Patín de caucho | 24 Escala de medida C |
| 11 Pivote de soporte para el patín de caucho | 25 Enganche del mecanismo de bloqueo y desbloqueo |
| 12 Tornillo vertical (para el ajuste vertical) | 26 Tornillo prisionero de la aguja indicadora (para la calibración: tornillo de ajuste de la aguja indicadora) |
| 13 Palanca de elevación del patín | 27 Manillar |
| 14 Cabeza del péndulo | 28 Tuerca de bloqueo |

Cada péndulo de fricción puede tener una configuración o aspecto ligeramente distintos.

Figura 1 – Péndulo de fricción

6.1.1 Un patín accionado mediante un muelle, como se especifica en el apartado 6.3 (patín ancho) y 6.4 (patín estrecho). El patín debe estar montado en el extremo de un brazo de péndulo, de manera que el borde de deslizamiento esté a (514 ± 6) mm del eje de rotación.

6.1.2 Un dispositivo para el ajuste de la columna de soporte del equipo en posición vertical.

NOTA Habitualmente se utilizan tres tornillos de ajuste conjuntamente con un nivel de burbuja, con una precisión de 4' sexagesimales ($0,06^\circ$) o 1 a 1 000. Sin embargo, se puede emplear un nivel de burbuja magnético de ingeniero con una precisión nominal de 62" sexagesimales sobre la columna vertical.

6.1.3 Una base que tenga el peso suficiente para asegurar que el equipo permanezca estable durante el ensayo.

NOTA Una masa de la base de 3,5 kg se considera apropiada.

6.1.4 Un sistema para elevar y bajar el eje de suspensión del brazo del péndulo, de forma que el patín pueda:

- oscilar libremente sobre la superficie de la probeta, y
- ser ajustado para recorrer una superficie que tenga una longitud fija de (126 ± 1) mm. Se requiere una regla de medir que marque esta distancia, como muestra la figura 2.

NOTA La longitud de deslizamiento puede medirse sobre la superficie empleando una regla biselada 126. Como alternativa, para establecer la longitud de deslizamiento se puede utilizar una regla 124 con espesor de $(8 \pm 0,2)$ mm, con unas marcas apropiadas que coincidan con el soporte de aluminio, como se muestra en la figura 2.

Medidas en milímetros

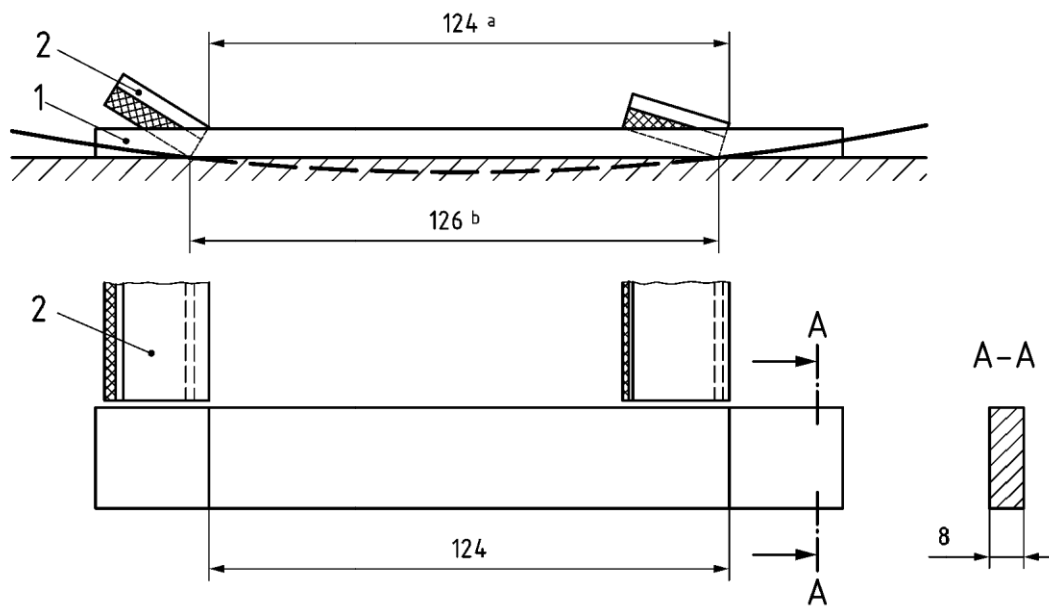


Figura 2a

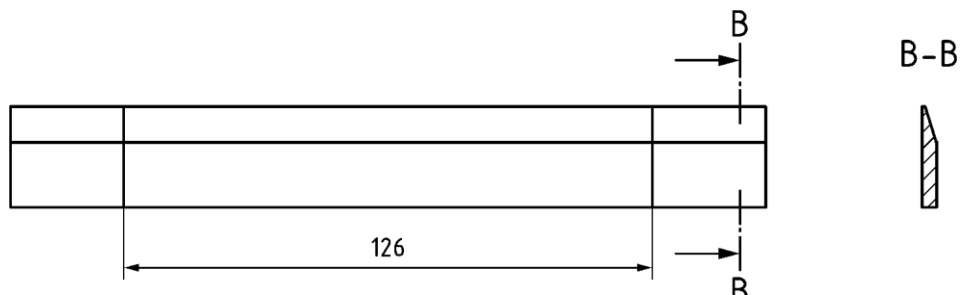


Figura 2b

Leyenda

- 1 Regla
- 2 Patín
- a Longitud de deslizamiento medida
- b Longitud de deslizamiento real

Figura 2 – Reglas para medir la longitud de deslizamiento

6.1.5 Un sistema para bloquear y desbloquear el brazo del péndulo, de forma que caiga libremente desde una posición horizontal.

6.1.6 Una aguja indicadora de 300 mm de longitud nominal, equilibrada respecto a su centro de suspensión, que indique la posición del brazo del péndulo durante todo su recorrido hacia delante y que se mueva sobre una escala graduada circular (escala de unidades de medida). La masa de la aguja indicadora no debe superar 85 g.

6.1.7 El rozamiento en el mecanismo de la aguja indicadora debe ser regulable para que, con el brazo del péndulo oscilando libremente desde la posición horizontal, la punta exterior de la aguja indicadora pueda descansar, durante el recorrido hacia delante del brazo, en un punto situado a (10 ± 1) mm por debajo de la horizontal. Este punto corresponde al de lectura cero.

6.1.8 Una escala circular (escala C), como se describe en la tabla B.1, calibrada para una longitud nominal de deslizamiento de 126 mm en una superficie plana, marcada desde 0 hasta 150, en intervalos de cinco unidades. Los ensayos realizados de este modo de operación dan directamente el valor del ensayo del péndulo.

6.1.9 También se puede disponer de una escala circular (escala F), como se describe en la tabla B.2, calibrada para una longitud nominal de deslizamiento de 76 mm sobre una superficie plana, marcada del 0 al 1 en intervalos de 0,05 unidades. Esta escala se utiliza para diversos ensayos de laboratorio, como se describe en las normas pertinentes. El valor del ensayo del péndulo se puede estimar mediante cálculo.

NOTA La Norma EN 1097-8 emplea el patín estrecho y la longitud de deslizamiento de (76 ± 1) mm.

6.1.10 Todos los cojinetes y piezas móviles deben estar lo más resguardados que se pueda, y todos los materiales utilizados deben estar tratados para evitar la corrosión en condiciones de humedad.

6.2 La masa del brazo del péndulo, incluido el conjunto del patín, debe ser $(1,50 \pm 0,03)$ kg. El centro de gravedad debe estar sobre el eje del brazo, a una distancia de (410 ± 5) mm del eje de rotación.

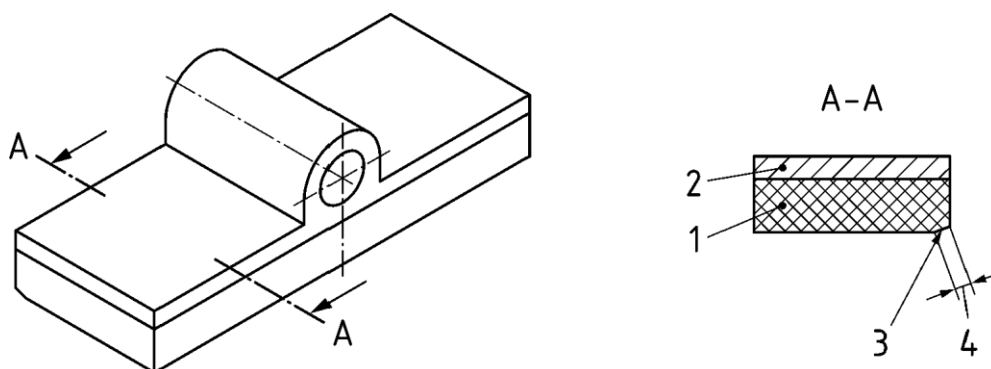
6.3 El conjunto del patín ancho (véase la figura 3) debe estar formado por un patín de caucho de $(76,2 \pm 0,50)$ mm de anchura, $(25,4 \pm 1,0)$ mm de longitud (en la dirección de la oscilación) y $(6,35 \pm 0,50)$ mm de espesor, y por una placa de soporte de aluminio. La masa total del conjunto del patín debe ser (32 ± 5) g.

6.4 El conjunto del patín estrecho debe estar formado por un patín de caucho de $(31,75 \pm 0,50)$ mm de anchura, $(25,4 \pm 1,0)$ mm de longitud (en la dirección de la oscilación) y $(6,35 \pm 0,50)$ mm de espesor, y por un soporte de aluminio. La masa total del conjunto del patín debe ser (20 ± 5) g.

6.5 El caucho del patín debe estar adherido al soporte de aluminio mediante vulcanizado o mediante un adhesivo que no afecte a las propiedades del caucho. El espesor del patín de caucho, incluyendo el soporte de aluminio, debe estar entre 9,5 mm y 10,0 mm.

6.6 El patín debe tener un eje pivotante central que debe estar montado en el extremo del brazo del péndulo de manera que, cuando el brazo esté en el punto más bajo de su recorrido con el borde posterior del caucho del patín en contacto con la superficie de ensayo, el plano del patín esté formando un ángulo de $(26 \pm 3)^\circ$ con respecto a la horizontal. En esta configuración, el patín puede girar sobre su eje sin ninguna obstrucción para seguir la irregularidad de la superficie de ensayo mientras el péndulo oscila.

6.7 El caucho del patín debe estar presionado mediante un muelle contra la superficie de ensayo. La fuerza estática nominal sobre el patín, ajustada según el procedimiento de calibración del equipo, debe ser $(22,2 \pm 0,5)$ N cuando la deflexión sea 4,5 mm, medida en posición vertical inversa (véase A.3.5). El cambio de la fuerza estática sobre el patín no debe ser superior a 0,2 N/mm de deflexión del patín (véase A.3.6).



Leyenda

- 1 Patín de caucho
- 2 Placa de soporte de aluminio
- 3 Borde de contacto
- 4 Anchura del desgaste del borde

Figura 3 – Conjunto del patín (en 3D y en perfil) mostrando el desgaste en el borde de contacto

6.8 Se pueden emplear dos tipos distintos de caucho para los patines. Los patines se denominan según la dureza del caucho, patín 57 y patín 96. La resiliencia inicial se debe medir conforme a la Norma ISO 4662 (empleando el martillo de rebote de Lüpke); y la dureza del (compuesto de) caucho del patín se debe medir respecto al grado internacional de dureza del caucho, IRHD (International Hardness Rubber Degrees), conforme a las Normas ISO 48 e ISO 7619-2 y la dureza del caucho adherido al soporte de aluminio se debe medir mediante el método del durómetro (dureza Shore A) conforme la Norma ISO 7619-1. Los ensayos se deben llevar a cabo sobre muestras del mismo lote que el patín en cuestión. Los resultados deben cumplir con los valores que figuran en la tabla 1 para el patín 57 y la tabla 2 para el patín 96. El fabricante debe declarar la resiliencia medida sobre el patín, los valores medidos del IRHD y los valores de la dureza Shore A obtenidos en el patín.

