

**Crear un fondo específico para el mantenimiento (o conservación), administrado por el comité integrado por representantes del estado y usuarios.**

- **Problema 3.- Falta de capacitación de personal (privado y público) para supervisar el mantenimiento enfocado al control.**

**Solución:**

**Hay que capacitar: ¿A quién?; al personal que interviene en el mantenimiento dentro del sector público, al personal que labora con los contratistas, al sector político y al usuario.**

- **Problema 4.- Actualización de las normas.**

**Solución:**

**Integrar un comité permanente, de nivel nacional, que involucre al sector público, privado y educativo con personal de comprobada experiencia teórico-práctica.**

**Encargar el desarrollo de normas específicas que contemplen la actualización del marco jurídico y evitar las normas en forma individual.**

- **Problema 5.- Falta de cultura de mantenimiento.**

**Solución:**

**Difundir, a través de todos los medios de comunicación, los acuerdos antes mencionados; con el objeto de sensibilizar al usuario, a los políticos, a los funcionarios, a los universitarios, a los empresarios y al público en general.**

**Crear un consejo estatal multidisciplinario que vigile y participe en la creación e implantación de los programas y los recursos para la conservación.**

**Sugerir a las universidades que incluyan en sus programas de estudio la materia de "Conservación Vial", con el objeto de preparar ingenieros capacitados en esta área.**

- **Problema 6.- Sistemas de gestión de mantenimiento inadecuado.**

**Solución:**

**Se recomienda a la SCT crear un comité donde participen los tres niveles de gobierno encargados del mantenimiento vial, el usuario y el sector educativo; para estudiar y crear las normas nacionales de gestión de mantenimiento, para su aplicación.**

- **Problema 7.- Corrupción.**

**Solución:**

**Mejorar los sueldos y los salarios, lo cual puede lograrse con menos trámites burocráticos y menos personal donde no se requiera. Modificar y actualizar la normatividad, para evitar interpretaciones erróneas.**

- **Problema 8.- Bajos salarios tanto del sector privado como del público.**

**Solución:**

**Implantación de un programa para evaluar el trabajo real y las capacidades, para determinar el salario. Incrementar la eficiencia de las empresas privadas y**

**los organismos públicos, con base en esquemas de capacitación, mediante la implantación de incentivos de productividad.**

- **Problema 9.- Aspecto jurídico de los sistemas de gestión de mantenimiento inadecuado.**

**Solución:**

**Las leyes mexicanas tienen un control total en el tramo del mantenimiento, que abarca los tres niveles de gobierno, entre aquellas podemos mencionar: la Ley General de Obras Públicas, la de Vías de Comunicación, y la de la Expropiación Petrolera, (1938) que tienen que ver con la red vial y el transporte.**

**Estas leyes ordenan y rigen las actividades ligadas al mantenimiento, y deben ser modificadas para dar cabida a la descentralización y en ésta deben participar la iniciativa privada, las asociaciones de ingenieros, las cámaras industriales, y los más importantes representantes de los usuarios; lo anterior con el objeto de facilitar en todos los aspectos (normas técnicas, estandarización de procedimientos, etc.) la actividad caminera en el país.**

**Llevar a cabo la descentralización, actualizando las leyes de vías generales de comunicación, de administración pública y de obras públicas, para establecer el servicio de carrera y capacitación del personal dedicado a las actividades de conservación.**

**Gracias a objetivos claros, un buen sistema de evaluación y el conocimiento de los costos, se han reunido progresivamente las condiciones necesarias para proceder a una verdadera contractualización.**

**Con la nueva política de conservación carretera, lanzada por la Dirección de Carreteras se avanza en la recuperación del retraso del mantenimiento preventivo en los pavimentos, objetivo prioritario en la Dirección de Carreteras.**

**La evaluación actualizada muestra que el mantenimiento preventivo es el método más económico para cumplir con los objetivos de calidad:**

- **Continuidad en el tiempo y en el espacio del servicio prestado al usuario.**
- **Sustentación de un nivel elevado de servicio, en materia de seguridad y de comodidad.**

**Esta estrategia permite intervenir y limitar así el desarrollo del deterioro, además de adaptar permanentemente la estructura del pavimento al tráfico que soporta.**

**Las operaciones mayores de rehabilitación se evitan y así se eliminan los picos en las necesidades financieras.**

**Cualquier restricción presupuestal excesiva y continua perjudica la credibilidad global de dicha política, pues pospondría por muy largo tiempo la recuperación del buen estado de una parte de la red carretera.**

**Toda esta política orientada a optimizar la utilización de los recursos actuales mediante la definición de objetivos precisos, jerarquizados por tipos de carreteras en el marco de un proceso contractual, es la primera respuesta al esfuerzo que se impone.**

**La segunda consiste en movilizar una cantidad suficiente de recursos presupuestales, durante los próximos años, para así efectuar la recuperación de la red; a manera de frenar el proceso de deterioro ligero inexorable de la red, además de proseguir con la recalificación duradera de los pavimentos, de los**

**que el estado de deterioro impide tomarlos en cuenta en los programas de mantenimiento preventivo.**

## **Capítulo IX: FUENTES Y REFERENCIAS.**

**1. "Módulo técnico del Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP Versión 2.0) Manual del Usuario."**

Rico A., Orozco J. M., Téllez R., Durán G. y Aguerrebere R. (1995).

Documento Técnico no. 15; Sanfandila, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

**2. "Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de carreteras mexicanas."**

Téllez R. (1991).

Publicación Técnica no. 21; Sanfandila, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

**3. "Estado superficial y costos de operación de carreteras."**

Aguerreberere R. y Cepeda F. (1991).

Publicación Técnica no. 30; Sanfandila, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

**4. "Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias."**

Rico A., Téllez R. y Garnica P. (1998).

Publicación Técnica no. 104; Sanfandila, Qro.  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

5. "Evaluación estructural no destructiva de pavimentos."

López L. C. y A. Mendoza A. (1998).  
Publicación Técnica no. 107; Sanfandila, Qro.  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

6. "Índice Internacional de Rugosidad, aplicación a la red carretera de México."

Arriaga M. C. (1998).  
Publicación Técnica no. 108; Sanfandila, Qro.  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

7. "Diagnóstico de las características superficiales de los pavimentos."

Arriaga M. C. y Gamica P. (1998).  
Publicación Técnica no. 111; Sanfandila, Qro.  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

8. "Algunos aspectos comparativos entre pavimentos flexibles y rígidos."

Rico A., Mendoza A., Téllez R. y Mayoral E. (1998).  
Publicación Técnica no. 103; Sanfandila, Qro.  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

9. "Seminario Internacional de Pavimentos."

Memoria. Sanfandila, Qro. 1998.  
Instituto Mexicano del Transporte.  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

10. "PROVIAL, Chihuahua '98 : Mantenimiento vial sostenido, el reto del siglo XXI."

Memoria. 1998.  
Maestría en Vías Terrestres.  
Facultad de Ingeniería.  
Universidad Autónoma de Chihuahua.

11. "Estudio y establecimiento de criterios sencillos y homogéneos de evaluación del estado de redes de carreteras".

XX Congreso Mundial de Carreteras de Montreal. 1998.  
Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.

12. "Coloquio Franco – Mexicano sobre el Mantenimiento de Carreteras y Obras Pesadas, Dispositivos de Señalamiento y Seguridad en Carretera."

Memoria. 1995.  
Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.  
Periférico Sur No. 4839, Col. Parques del Pedregal.  
México, D. F.



13. "Planeación Estratégica de la Dirección General de Conservación de Carreteras."

Mejía I. (1995).

Tesis. México, D. F.

Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM).

14. "Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments."

Publication no. FHWA – SA – 98 – 042. 1997.

U. S. Department of Transportation.

Federal Highway Administration.

15. "Aditivo Sellador para Pavimentos A. S. I."

Aditivos Selladores e Impermeabilizantes S. A. de C. V.

Pelicano 107 – A, San Juan de Aragón, C. P. 07470

Tel. (5) 781 04 10, (5) 750 03 49, (5) 781 60 82.

Fax (5) 577 95 06.

16. "CPM, The Pavement Maintenance Company."

California Pavement Maintenance Company, Inc.

9390 Elder Creek Road.

Sacramento, CA. 95829. U. S. A.

Tel. (916) 381 8033 Ext. 203, 556.

Fax (916) 387 0664.

[www.cpmamerica.com](http://www.cpmamerica.com)

17. "Status del S. M. A. (Stone Mastic Asphalt) con Viatop 66 en la República Mexicana."

Valdés V. (1999).  
Estabilizadores Asfálticos S. A. de C. V.  
Cd. Satélite No. 53102.  
Tlalnepantla, Edo. de México, 54030.  
Aparatado Postal No. 485.  
Tel. (5) 390 29 56, (5) 887 38 38.  
Fax (5) 887 38 38.

18. "Manual Internacional de Conservación de Carreteras."

Volumenes I, II, III, IV.  
P.I.A.R.C. (AIPCR).

19. "Criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles para aeropuertos".

Téllez R. (1986).  
Revista IMCYC, Vol. 24, No. 186 / Noviembre / 1986.

20. "Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (Programa SISTER)."