6.9 Se debe comprobar la dureza del patín, empleando un durómetro Shore A conforme la Norma ISO 7619-1, en el momento de recepción del fabricante y al menos una vez al año. La dureza Shore A de un patín nuevo no debe variar más de 3 unidades del valor declarado por el fabricante. Se debe desechar el patín cuando el valor de la dureza Shore A difiera en más de 2 unidades de la medida obtenida en el momento de su recepción del fabricante.

NOTA 1 Habitualmente se utiliza el patín 57 para superficies sometidas a tráfico de vehículos. Se puede requerir el patín 96, que tiene un caucho más duro, para las superficies peatonales, como se detalla en las normas pertinentes.

Tabla 1 – Propiedades del patín 57

Propiedad	Temperatura °C				
	0	10	23	30	40
Resiliencia, %	43 a 49	58 a 65	66 a 73	71 a 77	74 a 79
Dureza, IRHD	55 a 61				

Tabla 2 – Propiedades del patín 96

Propiedad	Temperatura °C		
	5	23	40
Resiliencia, %	19 a 23	21 a 26	26 a 30
Dureza, IRHD	94 a 98		

NOTA 2 Los patines 57 son suministrados por el Instituto Federal para la Investigación y Ensayos de Materiales (BAM) [Unter den Eichen 87, 12205 Berlín, Alemania, teléfono: +49 30 8104 2358, fax: +49 30 8104 2147, email: webshop@bam.de, página web: www.webshop.bam.de] y por Smithers Rapra Technology LTD [Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR Reino Unido, teléfono: +44 (0)1939 250383, fax: +44 (0) 1939 251118, email: info@rapra.net, página web: www.rapra.net]. Esta información se facilita para la comodidad de los usuarios de esta norma y no implica una recomendación del CEN del producto citado. Se pueden utilizar productos equivalentes, si se puede demostrar que producen los mismos resultados.

NOTA 3 Los patines 96 son suministrados por Smithers Rapra Technology LTD [Shawbury, Shrewsbury, Shropshire, SY4 4NR Reino Unido, teléfono: +44 (0)1939 250383, fax: +44 (0) 1939 251118, email: info@rapra.net, página web: www.rapra.net]. Esta información se facilita para la comodidad de los usuarios de esta norma y no implica una recomendación del CEN del producto citado. Se pueden utilizar productos equivalentes, si se puede demostrar que producen los mismos resultados.

6.10 El patín debe tener un certificado de conformidad que incluya el nombre del fabricante, la fecha de producción y los valores obtenidos de la resiliencia y la dureza (IRHD y Shore A).

6.11 Los bordes del caucho del patín deben formar un ángulo recto y estar cortados limpiamente. El caucho debe estar exento de contaminación debida, por ejemplo, a polvo, abrasivos o aceite.

6.12 Antes de utilizar un patín de caucho nuevo, el caucho se debe acondicionar para que el borde de contacto tenga una anchura mínima como la que se muestra en la figura 3. Después del procedimiento de acondicionamiento esta anchura suele ser mayor de 1 mm.

6.13 Esto se puede conseguir empleando el péndulo y realizando suficientes oscilaciones en condiciones húmedas y secas, como se describe en el capítulo A.2.

6.14 El borde de contacto del caucho se debe rechazar cuando el grosor del borde de contacto supere 2,5 mm en el caso del patín 57 y 3 mm en el caso del patín 96, o cuando comience a presentar excesivos arañazos o rebabas. El borde desgastado debe deformarse convenientemente para asegurar que no se vuelva a utilizar, y el otro borde largo del patín se debe adoptar como nuevo borde de contacto. Cuando la anchura de este borde también supere 2,5 mm o 3 mm, respectivamente, o cuando presente arañazos o rebabas excesivas, se debe rechazar el patín.

6.15 El conjunto del patín se debe almacenar en una bolsa seca estanca al agua, en la oscuridad y a una temperatura de (10 ± 5) °C. Cuando se utilice, el conjunto del patín debe estar a la temperatura ambiente.

7 CALIBRACIÓN

7.1 El aparato se debe calibrar tras su fabricación y recalibrar, al menos, una vez al año y cuando la verificación muestre una no conformidad. La calibración debe realizarla un organismo de calibración aprobado o formar parte del sistema de aseguramiento de la calidad certificado de la organización.

7.2 En el capítulo A.3 se describe el procedimiento de calibración.

7.3 El procedimiento de calibración debe incluir al menos tres superficies de referencia que cubran el rango de trabajo del péndulo.

7.4 Además, antes y después del uso del aparato para los ensayos se debe realizar el procedimiento de validación descrito en el anexo A.

NOTA En este contexto, el uso del aparato para realizar ensayos se define como las mediciones consecutivas que se llevan a cabo durante una serie de ensayos en un día.

8 OTROS ELEMENTOS NECESARIOS PARA EL ENSAYO

8.1 Un recipiente con una cantidad suficiente de agua limpia para mojar la superficie de ensayo y el patín para todos los ensayos requeridos. Puede ser necesario un recipiente adicional.

8.2 Termómetro de radiación (pirómetro), o termómetro electrónico con una sonda de superficie, que tenga una precisión de $\pm 0,5$ °C.

8.3 Nivel de burbuja de aire que tenga, al menos, 1 m de longitud y cinta métrica de acero, graduada en milímetros.

8.4 Un cepillo de mano duro cuyas cerdas no sean metálicas, para limpiar la superficie (si es necesario).

8.5 Un anemómetro portátil que tenga una precisión de 2 m/s para uso en campo (opcional).

9 MEDICIONES DE ENSAYO

9.1 Mediciones en campo

9.1.1 La superficie se debe cepillar de forma que esté exenta de partículas sueltas y limpiar con agua, a menos que el ensayo pretenda tener en cuenta la contaminación de la superficie.

9.1.2 El péndulo de fricción se coloca sobre una superficie firme, de forma que la oscilación del péndulo se realice en la dirección del tráfico. La pendiente de la superficie no debe ser superior al 10%. Cuando esto no sea posible, el ensayo se puede realizar con cualquier ángulo respecto a la dirección del tráfico que permita que se satisfaga el criterio para la pendiente. En superficies que presenten un dibujo regular, tales como hormigón estriado o cepillado, asfalto ranurado o adoquines, los ensayos se deberían llevar a cabo de modo que la trayectoria del patín forme un ángulo de aproximadamente 80 grados con respecto a los resaltos, ranuras o juntas del pavimento.

9.1.3 Se mide y se anota la temperatura de la superficie de ensayo y la del patín, redondeando al número entero más próximo. Si la temperatura de la superficie mojada y/o del patín está fuera del rango de 5 °C a 40 °C, el ensayo no se puede realizar.

9.1.4 Se mide y se anota la temperatura del agua para mojar la superficie, considerando el número entero más próximo. Si la temperatura del agua difiere en más de 15 °C de la temperatura del aire, el ensayo no se puede llevar a cabo.

9.1.5 Siempre que se pueda, las lecturas se deben tomar sobre la escala C utilizando el patín ancho. De esta manera el valor del ensayo del péndulo se determina directamente. En superficies que no sean homogéneas, donde sólo se pueda conseguir una superficie de ensayo plana de tamaño suficiente para el patín estrecho, la lectura se puede obtener sobre la escala F. Por medio de cálculos se puede obtener una estimación del valor del ensayo del péndulo (véase también la NOTA 1 del apartado 12.5).

9.2 Mediciones en laboratorio

9.2.1 Las probetas planas de laboratorio deben tener unas dimensiones mínimas de al menos 100 mm × 150 mm. En el caso en que las probetas inicialmente sean más pequeñas, se pueden cortar y pegar en un panel de soporte para obtener una superficie suficientemente grande para la ejecución del ensayo. Las probetas curvas utilizadas para el ensayo del coeficiente de pulimento acelerado deben tener una superficie de ensayo que sea conforme con lo descrito en la Norma EN 1097-8.

9.2.2 Según se requiera, se debe seleccionar el conjunto de patín apropiado, con el patín 57 o el patín 96.

9.2.3 Para cortar las probetas de una superficie se debe utilizar un método de corte o de extracción de testigos que no produzca daños en la superficie a ensayar.

9.2.4 Las probetas fabricadas en laboratorio deben tener en su superficie la textura y el tipo de material que se especifican en las normas europeas correspondientes o como se detalle específicamente.

NOTA Las probetas se pueden ensayar según se extraen del emplazamiento, como se preparan en laboratorio (sin pulir), o después de un proceso de pulido.

9.2.5 Las probetas de laboratorio deben estar limpias y exentas de contaminación o de partículas sueltas, y se deben fijar sólidamente de forma que no se muevan durante la realización del ensayo.

9.2.6 El agua para mojar la superficie, el péndulo de fricción, y el patín se deben conservar en una habitación con temperatura controlada a (20 ± 2) °C, al menos durante dos horas antes de comenzar el ensayo y durante la ejecución del mismo.

9.2.7 Los ensayos de laboratorio se deben realizar con probetas que hayan estado mantenidas durante 30 minutos, como mínimo, a una temperatura de (20 ± 2) °C antes del ensayo y durante la ejecución del mismo.

10 TOMA DE MUESTRAS EN CAMPO

10.1 La resistencia al deslizamiento/derrape de algunos materiales varía considerablemente a lo largo de un perfil transversal/longitudinal de la superficie. Los ensayos se deben realizar en el área que esté transitada más intensamente, por ejemplo en la rodada de la carretera, aunque también puede ser necesario ensayar otras áreas.

10.2 La localización y frecuencia de los ensayos se deben seleccionar de forma que sean representativos de la parte pertinente de la superficie o de los materiales de la superficie que se van a ensayar.

NOTA 1 Puede ser necesario un plan de muestreo que detalle donde se deberían realizar los ensayos o, a posteriori, donde se han realizado.

NOTA 2 El objeto y campo de aplicación de esta norma excluye superficies con resaltos o ranuras, por ejemplo pavimentos táctiles o con una profundidad de textura muy alta que puede detener el movimiento del péndulo y dar resultados erróneos.

NOTA 3 En las superficies porosas, donde el agua drene muy rápidamente, puede ser difícil aplicar y retener agua suficiente sobre la superficie para asegurar que el caucho del patín cruce una superficie húmeda desde el principio hasta el final de la longitud recorrida por el péndulo. Si esto no fuera posible, el ensayo dará resultados erróneos.

10.3 Se deben seleccionar al menos tres áreas de ensayo. Éstas se deben medir a una distancia de no más de 400 mm la una de la otra, a fin de obtener un valor medio para cada zona. El número de muestras necesarias para obtener el valor del ensayo del péndulo de una zona dependerá de la variabilidad de la superficie.

11 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

11.1 El péndulo de fricción se debe transportar en la caja suministrada con el equipo. Se comprueba visualmente que el equipo ha sido montado correctamente y que no existe ningún daño aparente que requiera reparación antes de su uso. Se hace oscilar el brazo del péndulo para constatar cualquier defecto mecánico aparente. Antes y después de los ensayos, se debe validar el correcto funcionamiento del péndulo según el capítulo A.1.

11.2 Se debe seleccionar el conjunto del patín pertinente, bien con el patín 57 o el 96, según se requiera.

11.3 Se comprueba que el caucho del patín satisface los requisitos de los apartados 6.11, 6.12, 6.14 y 6.15 antes de comenzar los trabajos.

NOTA Si el conjunto del patín se está utilizando sobre una superficie contaminada, el resultado del ensayo puede verse afectado. El caucho del patín se debería volver a acondicionar llevando a cabo tres oscilaciones sobre la superficie acondicionada en húmedo como se describe en el capítulo A.1.

11.4 En campo, se comprueba la temperatura de la superficie mojada en cada área de ensayo. Si se utiliza un pirómetro para medir la superficie del patín, éste se debe orientar perpendicularmente a la dirección de superficie.

11.5 Se coloca el péndulo encima de la superficie a ensayar de manera que el péndulo pase por encima del área objeto de estudio. Cuando se utilice en laboratorio, se instala el péndulo sobre una superficie rígida que incluya los utensilios adecuados para sujetar las probetas horizontalmente y apoyarlas firmemente. Los pies ajustables en combinación con el nivel de burbuja se utilizan para asegurar que la base del equipo esté en posición horizontal. Es importante que la burbuja esté exactamente en el centro del nivel de burbuja.