Ingeniería Civil 324.  
Abril 1996.

21. Fondo Editorial IMCYC 2000: Publicaciones y Videos.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.  
[www.imcyc.com](http://www.imcyc.com)

22. NLT – 175/88. “Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL”.

23. NLT – 335/87. “Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena”.

24. Banco Mundial.

[www.worldbank.org/html/fpd/transport/roads/safety.htm](http://www.worldbank.org/html/fpd/transport/roads/safety.htm)

25. PIARC. (AIPCR)

[www.piarc.org](http://www.piarc.org)

26. Entrevista:

Ing. Diana B. López V.

Investigadora del Área de Laboratorio de Pavimentos. IMT.

Sanfandila, Qro. 2000.

## **Capítulo X: APÉNDICES.**

### **IX.1. APÉNDICE A: PROCEDIMIENTO PARA LA CORRELACIÓN DEL IRI CON UN EQUIPO DE TIPO RESPUESTA (MAYS RIDE METER).**

*Levantamiento topográfico de los tramos de prueba.*

Se seleccionan cuatro tramos de 500 m, en función de su estado superficial, que contengan un nivel representativo de los caminos que posteriormente serán evaluados.

Se recomienda que los tramos sean rectos y que se ubiquen, de ser posible, en carreteras con poco tránsito (principalmente los tramos con condición superficial de regular a mala).

Según el criterio del responsable, se puede hacer una prueba con el equipo de evaluación, sobre los tramos seleccionados, a fin de verificar si entre ellos existen diferencias en el estado superficial. En caso de que existan tramos con valores muy similares de rugosidad, con la unidad propia del equipo, se hará la selección de otro tramo mediante la medición con el equipo.

Una vez seleccionados los tramos de prueba, se procede a realizar el levantamiento topográfico del perfil longitudinal, sobre las rodadas del camino y/o en las huellas por donde pasará el equipo de medición de rugosidad. El levantamiento se realizará con nivel y estadal, a cada 50 cm, para lo cual se

tomarán las medidas de seguridad adecuadas para el personal que realiza el estudio, dependiendo de las condiciones topográficas y del tránsito del camino.

Es necesario colocar marcas sobre el pavimento para localizar los puntos inicial y final del levantamiento, así como la dirección de la rodada para su posterior identificación.

Se recomienda que en el registro de lecturas se reporten las características de algunos puntos de importancia, que puedan ayudar a la ubicación e interpretación de las elevaciones tales como baches, corrimientos de asfalto, entradas y salidas de alcantarillas, etc.

#### *Filtro de datos y cálculo del IRI.*

Se introducen los datos del levantamiento en una hoja de cálculo, en la cual se hace un filtro con los datos para determinar posibles errores en la medición o captura de los datos.

Este filtro se realiza graficando las diferencias de altura de todos los puntos del levantamiento de la siguiente manera:

Supóngase que en la columna A se encuentran el número de puntos evaluados desde 1 hasta "n"; en la columna B están los datos de las alturas del levantamiento topográfico, así la altura  $Y_1$  para cuando  $X = 0$  m se encuentra en la celda  $B_1$ , la altura  $Y_2$  para cuando  $X = 0.5$  m está en la celda  $B_2$  y así sucesivamente hasta "n"; en la celda  $C_2$  se escribe la fórmula:  $+ A_2 - A_1$ , que representa la diferencia de alturas entre el punto actual y el anterior ( $Y_2 - Y_1$ ), esta fórmula se copia para el resto de la columna C, excepto para  $C_1$ .

Se grafica la columna A en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas la columna C, se observa como los valores de las diferencias de alturas siguen

una cierta secuencia que se puede representar mediante una banda o un intervalo flexible. Si todos los valores se encuentran dentro de esta banda o no son mayores al doble de ella se puede afirmar que los datos son correctos (ver fig. 15). En el caso de que existan valores que se salen del doble de este intervalo, se determina si alguno o algunos de ellos son los puntos de importancia que se registraron en el levantamiento topográfico, en caso contrario se procede a analizar la secuencia de las diferencias de alturas anteriores y posteriores en la columna C al dato incorrecto para ser modificado de una manera aproximada. Observe como en la figura 16, se presentan cuatro puntos que se salen del doble de la banda que se mencionó, estos valores ya corregidos se presentan en la figura anterior.

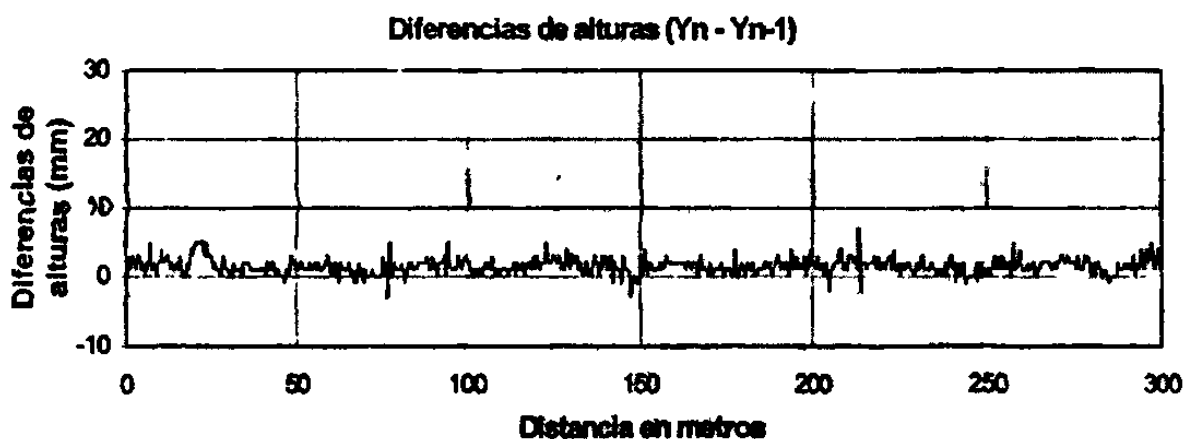


Figura 15. Diferencia de alturas de un tramo (datos filtrados y corregidos).

Con los datos del perfil ya corregido se introducen en el programa del Banco Mundial para el cálculo del IRI y con los coeficientes correspondientes a la distancia del levantamiento (50 cm), se calcula el Índice Internacional de Rugosidad de cada rodada. Con el valor del IRI para cada una de las rodadas se promedian para obtener el valor del IRI en ese tramo. Se puede dividir el tramo de 500 m en dos secciones para obtener dos valores de IRI para cada sección de 250 m, a fin de comparar las mediciones de éstos con las de los valores obtenidos por el equipo de medición de rugosidad.

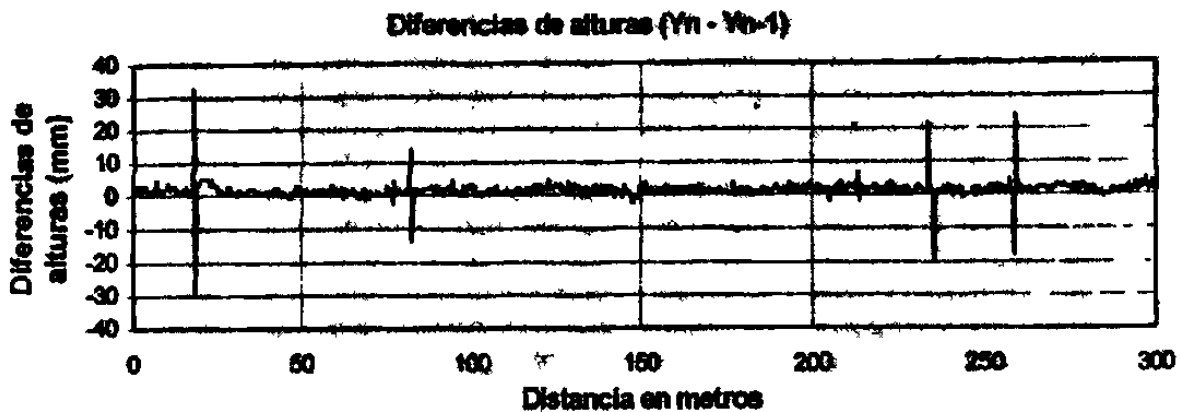


Figura 16. Diferencias de alturas de un tramo sin filtrar los datos del levantamiento.

En las figuras 17, 18 y 19, se presentan las gráficas de tres tramos de 300 m cada uno, con diferentes valores del IRI (desde un pavimento en excelentes condiciones hasta uno en condiciones críticas).

La primera figura presenta tres gráficas de un tramo de carretera cuyo IRI es de 1.6 m/km. Se observa en primer lugar la gráfica del perfil del camino, obtenida con los datos del levantamiento topográfico. Debido a la escala de la gráfica no se observan diferencias importantes de un punto a otro, por lo que en la segunda gráfica se muestran las diferencias de alturas entre cotas, esta gráfica nos permite comparar el comportamiento de un tramo en buenas condiciones con tramos con grados de deterioro más avanzado como en las otras dos figuras. En la tercera gráfica de la primera figura se encuentran los valores del IRI en cada punto, y se obtiene con los datos de salida del programa.

En la segunda y tercera figuras se presentan las gráficas de los tramos con IRI de 4.7 y 9.0 m/km respectivamente. Observe las gráficas de las diferencias de altura de cada uno de los tramos, ya que estas diferencias son los datos de entrada del perfil al programa del cálculo del IRI, por lo que a mayor amplitud de diferencias de alturas el IRI aumenta.

*Medición de la rugosidad con el equipo.*

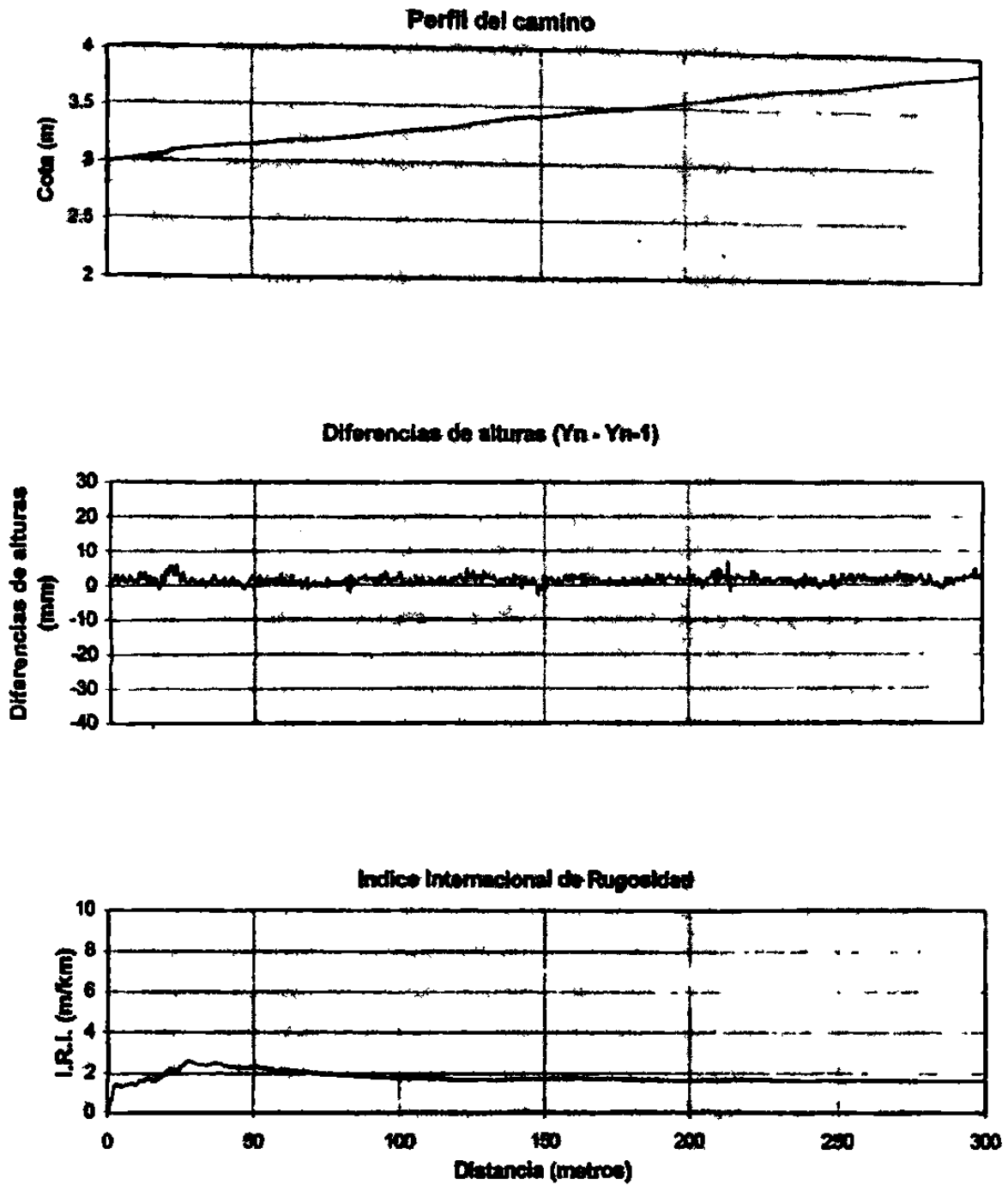


Figura 17. Gráficas de un tramo de 300 m con un valor de IRI = 1.6 m/km.



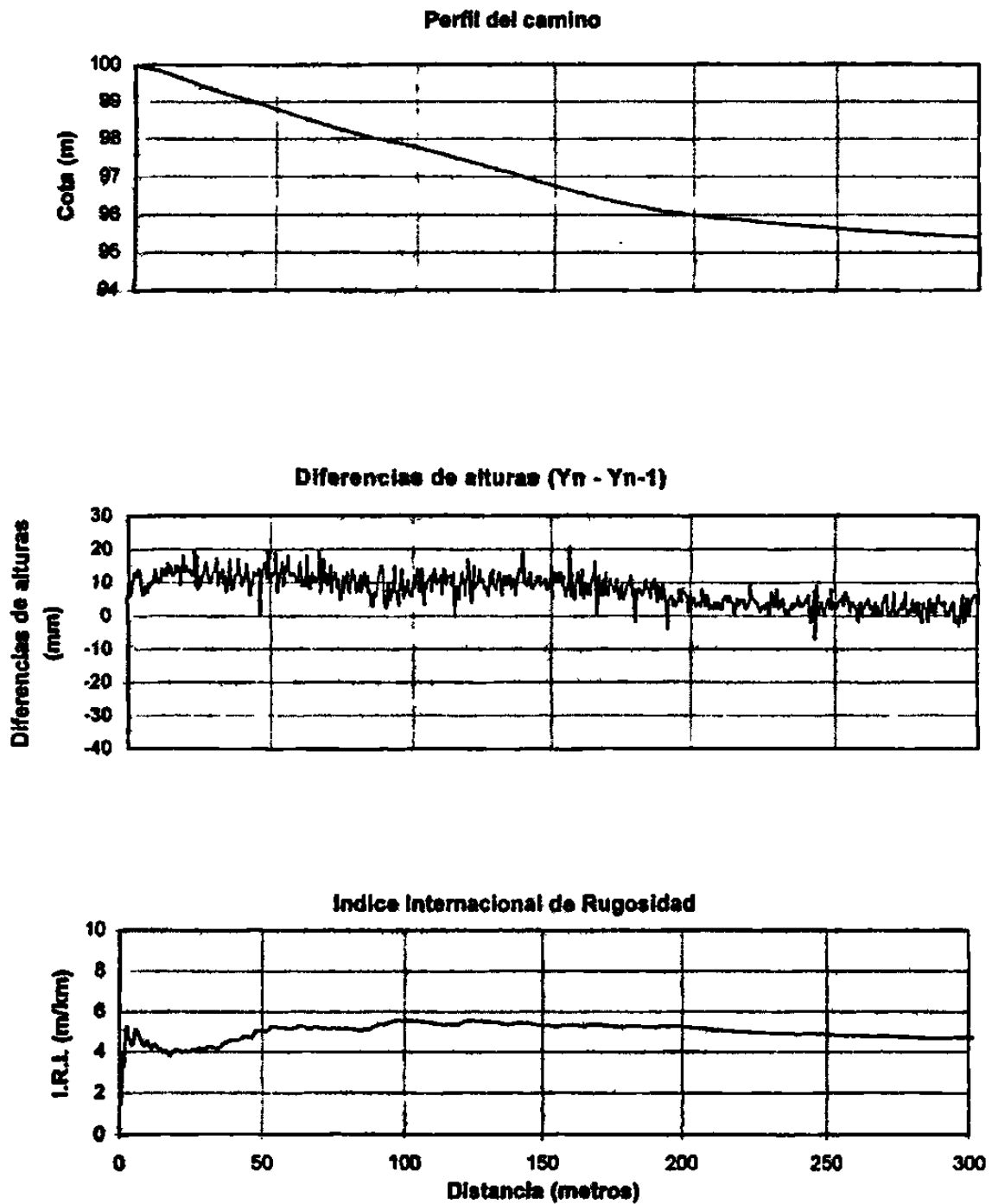


Figura 18. Gráficas de un tramo de 300 m con un valor de IRI = 4.7 m/km.