11.6 Se levanta el eje de suspensión del péndulo para que el brazo oscile libremente y se ajusta el rozamiento en el mecanismo de la aguja indicadora para que, cuando se libere el brazo del péndulo y la aguja indicadora desde la posición horizontal, la aguja indicadora se detenga en el cero de la escala de ensayo. Se repite este procedimiento dos veces más. Si la aguja indicadora sobrepasa el valor de cero, se aprietan un poco más las arandelas. Si la aguja indicadora no llega al cero, las arandelas se aflojan un poco. Se comprueba que la tuerca de bloqueo esté apretada antes del uso del péndulo.

NOTA 1 Si se produce cualquier movimiento entre los pies del péndulo y la superficie del ensayo durante una oscilación completa del brazo del péndulo, se deberían colocar pesos sobre el pie posterior (se asegura que la base se mantiene horizontal), o se deberían colocar alfombrillas antideslizantes debajo de los pies del péndulo.

NOTA 2 La comprobación requerida por el apartado 11.6 asegura que el equipo de medición aún continúa funcionando correctamente. Este ajuste es necesario cuando el equipo de medición se utiliza bajo condiciones de temperatura diferentes.

NOTA 3 En campo se pueden presentar algunas dificultades cuando existan vientos fuertes, de más de 10 m/s, en cuyo caso el ensayo se podría cancelar. Puede ser necesario apantallar el péndulo para protegerlo contra las ráfagas originadas por el tráfico de vehículos.

11.7 La altura del brazo del péndulo se ajusta de forma que el patín de caucho, al pasar sobre la superficie, esté en contacto con ella en toda la anchura del patín y en toda la longitud de deslizamiento mencionada a continuación, utilizando el procedimiento descrito en el apartado 11.8. Se debe utilizar una regla pre-marcada como la mostrada en la figura 2. Se moja la superficie del ensayo y el patín con abundante agua.

11.8 Se fija la longitud de deslizamiento del patín (la distancia entre los dos puntos donde el borde del caucho toca la superficie de ensayo) bajando suavemente el brazo del péndulo, mientras se acciona el tornillo vertical (véase la figura 1) después de soltar la cabeza del péndulo, hasta que el patín justo toque con la superficie de ensayo, primero a un lado y luego al otro lado de la vertical. La longitud de deslizamiento debe estar entre (126 ± 1) mm para el patín ancho y (76 ± 1) mm para el patín estrecho. Esto se consigue normalmente con una serie de pequeños ajustes, utilizando una de las reglas mostradas en la figura 2 para la longitud de deslizamiento de 126 mm o una escala especial para el patín estrecho con una longitud de deslizamiento de 76 mm.

11.8.1 Se desplaza el pie del péndulo hacia la derecha y se baja el brazo para que el patín empiece a tocar la superficie de ensayo con la esquina trasera (soporte de aluminio) nivelado con la marca en el extremo derecho de la regla. Se sujeta manualmente la regla en esta posición.

11.8.2 Se sube el patín con la palanca y se mueve el pie del péndulo hacia la izquierda lo suficiente para que cuando se suelte la palanca, el patín no toque la superficie.

11.8.3 Se deja retroceder suavemente el pie del péndulo para que el patín toque la superficie de ensayo.

11.8.4 El borde trasero del soporte del patín debe coincidir con la marca izquierda en la regla. Si éste no es el caso, se sube o se baja el eje del péndulo para que el patín recorra aproximadamente el 50% de la distancia hasta la configuración correcta.

11.8.5 Se vuelve a fijar la cabeza del péndulo y se posiciona la regla de forma que el borde del patín esté en línea con la marca izquierda exterior de la regla. Se mueve entonces el pie del péndulo hacia el lado derecho y se comprueba que el borde del patín esté alineado con la marca derecha de la regla. En caso de que no sea así, se repite el proceso, hacia delante y hacia atrás, hasta que la altura de la cabeza del péndulo sea la correcta para dar la distancia de contacto requerida. Como alternativa, se puede utilizar una regla o escala para medir directamente la distancia entre los puntos de contacto entre el caucho y la superficie. Si la distancia de deslizamiento es correcta, se vuelve a llevar el brazo del péndulo a su posición horizontal (sujeto en el mecanismo de bloqueo y desbloqueo).

11.9 Se mojan las superficies de la probeta y del patín de caucho con abundante agua, teniendo cuidado de no mover el patín de su posición de ajuste.

NOTA Para las superficies normales en carreteras se puede necesitar al menos 100 ml de agua para mojar la superficie de ensayo y volver a mojar el patín antes de cada oscilación para asegurar que el patín mojado pasa por una superficie mojada. El empleo de una cantidad insuficiente de agua influye significativamente en los resultados del ensayo si cualquier parte de la longitud de deslizamiento está seca.

11.10 Se suelta el péndulo y la aguja indicadora desde la posición horizontal, accionando el mecanismo de disparo (pulsador) y se recoge con la mano el brazo del péndulo en los comienzos de su oscilación de retorno. Se registra el valor señalado por la aguja en la escala, redondeando al número entero más próximo. Se devuelve el péndulo y la aguja indicadora a la posición horizontal, levantando el patín utilizando la palanca de elevación.

11.11 Esta operación se realiza cinco veces, volviendo a mojar la superficie y el patín abundantemente justo antes de soltar el péndulo, y cada vez se registra el resultado. Si las cinco primeras lecturas difieren en más de tres unidades, se vuelven a repetir hasta que tres lecturas consecutivas sean constantes, en cuyo caso se registra este valor.

NOTA 1 Para evitar errores de lectura, es importante que al determinar la posición de la aguja indicadora sobre la escala, el ojo esté en línea con la marca (en el centro de rotación) – elemento 2 de la leyenda en la figura 1– y el final de la aguja indicadora.

NOTA 2 Algunos métodos para el ensayo de productos utilizan un número distinto de ensayos y un método de cálculo del valor del ensayo del péndulo diferente.

11.12 En campo, una vez terminado el ensayo, se comprueba la longitud de deslizamiento y la temperatura de la superficie mojada.

11.13 Una vez terminado el ensayo, se comprueba que el equipo sigue nivelado y se realizan las oscilaciones descritas en el apartado 11.6 para confirmar que no se han experimentado alteraciones durante el ensayo. Si se manifiestan alteraciones, se descartan los resultados y se repite el ensayo.

11.14 Se realiza el número de ensayos requeridos, como se describe en el apartado 10.3.

12 CÁLCULOS

12.1 El valor del ensayo del péndulo (PTV) se obtiene como media de los valores obtenidos en cinco oscilaciones, aplicando la fórmula:

$$PTV = \frac{\sum(v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5)}{5} \quad (1)$$

donde

v_1 a v_5 son los valores individuales de cada oscilación,

o

$$PTV = v_j \quad (2)$$

donde

v_j es el valor constante obtenido por tres oscilaciones en caso de que las oscilaciones iniciales sean demasiado variables, según lo descrito en el apartado 11.11.

NOTA Algunos métodos para el ensayo de productos utilizan un número distinto de ensayos y un método de cálculo del valor del ensayo del péndulo diferente.

12.2 El valor del ensayo del péndulo (PTV) se registra redondeando al número entero más próximo.

12.3 Cuando se mide en campo, el valor del ensayo del péndulo se corrige en función de la temperatura, aplicando la corrección correspondiente a la temperatura más próxima obtenida de la tabla 3 siguiente.

12.4 La temperatura medida del patín debe ser la media de las temperaturas del patín mojado antes y después del ensayo.

12.5 Se registra el valor del ensayo del péndulo corregido por temperatura como PTV_{Corr} , redondeando al número entero más próximo.

El valor del ensayo del péndulo para una zona de ensayo es la media de tres mediciones individuales del valor del ensayo del péndulo.

NOTA 1 Cuando no sea posible utilizar el patín ancho, los resultados para un patín estrecho (véase 6.4) sobre una superficie o probeta plana, en una longitud nominal de oscilación de 76 mm, se deben multiplicar por un coeficiente de 1,1 para obtener un valor del ensayo del péndulo estimado con un margen del 10%.

Este documento ha sido adquirido por Carnales, Beatriz el 2024-5-8.
Para poder utilizarlo en un sistema de red interno, deberá disponer de la correspondiente licencia de AENOR

Tabla 3 – Corrección del valor del ensayo del péndulo (PTV) cuando el ensayo se realiza a una temperatura distinta de 20 °C utilizando el patín 57

Temperatura medida °C	Corrección al valor medido
36 a 40	+3
30 a 35	+2
23 a 29	+1
19 a 22	0
16 a 18	-1
11 a 15	-2
8 a 10	-3
5 a 7	-4
NOTA La corrección de temperatura puede estar afectada por la textura de la superficie.	

NOTA 2 Las correcciones por temperatura, para temperaturas del patín superiores a 30 °C e inferiores a 10 °C, son aproximadas y dependen de la rugosidad de la superficie ensayada.

Si se utiliza el patín 96, no es necesario corregir el valor del ensayo del péndulo cuando el ensayo se realiza a una temperatura distinta de 20 °C.

13 PRECISIÓN

La reproducibilidad del método de ensayo ha sido examinada mediante un ensayo interlaboratorios en el cual participaron 11 laboratorios europeos distintos. Dicho ensayo englobó superficies de 12 materiales distintos, que fueron ensayadas por cada laboratorio en condiciones de laboratorio, empleando tanto el patín 57 como el patín 96. Los ensayos se llevaron a cabo en condiciones de superficie mojada. Los materiales se ensayaron en dos direcciones opuestas y se estudió el valor medio. Las desviaciones típicas obtenidas fueron las siguientes:

- Patín 96: Desde 1,5 hasta 4,5 unidades de *PTV*, dependiendo de la naturaleza y las características superficiales del material, con una desviación típica de 2,4 unidades de *PTV*.
- Patín 57: Desde 1,4 hasta 3,9 unidades de *PTV*, dependiendo de la naturaleza y las características superficiales del material, con una desviación típica de 2,6 unidades de *PTV*.

14 INFORME DEL ENSAYO

14.1 El informe del ensayo en campo debe incluir la siguiente información (véase el anexo C):

- a) una referencia a esta norma europea;
- b) el nombre del organismo que realiza el ensayo;
- c) el nombre de la persona que realiza el ensayo;
- d) la hora y la fecha del ensayo;
- e) la ubicación de la zona o las zonas de ensayo;

- f) la ubicación de cada ensayo (por ejemplo, distancia desde un borde u otra característica del área y el punto kilométrico);
- g) el ángulo de ensayo respecto a la dirección del tráfico (cuando no sea paralelo);
- h) la temperatura de la superficie mojada del área ensayada y del patín antes y después del ensayo (sólo del patín 57);
- i) si se usa el patín ancho o el patín estrecho;
- j) si se usa el patín 57 o el patín 96;
- k) el número del patín;
- l) el *PTV* medio y el *PTV* medio corregido (PTV_{Corr}) en cada punto de ensayo, y para cada zona de ensayo (si se requiere);
- m) cualquier observación de interés acerca del tipo de superficie.

14.2 El informe del ensayo en laboratorio debe incluir la siguiente información:

- a) una referencia a esta norma europea;
- b) el nombre del organismo que realiza el ensayo;
- c) el nombre de la persona que realiza el ensayo;
- d) la hora y la fecha del ensayo;
- e) si se usa una probeta curva o plana;
- f) si se usa el patín ancho o el patín estrecho;
- g) si se usa el patín 57 o el patín 96;
- h) el número de referencia del patín;
- i) valor del ensayo del péndulo (*PTV*) medio de la probeta;
- j) cualquier observación de interés acerca de la probeta de ensayo.

ANEXO A (Normativo)

VALIDACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL PÉNDULO DE FRICCIÓN

A.1 Validación del funcionamiento del péndulo de fricción

A.1.1 Generalidades

A.1.1.1 Para garantizar la coherencia de las lecturas, se debe validar diariamente el funcionamiento del péndulo de fricción, antes y después de su uso, aplicando el método descrito a continuación. También se debería llevar a cabo al recibir el péndulo tras su calibración para verificar que no ha sufrido ningún daño en el transporte.

A.1.1.2 El procedimiento de validación implica un conjunto de lecturas sobre dos superficies patrón mojadas, que representen valores de valor del ensayo del péndulo alto y bajo.