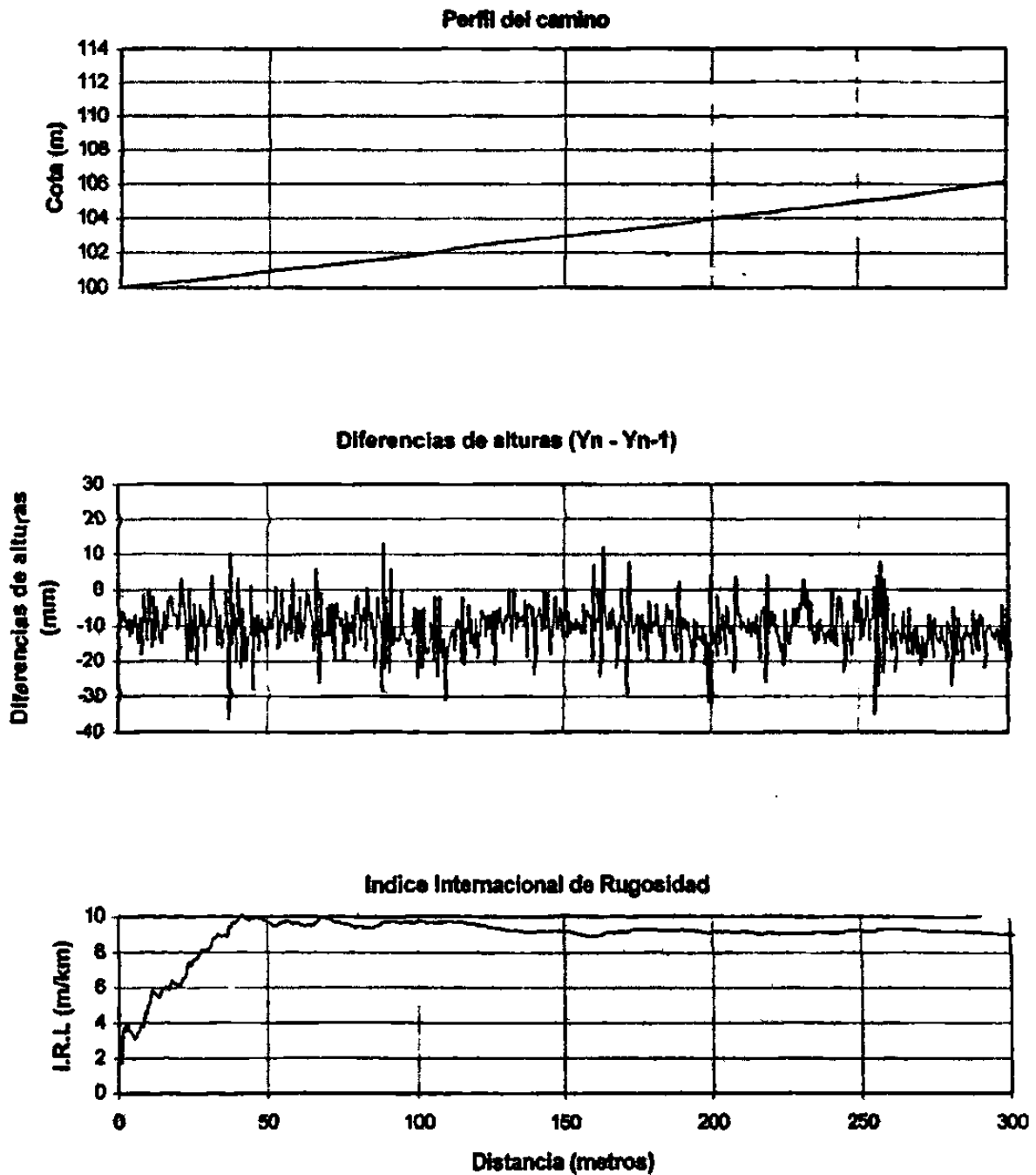


Figura 19. Gráficas de un tramo de 300 m con un valor de IRI = 9.0 m/km.

Teniendo los tramos ubicados y su valor de IRI, se realiza la medición de la rugosidad con el equipo, con un mínimo de tres pasadas sobre el tramo, a cada una de las velocidades a las cuales se requiera realizar la correlación con el IRI. La elección de estas velocidades obedece al nivel de velocidad que recomiendan los diseñadores de los equipos y a la velocidad a la cual se pretendan hacer las evaluaciones posteriores dependiendo de los tipos y características de los caminos a calificar; el equipo Mays Ride Meter tiene un buen comportamiento, a velocidades entre 60 y 80 km/hr.

Por cada una de las velocidades se registran los valores de los conteos (para el caso del Mays Ride Meter), obteniéndose el promedio de las mediciones. Se toma la precaución de eliminar los registros que difieren en  $\pm 7\%$  del promedio, calculándose nuevamente el valor medio de la población restante.

Se recomienda que antes de efectuar las mediciones, se observen las especificaciones del equipo proporcionadas por el proveedor o por normas vigentes y verificar que el equipo se encuentre trabajando correctamente. Debe verificarse también que las condiciones en las que el equipo será correlacionado en los tramos de prueba, sean similares a las que serán utilizadas para las mediciones de la red de caminos a evaluar posteriormente (presión de inflado de llantas, que el vehículo de arrastre del equipo sea el mismo, componentes del remolque, etc.). debe verificarse que el odómetro del equipo de medición de rugosidad esté trabajando y midiendo correctamente, ya que los datos de salida están en función de la longitud recorrida.

#### *Gráfica de correlación.*

Se realiza una gráfica con el valor medido con el equipo para cada una de las velocidades y el valor del IRI obtenido en cada uno de los tramos evaluados; se traza la línea de tendencia o regresión que mejor se ajuste al conjunto de datos, ésta puede ser lineal, logarítmica, exponencial, etc. y se calcula la fórmula de

correlación. En la figura 20, se muestra un ejemplo de la calibración de un equipo tipo respuesta (Mays Ride Meter).

$$\text{IRI} = 0.0025(\text{CONTEOS}) + 0.61$$

$$R^2 = 0.98$$

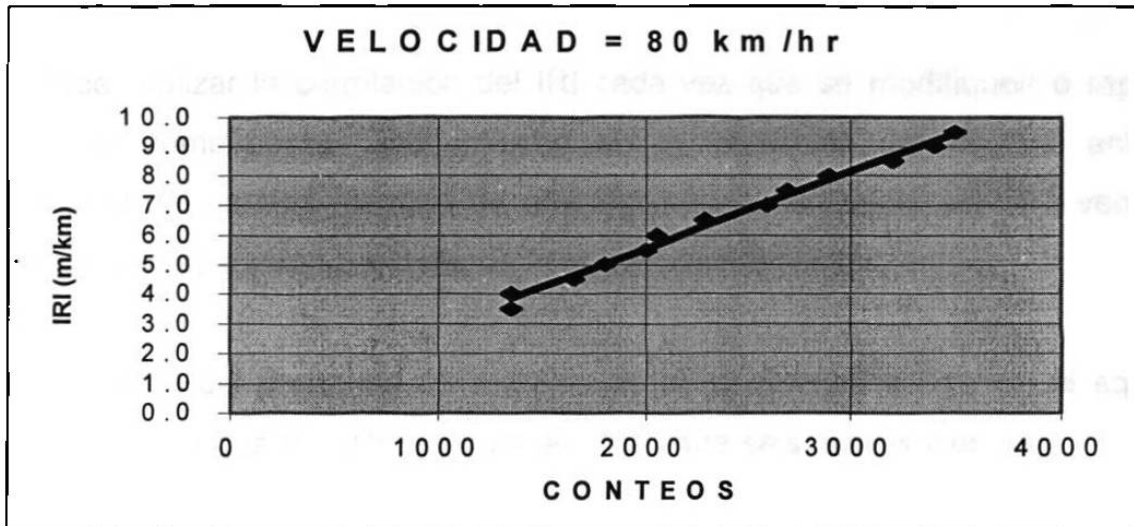


Figura 20. Gráfica de correlación de un Mays Ride Meter.

Si los datos en la gráfica no presentan una cierta línea de tendencia, deberán revisarse las especificaciones y las variables que intervienen en la correlación. Algunos de los pasos a seguir son:

- Leer las especificaciones del equipo, para detectar posibles indicaciones de uso y restricciones que puedan afectar los valores de salida.
- Revisar el equipo, para detectar posibles anomalías (suspensión, cables, sistema de registro o de cómputo, etc.).
- Verificar que los resultados de las mediciones del equipo correspondan al valor de los tramos evaluados.
- Revisar el cálculo del IRI, esto se hace nuevamente mediante la entrada de los datos del perfil en el programa del Banco Mundial y se puede

revisar por medio del algoritmo de la Viga de Tres Metros, ya que el programa puede estar dañado.

*Periodo de correlación.*

Se debe realizar la correlación del IRI cada vez que se modifiquen o reparen partes o componentes que influyan en la respuesta del equipo, ante la rugosidad del camino (cambio de amortiguadores, utilización de otro vehículo de arrastre, reparación por daño de la registradora de datos, etc.).

Dependiendo del programa de trabajo que se encuentre realizando el equipo, se recomienda que la calibración se efectúe entre seis meses y un año.

*Evaluación en los caminos.*

Una vez calibrado el equipo, se procede a identificar los tramos que serán evaluados, para ello se requiere conocer los datos necesarios del camino tales como nombre, kilometraje, sentido, número de carriles, etc., así como también es importante conocer los datos del equipo, la fecha de la calibración y los nombre de los operadores.

Es necesario hacer referencia, al inicio de la evaluación, con base en un punto fijo, ya que es común que el kilometraje que va registrando el equipo no coincida con el marcado en el camino.

La evaluación en campo consiste en pasar el Mays Ride Meter en cada uno de los carriles que componen el camino, a una velocidad específica. Esta velocidad estará fijada por el tipo de camino y por la velocidad de calibración del equipo.

Durante este recorrido, es conveniente realizar un levantamiento visual de deterioros que permita tener una idea de las posibles causas de los valores del

**Índice Internacional de Rugosidad. Existen algunos deterioros que no influyen en los valores de la rugosidad; sin embargo, es necesario reportarlos para su reparación.**

**Para el levantamiento visual de deterioros es conveniente diseñar una hoja donde se especifiquen los daños más frecuentes que se presentan en los caminos; como agrietamientos longitudinales, agrietamientos "piel de cocodrilo", baches, deterioros en zonas reparadas, deformaciones longitudinales, corrimientos, roderas, aproches de puentes y alcantarillas, etc.**

**Para puntos especiales en un camino en el que no se pudiera evaluar con el equipo: zonas de topes, curvas cerradas, tramos bastante dañados, etc., el encargado de la evaluación decidirá con los datos obtenidos, antes y después de estos puntos, el valor de la rugosidad para ese tramo o, si lo considera necesario, pasar un perfilógrafo para evaluar esa longitud del camino. Los topes no se consideran dentro de la rugosidad de un camino.**

**Se considera que, para fines de evaluación, es necesario un recorrido con el equipo sobre el carril del camino. Si el equipo hubiese presentado problemas a la hora de evaluar o hubo la necesidad de cambiar de velocidad en el recorrido por alguna causa, es necesario hacer otro movimiento similar. Para fines de control de calidad, el número de pasadas del equipo sobre el tramo estará fijado por el proyecto. Es difícil que dos pasadas con el equipo sobre el mismo tramo den resultados iguales, debido a la diferencia de puntos recorridos por cada una de las huellas de las llantas en cada pasada; sin embargo, estos resultados no deben de diferir en más de 15%.**

**El reporte de resultados de esta evaluación debe contener los datos específicos del tramo, los valores de la rugosidad en la escala de IRI a cada 500 m o a cada kilómetro, los deterioros observados durante los recorridos y un condensado del**

**IRI de cada 5 km para la introducción de la rugosidad, a los Sistemas de Administración de Pavimentos (SIMAP).**

**X.2. APÉNDICE B: ESTUDIO Y ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS SENCILLOS Y HOMOGÉNEOS DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DE REDES DE CARRETERAS (CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA).**

| <b>DETERIOROS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO</b> |  |   |
|---|--|---|
| <b>PAÍS</b>                                   | <b>ÍNDICE</b>                              | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
| Argentina.                                    | Desprendimientos: 1 a 10.                  | Función del % de peladuras, superficies y % de baches descubiertos.   |
| Chile.  | Bueno.                                     | Agrietamiento menor de 1%.  |
|   | Medio.                                     | Agrietamiento menor de 30%.   |
|   | Regular.                                   | Agrietamiento mayor de 30%.   |
| España.                                       | %.   | Porcentaje de superficie de calzada del tronco de la carretera con baches no reparados definitivamente, zonas cuarteadas y grietas no selladas o con sellado defectuoso. Para el cómputo general se considera que 1 m de grieta simple equivale a 1 m <sup>2</sup> de superficie deteriorada. |
| Honduras.                                     | % deficiencias.                            | Bueno, regular, malo.   |
| México.                                       | 1 a 5.                                     | Inspección visual. Mide deformaciones, grietas, calaveras, baches y textura.  |
| Puerto Rico.                                  | % deterioro.                               | Manual AASHTO, SHRP, visual ARAN. En densidad y severidad.  |
| Colombia                                      | Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo. | Inspección visual.  |
| Ecuador.                                      |  | Se cuantifica.  |
| Paraguay.                                     | 1 - 5.                                     | Hay diferentes niveles dependiendo del tipo de deficiencias y severidad. Inspección visual. Hay un cuadro bastante claro.   |
| Uruguay.                                      | %.   | Inspección visual. Dependiendo del % baja, media, alta. Dependiendo de la severidad.  |
| <b>ROZAMIENTO TRANSVERSAL</b>                 |  |   |
| España.                                       |  | % de longitud de carril auscultado que tiene coeficiente de rozamiento transversal menor al recomendado.  |
| Puerto Rico.                                  |  | Existe inventario con coeficiente mínimo de 4. No hay índice. Sí hay medición.  |
| Ecuador.                                      |  | Péndulo TRL, son aceptables mayores que 0.55.   |



| <b>REGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN FIRME (RUGOSIDAD EN ALGUNOS PAÍSES)</b> |               |   |  |
|--|---------------|---|--|
| <b>PAÍS</b>  | <b>ÍNDICE</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |  |
| Argentina.   | 0 a 10.       | Función del valor de la rugosidad (m/km).                                     |  |
| Bolivia.   |               | 5   | Inspección visual.   |
|  |               | 4   | Fisuras menores de 5 mm, baches 1%, rugosidad 10 - 20 QL - 7 mm. |
|  |               | 3   | Fisuras mayores de 5 mm, rugosidad 20 - 30 QL - 7 a 9 mm.        |
|  |               | 2   | Baches mayores de 30%, rugosidad 30 - 50 QL - 9 a 11 mm.         |
|  |               | 1   | Baches profundos 10%, superficial 45% mayores que 11 mm.         |
| Chile.   | Bueno.        | 0 - 3 IRI.  |  |
|  | Medio.        | 3 - 4 IRI.  |  |
|  | Regular.      | Mayores de 4 de IRI.  |  |
| España.  |               | IRI y TRL.  |  |
| Honduras.  | Bueno.        | IRI menor que 3.5.  |  |
|  | Medio.        | IRI de 3, 5 - 6.  |  |
|  | Regular.      | IRI mayor que 6.  |  |
| México.  |               | Hay referencia pero no indica ni los niveles mínimos ni el índice de textura. |  |
| Puerto Rico.   |               | IRI, PI.  |  |
| Colombia.  |               | IRI.  |  |
| Ecuador.   |               | IRI y TRL.  |  |
| Paraguay.  |               | Índice QL.  |  |
| Uruguay.   |               | Asfalto.  | Concreto. IRI.   |
|  | Muy bueno.    | Menor 3.2   | Menor 2.8  |
|  | Bueno.        | 3.2 - 3.9   | 2.8 - 3.5  |
|  | Regular.      | 4.0 - 4.6   | 3.6 - 4.3  |
|  | Malo.         | Mayor 4.6   | Mayor 4.3  |
| <b>REGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN FIRME (RUGOSIDAD EN ALGUNOS PAÍSES)</b> |               |   |  |
| <b>PAÍS</b>  | <b>ÍNDICE</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |  |
| Honduras.  | Bueno.        | IRI menor que 3.5.  |  |
|  | Medio.        | IRI de 3, 5 - 6.  |  |
|  | Regular.      | IRI mayor que 6.  |  |
| México.  |               | Hay referencia pero no indica ni los niveles mínimos ni el índice de textura. |  |
| Puerto Rico.   |               | IRI, PI.  |  |
| Colombia.  |               | IRI.  |  |
| Ecuador.   |               | IRI y TRL.  |  |
| Paraguay.  |               | Índice QL.  |  |
| Uruguay.   |               | Asfalto.  | Concreto. IRI.   |
|  | Muy bueno.    | Menor 3.2   | Menor 2.8  |
|  | Bueno.        | 3.2 - 3.9   | 2.8 - 3.5  |
|  | Regular.      | 4.0 - 4.6   | 3.6 - 4.3  |
|  | Malo.         | Mayor 4.6   | Mayor 4.3  |

| <b>ESTADO ESTRUCTURAL DE FIRMES FLEXIBLES O SEMIRÍGIDOS</b> |  |   |
|---|--|---|
| <b>PAÍS</b>   | <b>ÍNDICE</b>                              | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
| Argentina.  | 2, 4, 6, 8, 10.                            | Según catálogos de fisuraciones, aumentando el valor del índice a aumentar la severidad de la fisuración. |
| Chile.  |  | Deflexiones. Comparan con el requerido en el proyecto.  |
| España.   |  | % longitud del carril de pesados no rígido con deterioro debido a la fatiga. Sólo carriles exteriores.    |
| Puerto Rico.  |  | Defectógrafo y equipo ARAN.   |
| Colombia.   |  | Deflexiones.  |
| Ecuador.  |  | Deflexiones.  |
| Paraguay.   | 1 a 5.                                     | Medidas de huellamiento con regla de 1.2 m.   |
| <b>ESTADO DE TALUDES CON PROBLEMAS</b>                      |  |   |
| Chile.  |  | Hay inventario, pero no hay índice.   |
| España.   |  | % de longitud de cuneta que requieren limpieza y/o reparación sobre el total.                             |
| Honduras.   | Bueno / Medio / Regular.                   |   |
| Puerto Rico.  |  | Existe un inventario.   |
| Colombia.   | Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo. |   |
| Ecuador.  |  | Existe un inventario, pero no hay índice.   |
| <b>ESTADO DE CUNETAS</b>                                    |  |   |
| Bolivia.  | 5  |   |
|   | 4  |   |
|   | 3  | Obstruido 30 - 50%.   |
|   | 2  | Mayor que 50%.  |
|   | 1  | 100%.   |
| Chile.  |  | Se indican las características del perfecto estado.   |
| España.   |  | % longitud de cuneta que requieren limpieza y/o reparación sobre el total.                                |
| Honduras.   | Bueno / Medio / Regular.                   | Inspección visual.  |
| México.   |  | Lo analiza dentro del campo del drenaje.  |
| Puerto Rico.  |  | Video ARAN, hay inventario.   |
| <b>ESTADO DE CUNETAS</b>                                    |  |   |
| Ecuador.  |  | Inspección visual. Revisión de estado.  |
| Paraguay.   |  | Dependiendo del alcance de los problemas en el campo de drenaje.  |
| Uruguay.  | Bueno / Medio / Regular.                   | Existen varios inventarios. No están definidos criterios de índices. Se evalúa visualmente.               |
| <b>DRENAJE PROFUNDO</b>                                     |  |   |
| España.   |  | % de longitud de drenaje que requiere limpieza y/o reposición.  |
| México.   | 1 a 5.                                     | Alcantarillas, cunetas, pendiente y lavadero.   |
| Puerto Rico.  |  | Inspección visual. Microcámara, drenaje francés, drenaje con tubería.                                     |
| Colombia.   | Muy bueno, bueno, regula ; malo, muy malo. | Inspección visual.  |
| Ecuador.  |  | Inspección visual. Revisión de estado.  |
| Paraguay.   | Bueno, 1. Regular, 2, 3. Malo, 4, 5.       | Incluido cunetas, drenes, pendientes y alcantarillas.   |