A.1.1.3 Las superficies patrón deben ser de vidrio flotado húmedo, sin contaminación y ralladuras, con un papel de verificación montado sobre el vidrio flotado. El papel de verificación solamente se debe utilizar un día.

A.1.1.4 Los valores obtenidos se deben utilizar para hacer un seguimiento del funcionamiento del péndulo de fricción hasta la siguiente calibración.

A.1.1.5 Los límites aceptables para la verificación se muestran en la tabla A.1.

Tabla A.1 – Valores de verificación para el funcionamiento del péndulo

	PTV patín 57 ^a	PTV patín 96
Vidrio flotado	3 a 8	5 a 10
Baldosa de referencia	34 ± 3	34 ± 3
Papel de verificación	47 a 53	58 a 64
^a Si los valores con el patín 57 se encuentran fuera del rango, se puede repetir la verificación con el patín 96. Si este resultado se encuentra dentro de las tolerancias, el funcionamiento del péndulo ha sido correctamente verificado.		

A.1.1.6 Cuando se lleva a cabo el ensayo de verificación, se utiliza una única superficie de papel de verificación virgen (sin ensayar) para el conjunto de las ocho pasadas requeridas.

NOTA Las mediciones realizadas sobre el vidrio flotado pueden verse afectadas por la penetración de la humedad en el conjunto de poros del caucho. Es necesario volver a acondicionar el caucho del patín antes de verificar el valor del vidrio flotado.

A.1.1.7 Si el valor obtenido en cualquier comprobación diaria variase más de cuatro unidades con respecto al valor obtenido después de haberse realizado la calibración, se debe investigar el funcionamiento del péndulo de fricción.

A.1.1.8 Si los valores obtenidos en las comprobaciones inicial y final de cualquier día variasen más de dos unidades, se debe investigar el funcionamiento del péndulo de fricción.

NOTA También se puede utilizar este procedimiento para comprobar que el operario emplea los procedimientos descritos en esta norma de forma correcta.

A.1.2 Procedimiento

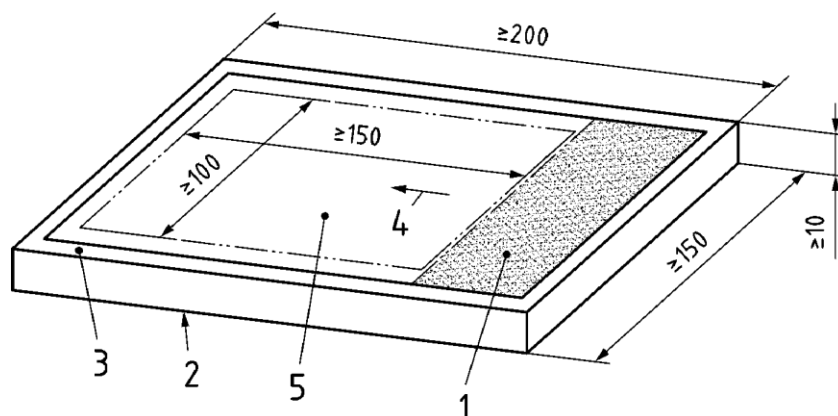
A.1.2.1 Antes de llevar a cabo la validación del funcionamiento del péndulo se debería ajustar conforme al capítulo 11. El laboratorio debe conservar una pieza de vidrio flotado limpio y sin ralladuras para el ensayo de validación y no para otros fines. El lado ensayado debe estar identificado y debe ser el que se utilice. Sus dimensiones deben ser, al menos, de 150 mm × 100 mm × 10 mm como se muestra en la figura A.1.

A.1.2.2 El laboratorio debe mantener una provisión de papel de verificación del grado de 3 micras, de óxido de aluminio abrasivo montado sobre una película de soporte impermeable al agua. El papel de verificación debe estar montado sobre una pieza de vidrio flotado que se utilice para el ensayo de validación. El tamaño debe ser al menos 200 mm × 150 mm, como se muestra en la figura A.1. El papel de verificación se debe fijar al cristal a lo largo de un solo borde, por medio de cinta adhesiva de doble cara. El borde encintado se debe montar de forma que, durante el ensayo, sea el borde frontal de la probeta. El borde encintado no se debe incluir dentro del área barrida por el péndulo.

NOTA El papel esmerilado rosa, 261 × imperial, de 3 micras, del mineral óxido de aluminio con película de soporte de 3 mm fabricado por 3M, se considera adecuado como papel de verificación.

A.1.2.3 Tanto el cristal como la superficie abrasiva se deben ensayar en condiciones mojadas y a una temperatura de $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, utilizando el método descrito en el capítulo 11, excepto que se debe emplear agua destilada o desionizada en vez de agua potable como se especifica en el apartado 8.1.

Medidas en milímetros



Leyenda

- 1 Superficie de adherencia
- 2 Pieza de vidrio
- 3 Papel abrasivo
- 4 Dirección de movimiento del péndulo
- 5 Área ensayada

Figura A.1 – Fijación del papel de verificación a la pieza de vidrio

A.1.3 Detección de errores

A.1.3.1 Después de realizar el ensayo, se sube la cabeza del péndulo hasta que puede oscilar libremente sin tocar el área de ensayo y se comprueba con la oscilación libre si el ajuste de la posición del punto cero es correcto (véase 11.6).

A.1.3.2 Si el punto cero no es correcto, se ajusta según lo establecido en el apartado 11.6, se repite el procedimiento de ensayo apropiado (véase A.1.2) y se vuelve a comprobar la oscilación libre para determinar si la posición del punto cero es correcta. Si no lo está, el instrumento se debe retirar del servicio.

A.2 Preparación de un patín nuevo

A.2.1 Generalidades

Cuando un patín nuevo o un nuevo borde de contacto entran en servicio, se debe preparar el borde de contacto para garantizar la validez de los resultados.

A.2.2 Preparación de un patín nuevo

A.2.2.1 Se debe preparar un patín nuevo montando el patín en el brazo del péndulo, colocando el péndulo según lo descrito en el capítulo 11 y realizando 20 oscilaciones sobre la placa A (A.2.2.2) en condiciones de mojado seguidas por 20 oscilaciones sobre la placa B (A.2.2.2) en condiciones de mojado.

A.2.2.2 Las placas A y B para la preparación de los patines deben consistir en una pieza plana y razonablemente robusta de un material duro y liso, como vidrio o metal, y deben tener una superficie con dimensiones no menores de 100 mm × 150 mm según se muestra en la figura A.1. La placa A debe tener fijada una hoja de papel de lija P400. La placa B debe llevar fijado el papel de verificación, ambas según lo descrito en el apartado A.1.2. Se deben utilizar hojas nuevas cada vez que se prepare un patín.

A.2.3 Nueva preparación de un patín utilizado

A.2.3.1 El borde de contacto de un patín desgastado, contaminado o dañado se debe volver a preparar empleando un mínimo de 3 oscilaciones sobre la placa A en condiciones de mojado para que se obtenga un borde de contacto uniforme, limpio y liso. A continuación se deben realizar 20 oscilaciones sobre la placa B.

A.2.3.2 Se debe volver a preparar el borde de contacto cuando el tipo de superficie de ensayo cambia respecto a la superficie anterior.

NOTA Teniendo en cuenta el amplio rango de tipos de superficies existentes, se debería emplear la experiencia del operador para decidir la frecuencia necesaria para una nueva preparación. El ensayo de superficies lisas con baja textura puede requerir una nueva preparación con más frecuencia que al ensayar superficies rugosas con textura gruesa. Se está recabando más información sobre estos aspectos.

A.2.3.3 El patín no debe rebasar la anchura máxima del borde de contacto dada en el apartado 6.14.

A.3 Calibración del péndulo de fricción

A.3.1 Generalidades

Cuando se realiza la calibración, el péndulo de fricción debe utilizarse siguiendo el procedimiento para condiciones de mojado según lo descrito en el capítulo 11.

Además de los ensayos especificados en los apartados A.3.2 a A.3.4, se puede llevar a cabo otro ensayo para medir las características de fuerza-deflexión. Ese ensayo se describe en el apartado A.3.5. Dicho ensayo puede llevarse a cabo como parte del procedimiento de calibración ya que puede indicar posibles fallos en la operación debido a las características del muelle.

El fabricante debería rectificar cualquier daño o desajuste perceptible, que se debería registrar. Las reparaciones simples las puede realizar el laboratorio de calibración antes de su calibración.

A.3.2 Verificación antes de la calibración

A.3.2.1 Generalidades

El objetivo de la verificación inicial es la evaluación y registro del estado del péndulo de fricción antes de su calibración.

A.3.2.2 Comprobación visual y mecánica

Se inspecciona visualmente el conjunto del péndulo montado para determinar si existe algún tipo de daño evidente que requiera reparación antes de la calibración. Se deja oscilar el brazo del péndulo para comprobar si existe cualquier defecto mecánico aparente.

A.3.2.3 Comprobación del funcionamiento

A.3.2.3.1 Se comprueban los valores del ensayo del péndulo sobre el vidrio flotado y el papel de verificación, como se describe en el capítulo A.1.

A.3.2.3.2 Se inspecciona detenidamente el péndulo de fricción y se registra cualquier defecto encontrado antes de la calibración, siguiendo los puntos a) hasta p).

El listado recomendado para la inspección es el siguiente:

- a) no existe ningún daño en la base del aparato y la columna de soporte;
- b) los tornillos de ajuste vertical se ajustan con facilidad y cuando estén extendidos hasta el 75% de su recorrido no están tan sueltos como para provocar movimientos laterales del péndulo relativos a la superficie en la que está apoyado de más de 1 mm en total, bajo una presión manual lateral razonable;
- c) el pie posterior de apoyo está firmemente fijado a la base y cuando la tuerca de bloqueo esté apretada no presenta ningún movimiento libre entre ésta y la base;
- d) el nivel de burbuja está fijado firmemente, sin daños y es legible;
- e) el mecanismo de subida y bajada de la cabeza del péndulo está fijo y sin juego significativo;
- f) el sistema de bloqueo de la cabeza del péndulo (tornillo vertical para el ajuste vertical) bloquea la cabeza cuando se aplica una fuerza manual razonable;
- g) el mecanismo de disparo (pulsador) funciona correctamente y el enganche del mecanismo de bloqueo y desbloqueo no roza o se atasca;
- h) la aguja indicadora está recta y sin daños y oscila con un rozamiento uniforme a lo largo del recorrido habitual completo;
- i) la tuerca de bloqueo del dispositivo para el ajuste del rozamiento (incluida la arandela de rozamiento) funciona correctamente;
- j) el brazo del péndulo encaja correctamente en el ensamblaje del cojinete y no presenta daños;
- k) el pie del péndulo oscila en línea con la base del aparato, es decir, cuando cuelga verticalmente la parte delantera y trasera del pie se encuentran equidistantes frente a la base;
- l) el cojinete funciona suavemente a lo largo de su recorrido habitual;
- m) el contrapeso en el pie posterior está completo y fijo;
- n) la palanca de elevación del patín sube y baja el patín de forma suave y libre; con el brazo del péndulo en posición vertical, se sube el patín utilizando la palanca; a continuación se sujeta con la mano el patín en esta posición y se suelta la palanca. Ésta debería volver a bajar por su propio peso;
- o) la placa en la parte inferior del pie del péndulo está fijada con todos los tornillos requeridos;
- p) el pivote de soporte para el patín está provisto de las arandelas necesarias, muelle y pasador de anclaje y permite la rotación fácil de la placa de soporte del patín de caucho.

A.3.3 Comprobación/ajuste del centro de gravedad del brazo del péndulo y el conjunto del patín

A.3.3.1 Aparatos

A.3.3.1.1 Balanza de laboratorio, capaz de medir hasta 2 kg con una precisión de ± 1 g.

A.3.3.1.2 Filo de cuchilla, con una longitud de al menos 50 mm y puesto a nivel con una precisión de 1 a 120 ($0,5^\circ$).