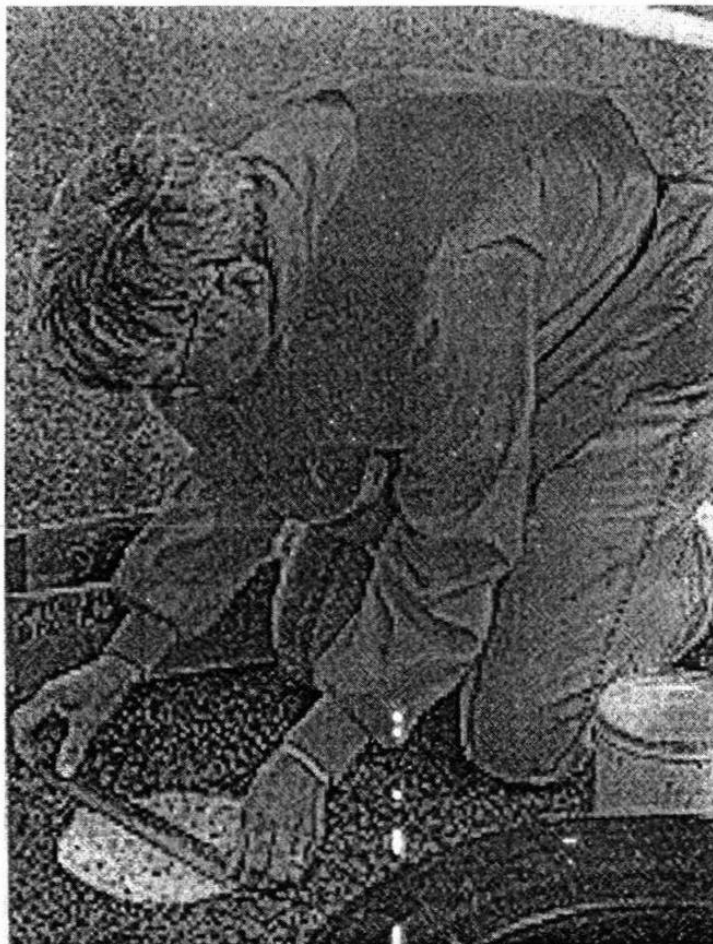
| <b>ESTADO DE CAÑOS, TARJEAS Y ALCANTARILLAS</b> |  |  |
|---|--|--|
| <b>PAÍS</b>                                     | <b>ÍNDICE</b>                              | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
| Bolivia.  | 5 a 1.                                     | Medición individual. De mejor a peor.  |
| Chile.  |  | Condiciones de su buen estado.   |
| España.   |  | % del número de caños, tarjeas y alcantarillas que necesitan limpieza y/o reposición.  |
| México.   |  | Incluido en el drenaje.  |
| Puerto Rico.                                    |  | Inspección visual. Evaluaciones hidrológicas e hidráulicas.  |
| Colombia.                                       | Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo. | Inspección visual.   |
| Ecuador.  | Bueno, semiobstruido, obstruido.           | Inspección visual, 0 - 10%, 10 - 50%, 50 - 100%.   |
| Paraguay.                                       |  | Incluido en el drenaje.  |
| <b>ESTADO DE ZONAS A SEGAR</b>                  |  |  |
| Chile.  |  | Condiciones de su buen estado.   |
| España.   |  | A criterio del ingeniero responsable: B: bueno, A: aceptable, D: deficiente.   |
| México.   |  | Inspección visual. Incluido en el concepto de Derecho de Vía.  |
| Puerto Rico.                                    |  | Siega: de forma visual.  |
| Ecuador.  |  | Índices muy desarrollados: calcula pesos, alturas, etc.  |
| <b>ESTADO DE LOS PONTONES</b>                   |  |  |
| Bolivia.  | 5 a 1.                                     |  |
| Chile.  |  | Sólo dice las condiciones visuales de buen estado.   |
| España.   |  | Inspección visual. Revisión general de los elementos del puente: apoyo, cimentaciones, rodadura, baches, juntas.                                       |
| Honduras.                                       | Bueno / Medio / Regular.                   | Inspección visual.   |
| México.   |  | Está sistematizado su control.   |
| <b>ESTADO DE LOS PONTONES</b>                   |  |  |
| Puerto Rico.                                    |  | Inspección visual. Computarizadas. Evaluación estructural cada tres años, críticas cada año. Pasarelas y rayos X, magnética, ultrasonidos, radar, etc. |
| Colombia.                                       | Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo. |  |
| Ecuador.  |  | Inspección visual. Revisión general de los elementos del puente: apoyo, cimentaciones, rodadura, baches, juntas.                                       |
| <b>ESTADO EN MUROS</b>                          |  |  |
| Bolivia.  | 5 a 1.                                     | En general son múltiples elementos.  |
| España.   |  | % de longitud de muro que requiere alguna reparación.  |
| Honduras.                                       | Bueno / Medio / Regular.                   | Inspección visual.   |
| Colombia.                                       | Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo. | Inspección visual.   |

| <b>ESTADO DE SEÑALIZACIÓN VERTICAL</b>        |                          |  |
|---|--------------------------|--|
| <b>PAÍS</b>                                   | <b>ÍNDICE</b>            | <b>DESCRIPCIÓN</b>   |
| Argentina.                                    |                          | En un futuro pedirán un inventario de señalización a los contratos de conservación.                                    |
| Bolivia.                                      | 5 a 1.                   |  |
| España.                                       |                          | % de longitud del número de señales y carteles que requieren reposición o recolocación.                                |
| Honduras.                                     | Bueno / Medio / Regular. | Inspección visual. Mide la cantidad de señales que son necesarias.   |
| México.                                       | 1 a 5.                   | Se miden fantasmas y poste ilométrico.   |
| Ecuador.                                      | Muy bueno.               | Óptimas condiciones, bien elemento y señal.  |
|   | Bueno.                   | Bien elementos y reflexibilidad.   |
|   | Regular.                 | Desprendimientos parciales, óxidos y manchas.  |
|   | Malo.                    | Mal estado en general.   |
| Uruguay.                                      |                          | En un futuro pedirán un inventario de señalización a los contratos de conservación.                                    |
| <b>ESTADO DE MARCAS VIALES LONGITUDINALES</b> |                          |  |
| Bolivia.                                      | 5                        |  |
|   | 4                        | Más de un año para volver a pintar.  |
|   | 3                        | Hay que pintar antes de un año.  |
|   | 2                        | Pintado de inmediato.  |
|   | 1                        | No existe señal.   |
| España.                                       |                          | % de longitud de marca vial que requiere ser repintada sobre el total.   |
| Honduras.                                     | Bueno / Medio / Regular. | Inspección visual.   |
| México.                                       | 1 a 5.                   | Controlan líneas central, lateral y otras.   |
| Ecuador.                                      | Muy bien.                | Inspección visual por la noche con niebla o lluvia.  |
|   | Bueno.                   | Pintura de menos de tres meses.  |
|   | Regular.                 | Pintura de menos de seis meses.  |
|   | Malo.                    | Pintura de menos de nueve meses.   |
|   | Muy malo.                | Pintura de más de nueve meses.   |
| <b>ESTADO DE MARCAS VIALES LONGITUDINALES</b> |                          |  |
| Uruguay.                                      |                          | Miden reflexibilidad (200 - 150 - 100 - 80) (MB-B-R-M). Color, coordenadas cromáticas. Desgaste, método muy elaborado. |

**X.3. APÉNDICE C: MEDIDA DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO POR EL MÉTODO DEL CÍRCULO DE ARENA (NLT 335/87). (MACROTEXTURA)**

*Objeto y campo de aplicación.*

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena.



**Figura 21. Prueba del "Círculo de Arena".**

En general el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto bituminoso como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen determinado de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado.

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los huecos rellenos por la arena, valor que puede utilizarse como medida de la rugosidad o textura superficial del pavimento (ver fig. 22).

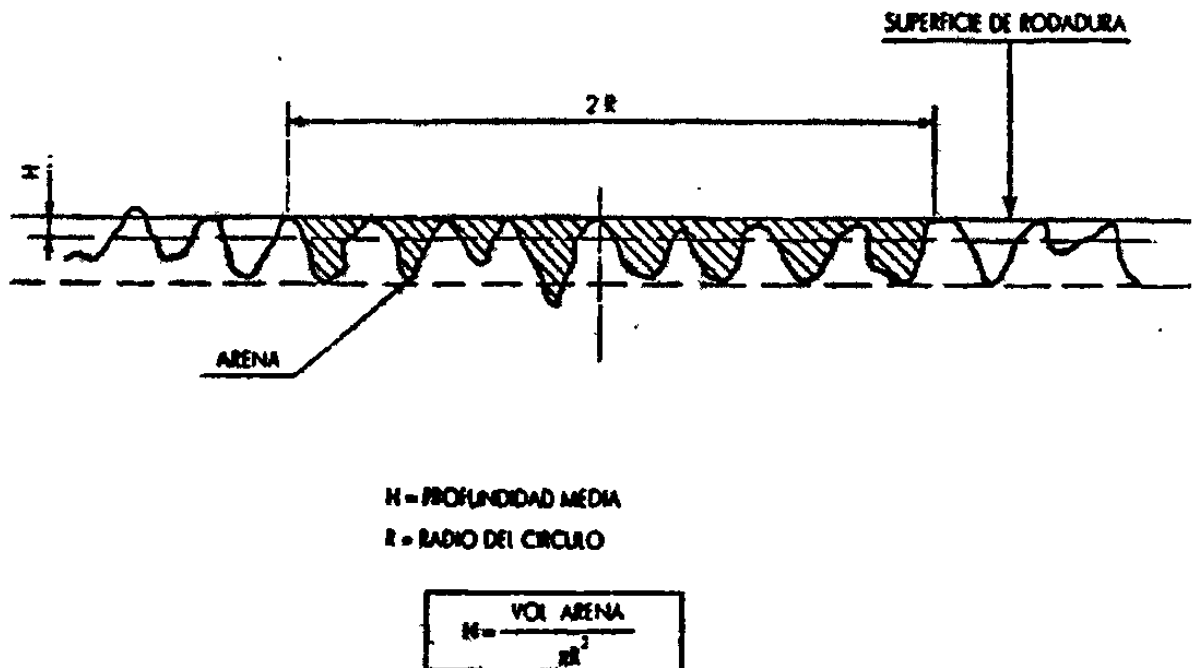


Figura 22. Ensayo del "Círculo de Arena".

#### *Aparatos y material necesarios.*

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

50000 ± 200 mm<sup>3</sup>

25000 ± 150 mm<sup>3</sup>

10000 ± 100 mm<sup>3</sup>

Un tampón para extender y enrasar la arena, formado por un disco de madera con mango, provisto en su cara inferior de un disco de goma dura.

Un compás de puntas rígidas para medir radios de hasta 20 cm.

Una regla metálica o de plástico de 200 mm de longitud como mínimo y graduada en mm.

Dos recipientes de plástico de boca ancha y tapón roscado para el transporte de la arena, de unos 2 lt de capacidad.

Un cepillo de pelo blando.

Arenas para ensayo. Se utilizarán dos tipos de arena silíceas de río, de grano redondeado, lavada y secada en estufa a temperaturas entre 105 y 110 °C, y con las siguientes granulometrías:

- Arena tipo 50 – 80, que pasa por el tamiz UNE 320 µm y queda retenida en el tamiz UNE 160 µm.
- Arena tipo 80 – 200, que pasa por el tamiz UNE 160 µm y queda retenida en el tamiz UNE 80 µm.

Dispositivo para proteger del viento la zona de medida, formado por varias chapas metálicas rectangulares unidas por argollas, capaces de formar una barrera circular alrededor del punto de ensayo que impida que el viento pueda

arrastrar la arena. Si no se dispone de este útil, puede recurrirse a un neumático usado de camión.

Calentador portátil de gas, con bombona y boquilla.

*Procedimiento.*

Se eligen las zonas a ensayar, que se marcarán convenientemente en la calzada. En cada ensayo se realizará un mínimo de cinco determinaciones, alineadas en la dirección del eje de la vía y separadas 1.00 m entre sí.

El volumen y granulometría de la arena a emplear se elegirá en función de la textura del pavimento, de tal forma que el radio del círculo resultante esté comprendido entre 5 y 18 cm y el tamaño máximo del grano no sea superior a la profundidad media obtenida. En el ábaco de la figura 23, se señalan los campos de empleo para cada volumen y granulometría de la arena.

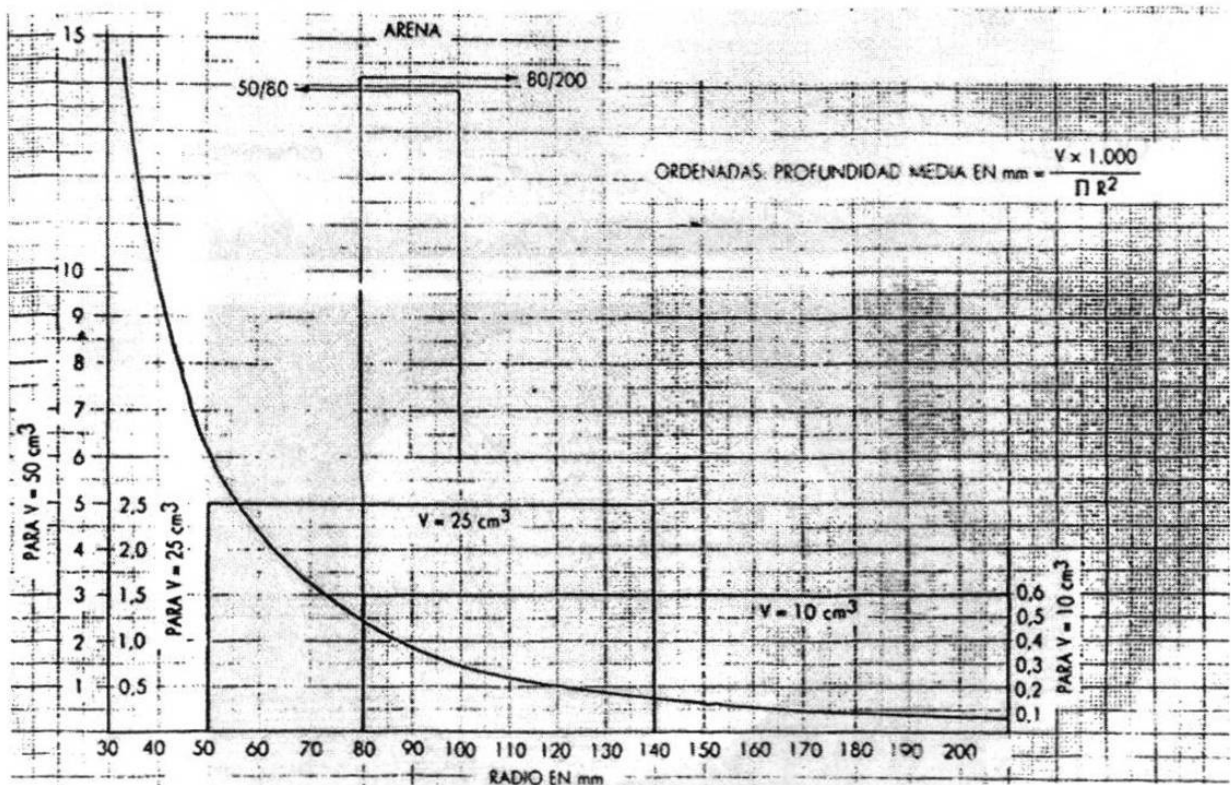


Figura 23. Ábaco para la determinación de la profundidad media de engrase.



Si la superficie del pavimento está húmeda, se seca con la llama del calentador portátil de gas.

Se limpia la superficie de ensayo en un radio de unos 25 cm con el cepillo de pelo blando.

Se llena de arena en exceso el recipiente cilíndrico elegido y se golpea ligeramente tres veces la base para asegurar la compactación; seguidamente se enrasa con la regla el exceso de arena.

Se vierte la totalidad de la arena del recipiente en el punto de ensayo en forma de superficie cónica y a continuación se la extiende con ayuda de la cara plana con goma del tampón, mediante movimientos rotatorios, hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular en la que la arena rellene todas las depresiones (ver fig. 24). El movimiento del tampón debe ser suave, sin ejercer presión, y deslizando sobre la superficie del pavimento.