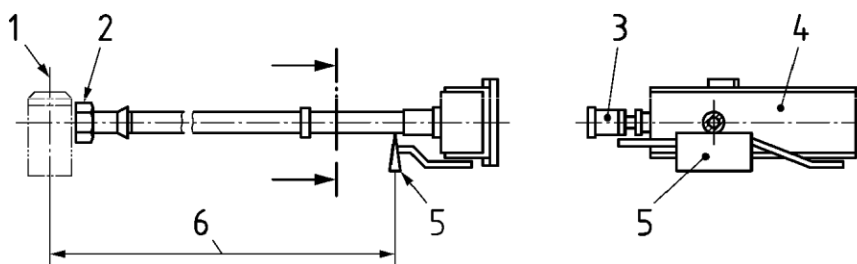
A.3.3.2 Masa del brazo

Se desmonta el brazo del péndulo, incluyendo el patín, de la base del dispositivo y se pesa utilizando la balanza (A.3.3.1.1). Se registra el valor obtenido. Si la masa no fuera $(1,50 \pm 0,03)$ kg, se consulta al fabricante.

A.3.3.3 Posición longitudinal del centro de gravedad

La parte tubular del brazo del péndulo se equilibra sobre el filo de una cuchilla (A.3.3.1.2). Se marca la posición del punto de equilibrio en el brazo (véase la figura A.2).

NOTA El eje longitudinal del brazo debería formar un ángulo recto con el eje horizontal del filo de cuchilla y la tuerca de bloqueo (2) debería estar en su posición extrema.



Leyenda

- 1 Centro de rotación
- 2 Tuerca moleteada de bloqueo
- 3 Contrapeso
- 4 Pie del péndulo
- 5 Filo de cuchilla
- 6 Distancia (L_P) hasta el centro de gravedad

Figura A.2 – Brazo del péndulo, mostrando la posición del centro de gravedad

A.3.3.4 Posición lateral del centro de gravedad

A.3.3.4.1 Se coloca la parte tubular del brazo del péndulo de forma perpendicular sobre el filo de una cuchilla (A.3.3.1.2).

NOTA El brazo debería poder rodar libremente sobre el filo de cuchilla.

A.3.3.4.2 Si el pie del brazo muestra tendencia a girar, se ajusta el contrapeso en la parte trasera del pie para conseguir el equilibrio correcto.

NOTA Si el pie del brazo está equilibrado correctamente, el pie descansa en un plano horizontal sin tendencia a girar.

A.3.3.4.3 Se aprieta completamente el conjunto del contrapeso.

A.3.3.4.4 Se marca el centro de gravedad con lápiz o marcador similar en el brazo del péndulo.

A.3.4 Distancia del centro de gravedad hasta el centro de rotación

Se vuelve a montar el brazo en la base y se mide la distancia desde el punto de equilibrio descrito en el apartado A.3.3.4.3 hasta el centro de rotación. Se registra esta distancia. Si la distancia medida es distinta a (410 ± 5) mm, se consulta al fabricante.

A.3.5 Comprobación/ajuste de la tensión efectiva del muelle

A.3.5.1 Generalidades

Este procedimiento permite ajustar la tensión del muelle a la configuración del brazo del péndulo.

A.3.5.2 Aparatos

A.3.5.2.1 Soporte del brazo del péndulo: dispositivo para mantener el brazo del péndulo en posición vertical con el pie del péndulo arriba.

A.3.5.2.2 Balanza capaz de medir hasta 3 kg con una precisión de $\pm 0,5$ g.

A.3.5.2.3 Utensilio para la aplicación de una fuerza vertical: un colgador enganchado al tornillo teniendo pesos suficientes para aplicar una fuerza de, al menos, 30 N.

NOTA Dicho tornillo no forma parte del péndulo de fricción, es un utensilio que se utiliza solo para la calibración (véase A.3.5.3.1).

A.3.5.2.4 Regla o calibre para marcar el movimiento descendente del tornillo en la placa de apoyo.

A.3.5.3 Procedimiento

A.3.5.3.1 Se monta el péndulo verticalmente en el soporte. Se destapa el agujero roscado en la palanca de elevación del patín. Se mete un tornillo 6BA en el agujero roscado en la palanca de elevación del patín (véase la figura A.3).

NOTA 1 Para algunos diseños: se desatornilla la placa pequeña al lado de la palanca de elevación del patín.

NOTA 2 El tornillo 6BA tiene una rosca de uso no preferente. El tornillo es suministrado por el fabricante del péndulo.

A.3.5.3.2 Se marca un punto en el soporte trasero, con lápiz o marcador similar, a $(4,5 \pm 0,1)$ mm debajo de la posición inicial del tornillo, para indicar la posición inferior del tornillo al aplicar la carga.

NOTA Es más sencillo marcar el colgador y avanzar desde el borde inferior del tornillo.

A.3.5.3.3 Se aplican pesos hasta que el tornillo desciende 4,5 mm para indicar la posición inferior (véase la figura A.3).

A.3.5.3.4 Se registra la masa (M) de los pesos y el colgador en gramos (g) para calcular la fuerza F_N en el colgador.



Figura A.3 – Fotografías mostrando la calibración de la tensión del muelle

A.3.5.3.5 Cálculo de la tensión del muelle correcta:

Se calcula la fuerza F_P de tensión correcta del muelle utilizando la siguiente fórmula:

$$F_P = \frac{F_N \times W_P \times L_P}{W_N \times L_N} - 2,3 \text{ en N} \quad (\text{A.1})$$

donde

F_P es la fuerza vertical de compresión correcta del muelle, en newtons (N) a 4,5 mm de deflexión;

F_N es la fuerza vertical de compresión nominal del muelle, en newtons (N) a 4,5 mm de deflexión;

W_P es la masa del brazo determinada de acuerdo con el apartado A.3.4.2, en gramos (g);

W_N es la masa nominal del brazo del péndulo (1 500 g);

L_P es la distancia hasta el centro de gravedad, determinada de acuerdo con el apartado A.3.4.3, en milímetros (mm);

L_N es la distancia nominal hasta el centro de gravedad (410 mm);

2,3 es la masa, en N, de la palanca de elevación y montaje del patín, multiplicada por 2.

Si la fuerza F_P aplicada, determinada a partir de la masa M , no se encuentra en el rango ($F \pm 0,5$) N, se suelta la abrazadera al extremo portante del brazo del péndulo y se gira la parte superior respecto al brazo tubular hasta que se logra la tensión correcta. Antes de apretar la abrazadera, se comprueba que el agujero apunta en la dirección de la punta del pie.

Se vuelve a montar el brazo en la base y se ajusta el pie, de forma que quede paralelo a la base y que permanezca así durante la oscilación del péndulo. Se aprietan completamente los tornillos de la abrazadera.

A.3.6 Comprobación/ajuste de las características fuerza-deflexión del patín

A.3.6.1 Aparatos

A.3.6.1.1 Dispositivo para medir la fuerza vertical sobre el patín. El instrumento debería tener una precisión de 0,1 N y debería ser capaz de medir en un rango de al menos 30 N. Su rigidez, es decir, su deflexión bajo una carga de 25 N debería ser conocida o, como alternativa, se puede seguir mediante un reloj comparador durante el ensayo.

A.3.6.1.2 Reloj comparador o instrumento parecido (por ejemplo un transformador diferencial de variación lineal (*Linear Variable Differential Transformer*, LVDT) sensor electrónico para medir desplazamientos), con un rango de medida de 10 mm y escala graduada en 0,01 mm.

A.3.6.2 Cálculo de la fuerza de compresión correcta

Se calcula la fuerza F_P de compresión correcta para el péndulo específico, utilizando la siguiente fórmula:

$$F_P = \frac{F_N \times W_P \times L_P}{W_N \times L_N} \text{ en N} \quad (\text{A.2})$$

donde

F_P es la fuerza vertical de compresión correcta, en newtons (N) a 4,5 mm de deflexión;

F_N es la fuerza vertical de compresión nominal, en newtons (N) a 4,5 mm de deflexión;

W_P es la masa del brazo determinada de acuerdo con el Apartado A.3.4.2, en gramos (g);

W_N es la masa nominal del brazo del péndulo (1 500 g);

L_P es la distancia hasta el centro de gravedad, determinada de acuerdo con el apartado A.3.4.3, en milímetros (mm);

L_N es la distancia nominal hasta el centro de gravedad (410 mm).

A.3.6.3 Cálculo de los límites de fuerza-deflexión (véase la figura A.4)

El límite superior de la fuerza se describirá mediante una curva que pasa por los puntos A, B y C:

- A corresponde a una deflexión de 0 mm y una fuerza de compresión de $F_P + 0,5$ N;
- B corresponde a una deflexión de 4,5 mm y una fuerza de compresión de $F_P + 0,5$ N;
- C corresponde a una deflexión de 8 mm y una fuerza de compresión de $F_P + 1,2$ N.

El límite inferior de la fuerza se describirá mediante una curva que pasa por los puntos D, E, F y G:

- D corresponde a una deflexión de 0,5 mm y una fuerza de compresión de 0 N;
- E corresponde a una deflexión de 1,5 mm y una fuerza de compresión de $F_P - 1,1$ N;
- F corresponde a una deflexión de 4,5 mm y una fuerza de compresión de $F_P - 0,5$ N;
- G corresponde a una deflexión de 8 mm y una fuerza de compresión de $F_P - 0,5$ N;

A.3.6.4 Procedimiento

A.3.6.4.1 Se coloca el péndulo, provisto del patín 57 o el patín 96, de forma habitual de modo que el brazo del péndulo/patín cuelgue encima y justo libre de la balanza/célula de carga/dinamómetro. Cuando se baja hasta la balanza/célula de carga/dinamómetro, el patín debería estar apoyado a lo largo de toda la anchura de 76 mm.

A.3.6.4.2 Se instala el reloj comparador (A.3.6.1.2) para monitorizar los 10 mm previstos, en dirección vertical y descendente, de movimiento del pie del péndulo.

A.3.6.4.3 Se baja el brazo del péndulo hasta que el borde de contacto del patín justo toque con el dispositivo para medir la fuerza y éste dé una lectura de entre 1 N y 10 N. Se registra la carga y la lectura del reloj comparador.

A.3.6.4.4 Se baja el brazo del péndulo cuatro veces más con desplazamientos de aproximadamente 0,5 mm, seguidos por 6 desplazamientos de 1 mm. En cada etapa, se registra el valor de la carga y la lectura del reloj comparador.

A.3.6.4.5 Se sube el brazo del péndulo, deteniéndose aproximadamente en los mismos puntos de lectura del reloj comparador que en el apartado A.3.6.4.4 para registrar de nuevo las lecturas de la carga y el reloj comparador.

A.3.6.4.6 Se dibuja la curva carga/deflexión, suponiendo que:

- al bajar el brazo del péndulo se produce una deflexión positiva, y;
- la deflexión real de la primera lectura recogida en el apartado A.3.6.4.3, en milímetros (mm), es de 0,025 multiplicado por la carga en newtons (N).

A.3.6.4.7 Se comparan ambas curvas con la envolvente mostrada en la figura A.4.

NOTA Si las curvas no se encuentran dentro de la envolvente, la causa podría ser una o varias de las siguientes, en cuyo caso pueden ser necesarias las acciones correctivas apropiadas:

- el muelle está tensionado incorrectamente o requiere sustitución;
- los filos de cuchilla en el interior del pie se han desplazado;
- las hendiduras del pie requieren limpieza, especialmente alrededor del rodillo que aplica la carga al brazo de soporte del patín;
- existe rozamiento en los rodamientos, y/o en la palanca para subir el patín.

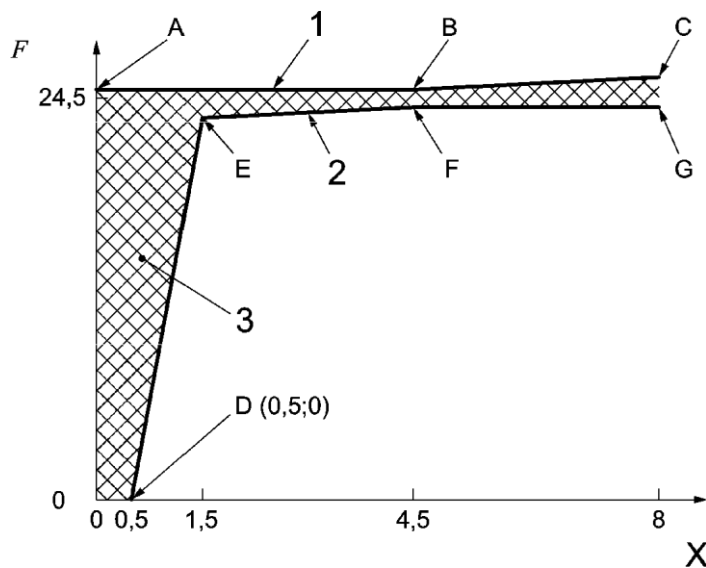
A.3.6.4.8 Si es necesario ajustar la tensión del muelle, se suelta la abrazadera del extremo portante del brazo del péndulo y se gira la parte superior respecto al brazo tubular hasta que se logra la tensión correcta. Antes de apretar la abrazadera, se comprueba que el agujero apunta en la dirección del punto del pie del brazo del péndulo.

A.3.6.4.9 Se vuelve a montar el brazo en la base y se ajusta el pie de forma que quede paralelo con la base del equipo y que permanezca así durante la oscilación del péndulo. Se aprietan completamente los tornillos de la abrazadera.

A.3.6.4.10 Se repite el procedimiento según el apartado A.3.6.4 para asegurar que se han establecido las características de fuerza/deflexión correctas.

NOTA La curva de fuerza/deflexión también puede determinarse con un equipo de ensayos a tracción o un instrumento similar con el que se pueda obtener una curva continua.

A.3.6.4.11 Se debe incluir la curva de fuerza/deflexión en el informe de calibración del péndulo de fricción (véase A.3.9.1).



Leyenda

- A Corresponde a una deflexión 0 mm y una fuerza de compresión de $F_P + 0,5$ N;
- B Corresponde a una deflexión 4,5 mm y una fuerza de compresión de $F_P + 0,5$ N;
- C Corresponde a una deflexión 8 mm y una fuerza de compresión de $F_P + 1,2$ N;
- D Corresponde a una deflexión 0,5 mm y una fuerza de compresión de 0 N;
- E Corresponde a una deflexión 1,5 mm y una fuerza de compresión de $F_P - 1,1$ N;
- F Corresponde a una deflexión 4,5 mm y una fuerza de compresión de $F_P - 0,5$ N;
- G Corresponde a una deflexión 8 mm y una fuerza de compresión de $F_P - 0,5$ N;
- 1 Límite superior de la fuerza
- 2 Límite inferior de la fuerza
- 3 Envoltente permitida
- 4 Fuerza, N
- 5 Deflexión, mm

Figura A.4 – Envoltente para las características fuerza/deflexión del patín

A.3.7 Comprobación/ajuste de la nivelación de la base

A.3.7.1 Aparatos

A.3.7.1.1 Nivel de burbuja, un nivel de burbuja magnético de 90° con una sensibilidad nominal de 62" de sexagesimales a (20 ± 1) °C.

A.3.7.2 Nivelación de la base

A.3.7.2.1 Se coloca la base del péndulo con el brazo montado a la base. Se ajustan los pies de forma que el nivel de burbuja incorporado en la base indique que está nivelada.

A.3.7.2.2 Empleando el nivel de burbuja (A.3.7.1.1), se comprueba la verticalidad de la columna de soporte del equipo en dos direcciones en ángulo recto. Se registra la amplitud de cualquier no-verticalidad que supere los 0,5° (1 en 120), y se ajusta el nivel incorporado en la base del aparato o bien se consulta al fabricante. De forma similar, se comprueba que el eje longitudinal del brazo esté en posición horizontal cuando el brazo del péndulo está enganchado en el mecanismo de disparo (pulsador). Se registra la amplitud de cualquier desviación respecto a la horizontal que supere los 0,5° (1 en 120), se registra esta medida y se ajusta el mecanismo de bloqueo o se consulta al fabricante.

A.3.7.2.3 Se mide la distancia vertical entre el centro de rotación del brazo y la marca cero en la escala de medida. Se registra la amplitud de cualquier desviación que supere los 10 mm y se ajusta la escala de medida o se consulta al fabricante.

A.3.7.3 Ajuste de la aguja indicadora

A.3.7.3.1 Se deja colgar el brazo del péndulo libremente. Se coloca la aguja indicadora al lado del brazo en su posición de "seguimiento". Se gira el tornillo de ajuste del seguimiento de forma que el eje longitudinal de la aguja esté perfectamente alineado con el eje del brazo del péndulo.

A.3.7.3.2 Los ejes longitudinales del la columna de soporte del equipo, del brazo del péndulo y de la aguja deben estar en línea y en vertical.

A.3.8 Calibración final

A.3.8.1 Se repite el procedimiento especificado en el apartado A.3.2.3. Se comprueba que los valores de valor del ensayo del péndulo están dentro de los límites especificados en el capítulo A.1.

A.3.8.2 Si el valor del ensayo del péndulo estuviera fuera de estos límites, se investiga y se corrige la causa de la desviación y a continuación se repiten los procedimientos descritos en los apartados A.3.3 a A.3.7, según sea necesario.

A.3.9 Informe de calibración y marcado (calibración externa)

A.3.9.1 Informe de calibración

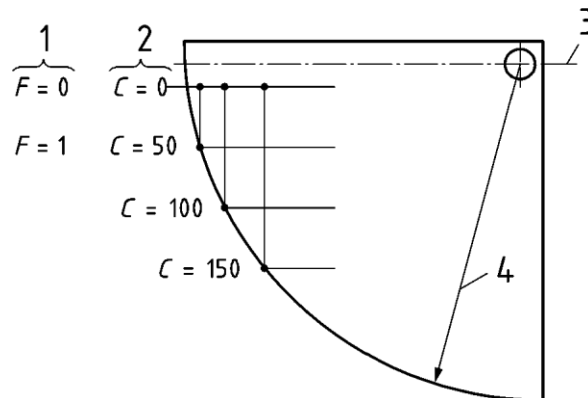
El informe de calibración debe incluir lo siguiente:

- a) la referencia y fecha de esta norma europea;
- b) el nombre del laboratorio de calibración;
- c) el número de serie del péndulo de fricción;
- d) la organización para la que se ha llevado a cabo la calibración;
- e) la fecha de la calibración;
- f) los resultados de la verificación previa a la calibración;
- g) los resultados de la calibración final;
- h) la firma autorizada del personal del laboratorio de calibración;
- i) el número de referencia del certificado de calibración, si es pertinente;
- j) la curva de fuerza/deflexión del patín.

A.3.9.2 Etiquetado

El péndulo de fricción debe llevar una etiqueta fijada en la que conste:

- a) la referencia y fecha de esta norma europea;
- b) el nombre del laboratorio de calibración;
- c) el número de serie del péndulo de fricción;
- d) el número de referencia del certificado de calibración, si es pertinente;
- e) la fecha de calibración.



AENOR

Leyenda

- 1 Bajada
- 2 Línea horizontal que pasa por el eje de rotación
- 3 Radio de la escala, 305 mm

NOTA 1 La bajada es la distancia por debajo de una línea horizontal que pasa por el cero en ambas escalas hasta el borde de la escala en cada marca de graduación.

NOTA 2 El cero está a 10,2 mm por debajo de una línea horizontal que pasa por el eje de rotación del brazo del péndulo.

Figura B.1

AENOR

Asociación Española de
Normalización y Certificación

Génova, 6
28004 MADRID-España

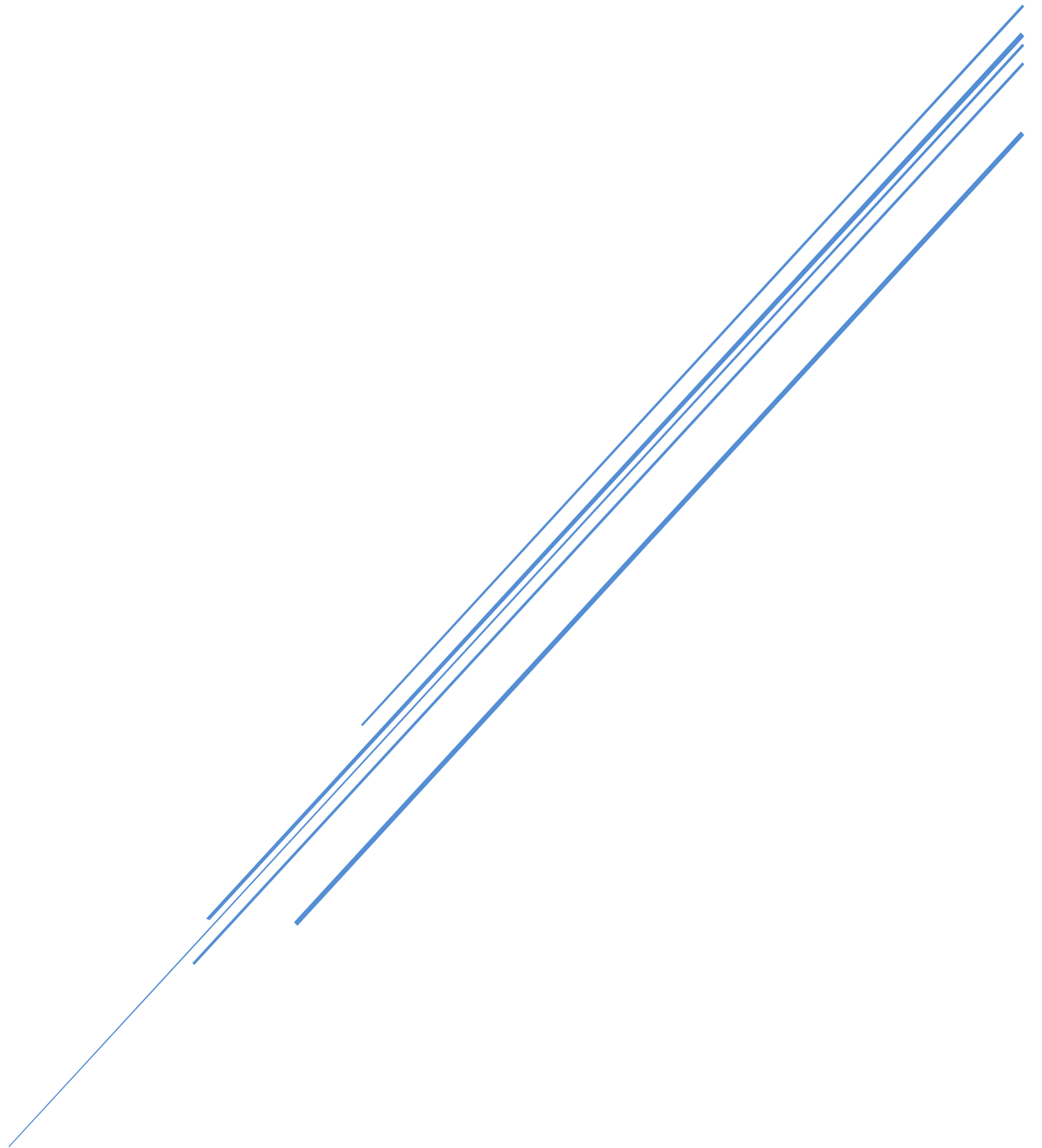
info@aenor.es
www.aenor.es

Tel.: 902 102 201
Fax: 913 104 032

Este documento ha sido adquirido por Carnales, Beatriz el 2024-5-8.
Para poder utilizarlo en un sistema de red interno, deberá disponer de la correspondiente licencia de AENOR

ANEXO 22

TABLAS DE RANGOS PARA MACROTEXTURA Y COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO: PIARC



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

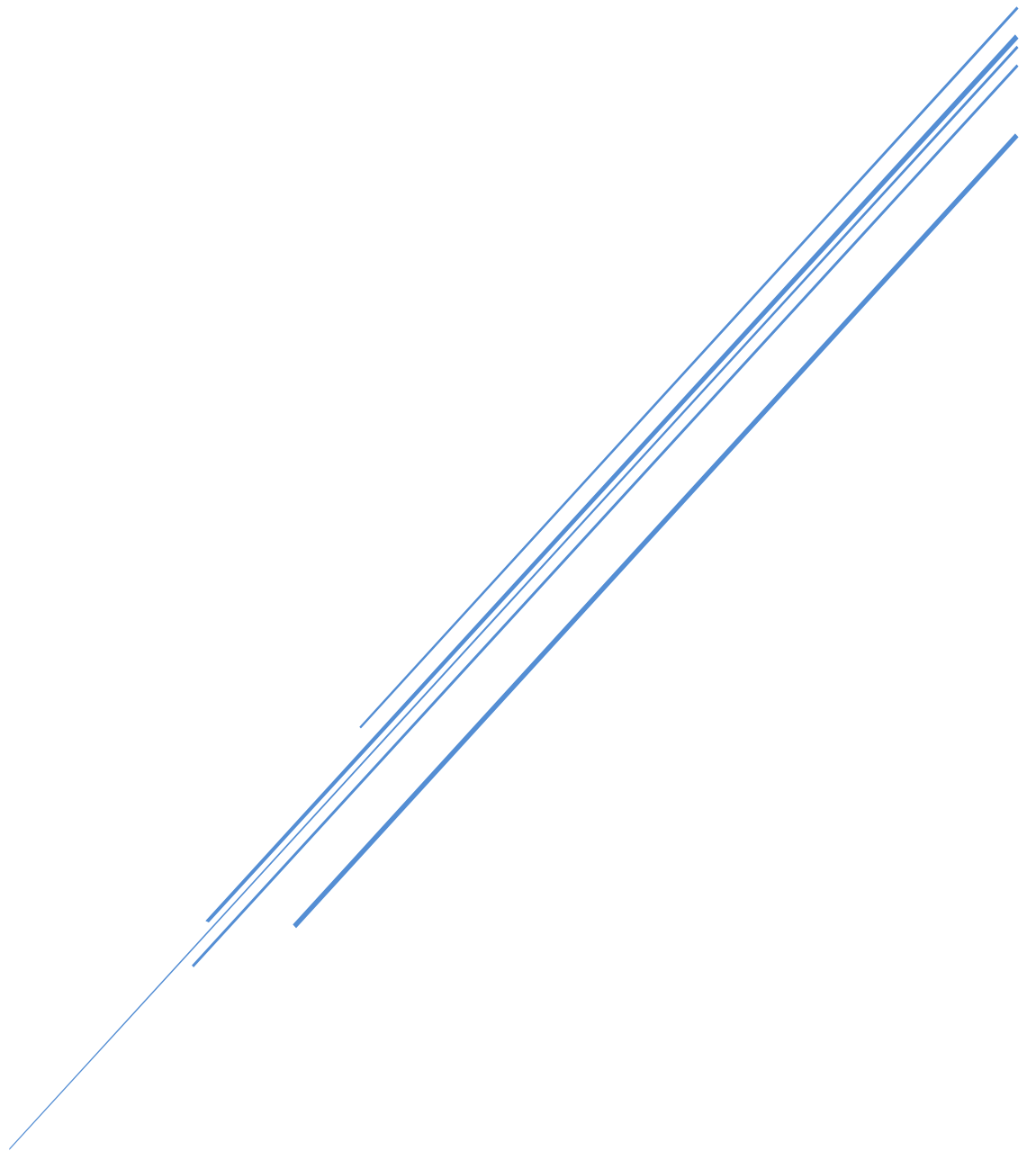
CLASIFICACION DE MACROTEXTURA MODELO PIARC

CONDICIÓN	CALIFICACIÓN	RESULTADO DEL DIAGNÓSTICO
$CRD \geq 1.50$	Excelente	Superficie muy rugosa y áspera apropiada para el tránsito intenso o altas velocidades incluso con pavimento mojado.
$0.82 \leq CRD \leq 1.5$	Bueno	Superficie con rugosidad y aspereza aceptable para tránsito medio, propician condiciones satisfactorias de seguridad con pavimento mojado a moderadas velocidades de seguridad.
$0.45 \leq CRD \leq 0.82$	Regular	Superficie con rugosidad y aspereza adecuada para intensidades bajas o hasta media con precauciones. Condiciones garantizadas de seguridad sólo con pavimento seco. Se debe evaluar periódicamente el CRD y PT.
$0.21 \leq CRD \leq 0.45$	Malo	Condiciones inseguras de circulación con pavimento mojado y aún incluso con pavimento seco. Superficie con rugosidad y aspereza inadecuadas, con peligro, velocidad limitada y marcado pavimento.
$CRD \leq 0.21$	Pésimo	Circulación insegura con pavimento seco y crítico con pavimento mojado. Se debe reponer las características antideslizantes del pavimento. Establecer señalización vertical y horizontal con medidas extremas de control mientras permanezcan las condiciones inseguras.

CLASIFICACION DE COEF. RESISTENCIA AL DESLIZ. MODELO PIARC

ANEXO 23

Calibración del Grip Tester





Universidad de la República
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES



Página 1 de 4
Número: 92138/40

ENSAYO DE: 3 Ruedas

NUMERO: 92138/40

SOLICITUD N°: 22503

PROPUESTO POR: IET (Instituto de Estructuras y Transporte – Fing – Udelar)

PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: Suministrados por el interesado, 3 ruedas rotuladas: BATCH (I), BATCH 64 (II) y BATCH 75.

FECHA DE RECEPCION DE LA MUESTRA: 30 de setiembre de 2022.

ENSAYOS SOLICITADOS: Dureza Shore A de la banda de rodamiento según norma ASTM 2240:2015.

RESULTADOS:

Las figuras siguientes muestran el registro fotográfico de las muestras de las ruedas suministradas por el interesado.



Figura 1. Rueda identificada como BATCH 64 (I)



Figura 2. Rueda identificada como BATCH 64 (II)



Figura 3. Rueda identificada como BATCH 75

- Dureza Shore A (ASTM 2240-2015)

Muestra BATCH 64 (I)

Dureza media = 75

Nº determinaciones: 5

Dureza máxima = 76

Dureza mínima = 75



- Dureza Shore A (ASTM 2240-2015)

Muestra BATCH 64 (II)	Dureza media = 74
	Nº determinaciones: 5
	Dureza máxima = 75
	Dureza mínima = 73

- Dureza Shore A (ASTM 2240-2015)

Muestra BATCH 75	Dureza media = 70
	Nº determinaciones: 5
	Dureza máxima = 71
	Dureza mínima = 69

Notas:

- Temperatura de ensayo 20°C
- Humedad relativa del laboratorio: 53%
- Identificación del Durómetro, marca Bareis, modelo BS61, Registro de calibración LATU Metrología N° 20133
- La temperatura fue determinada con un termómetro con registro de calibración SYAR N° S22/78448
- Los ensayos fueron realizados sobre las bandas de rodamiento de las ruedas infladas entregadas por el proveedor.



Universidad de la República
FACULTAD DE INGENIERÍA
INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES



Página 4 de 4
Número: 92138/40

Los resultados obtenidos se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo.
Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la autorización escrita del Instituto de Ensayo de Materiales, excepto cuando se reproduzca en su totalidad.
El presente informe es sólo válido con la firma original.

Montevideo, 3 de octubre de 2022



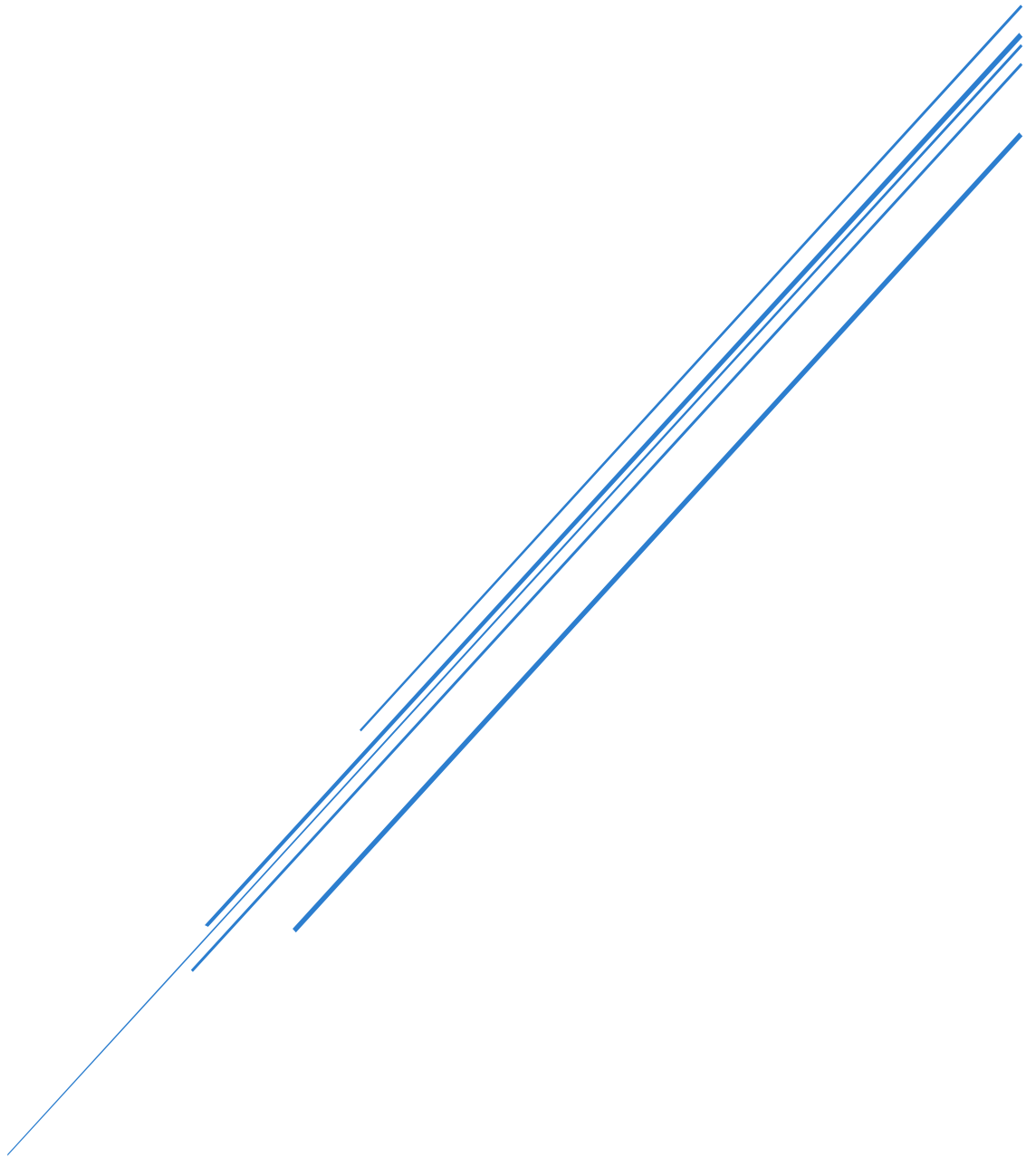
Ing. Quím. Pablo Raimonda
PROFESOR ADJUNTO
Responsable del Laboratorio de Polímeros



Ing. Quím. Daniel Mosca
DIRECTOR
INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

ANEXO 24

Spray Termovial SBH1 y Spray Termo SA H1



VIAMAS S.A
GRUPO SAN JOSE

-Termoplásticos Reflectantes Aplicación por Spray TERMOVIAL® SB H1 y Spray TERMOVIAL® SA H1 Este material que se usa para las alineaciones no fue objeto de esta Investigación.

Son productos para demarcación vial de alta performance apto para pavimentos asfálticos u hormigones. TERMOVIAL®SB H1 y TERMOVIAL®SA H1 (especificaciones técnicas en las siguientes Tablas) formulados en base a resinas especiales son resistentes a los álcalis del hormigón. El producto ofrece una retroreflectividad sostenida en el tiempo gracias a la renovación de la capa superficial.

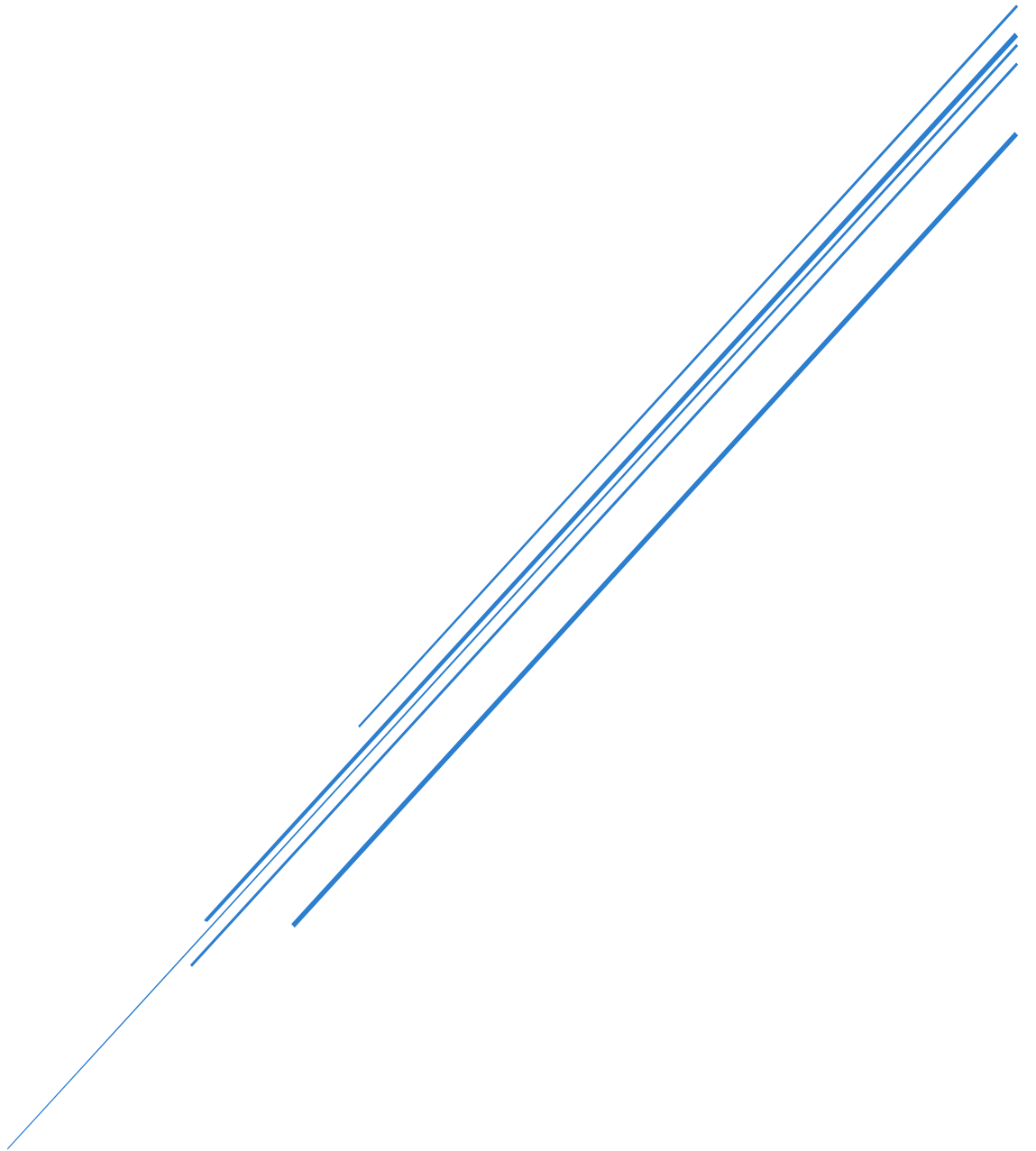
Ventajas:

- Durabilidad.
- Buena adherencia sobre asfalto y hormigón.
- Rápida liberación al tránsito.
- Conservación de las propiedades mecánicas en el tiempo.
- Resistencia a los elementos climáticos.
- Facilidad de aplicación. Gracias a su estudiada formulación, la viscosidad a la temperatura de aplicación es la adecuada para una correcta nivelación, definición de bordes, adherencia al sustrato y a las microesferas sembradas.
- Conservación del color a la temperatura de aplicación y luego de aplicado gracias a la tecnología de resinas y pigmentos utilizada.

Se los aplica en estado fundido, a **una temperatura de entre 190°C y 210°C**.

ANEXO 25

PINTURA ACRILICA AL SOLVENTE LUMICOT



VIAMAS S.A
GRUPO SAN JOSE

- **Pintura Acrílica al Solvente Lumicot.** Este material que se usa para las alineaciones, algunas flechas direccionales y para tareas de mantenimiento, no fue objeto de esta Investigación. Es un producto para demarcación vial de alta performance. Formulada en base a resinas acrílicas especiales, es un producto apto para una gran variedad de condiciones climáticas y aplicaciones (calles, avenidas, autopistas, rutas). Permite la incorporación de microesferas tipo “Pre Mix” (P1 Norma IRAM 1225) y de sembrar. LUMICOT® cumple con todos los requisitos de la Norma IRAM 1221.

Ventajas:

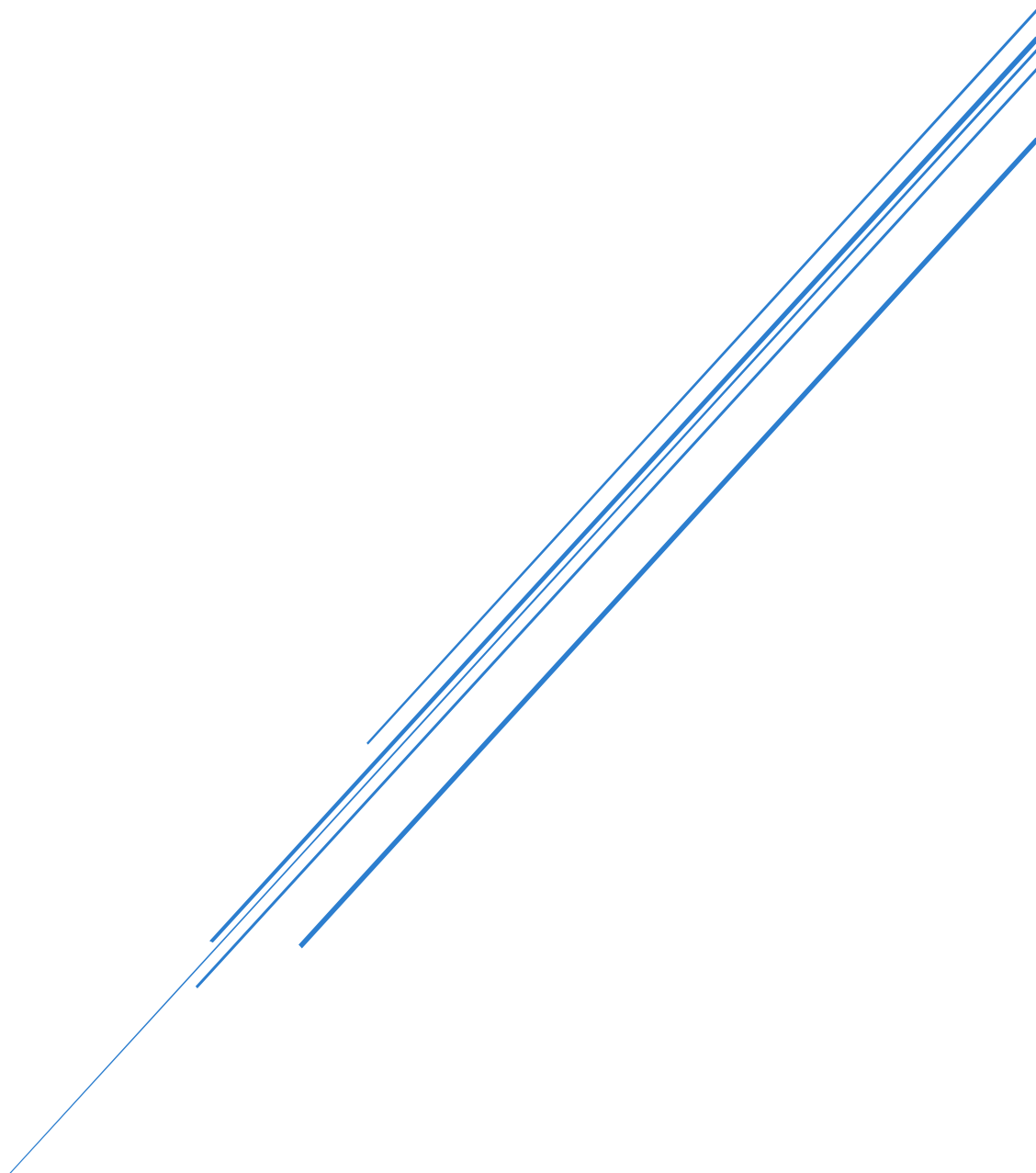
- De fácil Aplicación, se puede aplicar con pistola de aire, airless, rodillo o pincel.
- Muy buena adherencia sobre asfalto y hormigón.
- Rápida liberación al tránsito.
- Resistencia al ataque químico (álcalis, gas oil, aceite)
- Resistencia a altas y bajas temperaturas.
- Resistencia a los elementos climáticos.

De acuerdo a los Pliegos de la Dirección Nacional de Vialidad (MTOPE) exige que la pintura de las líneas y marcas a usar deberán ser antiderrapante y la reflectividad de la marca deberá lograrse con microesferas de vidrio tipo pre-mix y tipo drop-on.

Todas estas Pinturas usadas son de aceptación del Departamento de Señalización de la División Seguridad en el Tránsito de la Dirección Nacional de Vialidad, por cumplir en un todo con las Especificaciones Técnicas de la Norma Uruguaya de Señalización Horizontal (Adjunto)

ANEXO 26

PINTURA THERMOMAT



VIAMAS S.A
GRUPO SAN JOSE

Pintura termoplástica preformada Thermomat Es una Pintura Termoplástica Preformada, que tiene la marca la Empresa Serviam y se comenzó a desarrollar hace 5 años aproximadamente.

De acuerdo con la Norma AASTHO M 249-12 (2016):

	Especificación	Resultado
Carbonato de calcio	Máx 42%	Adecuado
Aglutinante	Mín 18%	Adecuado
Microesferas de vidrio	30-40%	Adecuado
Indice de Amarillamiento	Máx 0,12	Adecuado
Punto de ablandamiento	Mín 93°C	Adecuado

Tabla 22. Composición material termoplástico.

N° Lote	Color	Retroreflectividad(mcd/lx*m2)
9010221022	Blanco	230
1023130223	Amarillo	150

Tabla 23. Retroreflectividad , valores según color.

Espesor de material termoplástico: $(2,7 \pm 0,2)$ mm (Fuente Tablas 3 y 4: Pintura Thermomat preformada. Extraído de Triptico de Presentación Empresa y Certificado de Calidad de Viamás).

Índice de Amarillamiento: es un parámetro utilizado para evaluar el grado en que una pintura, como las utilizadas en la señalización horizontal de los pavimentos, cambia de color hacia tonos más amarillos con el tiempo. Este cambio de color puede ser resultado de factores como la exposición a la luz ultravioleta, contaminantes químicos, desgaste por el tráfico, o reacciones químicas inherentes a los materiales de la pintura.

Para la señalización vial, mantener un color claro y visible es crucial para la seguridad. En este contexto, la resistencia al amarillamiento es una propiedad importante de las pinturas utilizadas en pavimentos, especialmente para colores como el blanco y el amarillo, que son comunes en marcas viales.

Punto de Ablandamiento: El punto de ablandamiento de las pinturas usadas en señalización horizontal de pavimentos es un parámetro importante que indica la temperatura a la cual una pintura o material similar comienza a ablandarse bajo condiciones de calor. Este punto es crucial para determinar la viabilidad de usar ciertas pinturas en diferentes climas y condiciones ambientales, ya que afecta la durabilidad, resistencia al desgaste, y la integridad estructural de las marcas viales.

Las señales Thermomat son señales en pintura termoplástica preformada. Los componentes de ambas pinturas son aproximadamente los mismos, varían en proporción y tipo de algunos de ellos, pero todos tienen en su formulación:

- Resinas – según el origen y mezclas de distintos tipos y proporción será su aplicación. En este punto hay mucha información y detalle a tener en cuenta para cada una de las aplicaciones que no detallaremos en este estudio porque no es el objeto del mismo.
- Carbonato de calcio.
- Óxido de titanio.
- Esferas de vidrio.
- Aglutinantes/ ligantes o binders:
 - Cera de polietileno no oxidada (polimerización) (pintura termoplástica y thermomat).
 - Copolímero de etileno y acetato de vinilo (thermomat).
 - Polímero producido por unidades repetidas de propileno con distribución aleatoria de etileno (pintura termoplástica).
 - Cada uno de estos componentes tienen un porcentaje mínimo de formulación para su aplicación – adjunto norma.