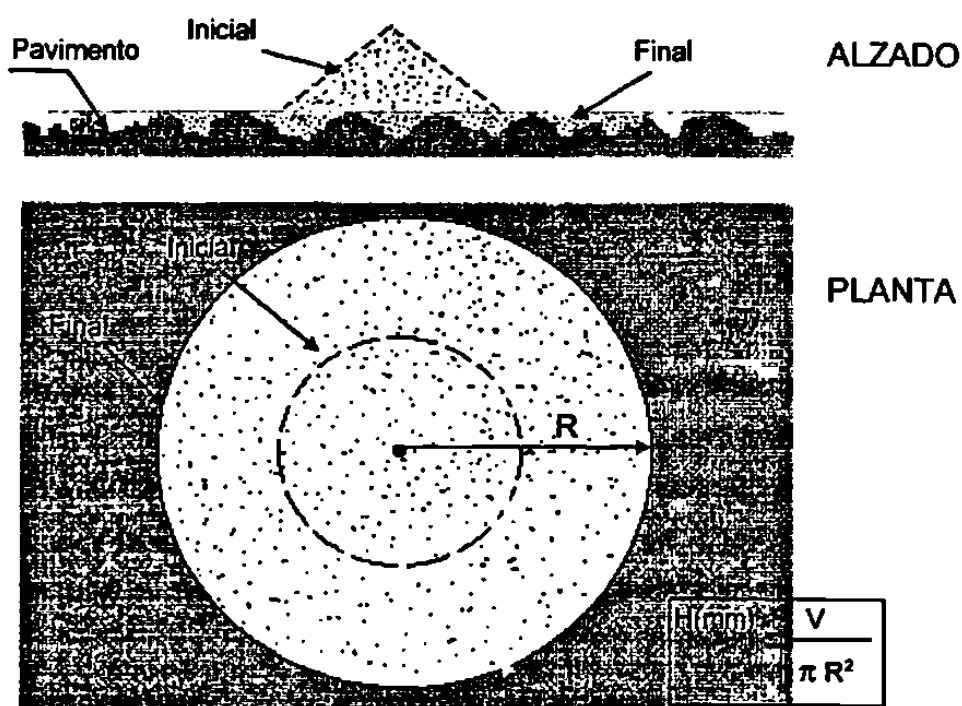


Figura 24. Esquema del ensayo del "Círculo de Arena".

Finalmente, se mide con el compás de puntas el radio del círculo de arena, obteniéndose su valor con aproximación de 1 mm con ayuda de la regla.

### *Resultados.*

Se calcula la profundidad media de la arena utilizada, H, con aproximación de 0.05 mm por la fórmula:

$$H = V / \pi R^2$$

H = profundidad media de textura superficial, en mm.

V = volumen de la arena utilizada, en mm<sup>3</sup>.

R = radio medio del círculo de arena, en mm.

Mediante el ábaco de la figura 28 se puede obtener directamente la profundidad media. En esta figura se indican, además, las zonas adecuadas para cada volumen y granulometría de la arena.

Se tomará como resultado del ensayo el valor medio de, al menos, cinco determinaciones.

### *Correspondencia con otras normas.*

Centre de Recherches Routières (CRR). MF – 32/69. "Essai á la tache de sable".

ASTM E 965 – 87 "Test Method for Measuring Surface Macrotexture Depth Using a Sand Volumetric Technique".

**X.4. APÉNDICE D: COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON EL PÉNDULO DEL TRRL (NLT – 175/88). (MICROTEXTURA)**

*Objeto y campo de aplicación.*

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo del Transport and Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester), tanto en laboratorio como en pavimentos (ver fig. 25).



Figura 25. Péndulo del TRRL.

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente

físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista e la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es objeto de esta norma la medida sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos (NLT – 174).

*Aparatos y material necesarios.*

Péndulo del TRRL. Se emplea el aparato representado en la figura de abajo, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory, cuyas características son:

El péndulo propiamente tal, con la zapata y su placa soporte debe tener una masa de  $1500 \pm 30$  gr. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de  $411 \pm 4$  mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de  $24.52 \pm 0.98$  N ( $2500 \pm 100$  gf) sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m (220 gf/cm).

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de  $70^\circ$  con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

**Características de la zapata.** Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán de 76.2 mm de longitud, 25.4 mm de ancho y 6.5 mm de grueso. La masa del conjunto zapata y placa-soporte de aluminio será de  $36 \pm 7$  gr. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6.5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses, y estarán sujetas a ciertas especificaciones.

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

**Dispositivo de desplazamiento vertical.** Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento 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 (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B – B'). La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

**Dispositivo de disparo del brazo del péndulo.** Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N), de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

**Dispositivo de medida.** Un dispositivo consistente en una aguja, de masa 85 gr y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un panel o sobre una escala auxiliar (K') utilizada en la determinación del pulimento acelerado de los áridos (NLT – 174). Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los tornillos de fricción roscados (E y E'), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación (punto "cero" de la escala de medida).

*Material auxiliar.*

**Reglilla graduada.** Una reglilla graduada, cuyas marcas externas están separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima a 2.5 mm.

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

**Recipientes para agua.** Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 lt y el otro con capacidad de 0.5 lt. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

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

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

**Caja de herramientas.** Caja de diseño particular para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, reglilla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar medidas en el campo.

**Caja de transporte.** Caja especial para transportar el equipo de medida.

**Banqueta para asiento del operador al realizar medidas en el campo.**

**Superficie testigo.** Una lámina autoadhesiva modelo "Safety-Walk" tipo B, fabricada por Minesota de España, S. A., para el acondicionamiento de las zapatas nuevas.

#### *Montaje del aparato.*

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 sobre el tornillo (J) y sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante el racor (G).

En el brazo del péndulo y sobre el pivote (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una arandela y un pasador.

Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben ejecutarse preparando el ensayo tal se indica en el Procedimiento de Ensayo.

Deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con las que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3.2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior a 1.6 mm de alto.

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

A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el "cero" de la escala de medida.

Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N). Después se desplaza la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador (N) se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante (Nota 1). Se anota la lectura señalada por la aguja de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo (Nota 2). La corrección de la lectura del "cero" se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja sobrepasa el "cero" de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja no alcanza el "cero" la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (E y E') (Nota 3).



**Nota 1.** Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, al objeto de evitar movimientos o vibraciones en su base.

**Nota 2.** Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, al objeto de que no arrastre la aguja indicadora en la oscilación de vuelta al choque contra el pavimento y, cuando se realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo ayudándose de la palanca de elevación (P).

**Nota 3.** En la comprobación del “cero” del aparato se harán los necesarios disparos y correcciones con los anillos de fricción, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura “cero”.

*Procedimiento operatorio.*

*Operaciones previas en pavimentos.*

En calzadas se procede en primer lugar a la inspección visual de pavimento objeto del ensayo, dividiéndolo en tramos de iguales características en toda su longitud y que no superen los 1000 m. Dentro de cada tramo se selecciona una zona y, en ésta, de tres a diez secciones transversales separadas por una longitud de 5 a 10 m. Se elige una distribución transversal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones. En cada sección se fijan puntos de ensayo en las rodadas, cumbre de bombeo o centro de la calzada y a 20 cm del borde de la calzada. También podrán elegirse puntos de ensayos entre rodadas o cualesquiera otros que sospeche puedan tener carácter deslizante.

En otros pavimentos se procede a su inspección y división en tramos que no superen los 1000 m, eligiendo en cada tramo una zona, y en ésta de 10 a 30 puntos de ensayo, distribuidos para que la muestra sea representativa. Podrá seguirse una distribución similar a la indicada para calzadas y fijar dos o más franjas o superficies (periféricas, de uso, etc.).

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

*Operaciones previas en laboratorio.*

Sólo podrán ensayarse probetas o losas con superficie, aproximadamente plana, que pueda contener un rectángulo de 150 x 90 mm.

Se eligen hasta tres puntos de ensayo por probeta o losa, procurando que los rectángulos barridos por la zapata del péndulo produzcan el mínimo solape y las direcciones de barrido formen ángulos de 45° o superiores.

En probetas y losetas no sometidas al uso o desgaste, es conveniente realizar el ensayo en los dos sentidos para cada dirección elegida.

Normalmente para el ensayo de muestras de probetas o losetas es necesario disponer de elementos necesarios que faciliten la situación y fijación del péndulo y sujeción de la muestra. La parte inferior de la base del péndulo debe quedar entre 10 y 30 mm por encima de la superficie de la muestra.

*Procedimiento de ensayo.*

El péndulo una vez montado se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la

dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación (Nota 4).

Nota 4. Cuando el péndulo no haya sido utilizado en las ocho horas antes a su ensayo, antes de efectuar cualquier serie de mediciones se realizarán cinco disparos sobre una probeta pulimentada o sobre una zona de pavimento sometida al tráfico.

Comprobando el "cero" del aparato, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma, en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical y se coloca la galga (sujeta a una cadenilla en la base del aparato) bajo el tornillo de posición (R) de la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato en esta posición por medio del tornillo (A) y se retira después la galga. Se hace oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego a otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S', en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta, se comprueba utilizando la reglilla. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de evaluación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

Una vez montado el aparato, comprobada la medida del "cero" y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

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

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

Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando el número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo, procediéndose en la forma que se indica en la Nota 2. La medida se repite cinco veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cinco medidas no difieren en más de tres unidades, se anota el valor medio resultante como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las cinco lecturas es mayor de tres unidades, se continúa realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado.

Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando en su proximidad sobre el pavimento y a la sombra del termómetro. Asimismo, se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo (en laboratorio, en la misma zona ambiental).

#### *Resultados.*

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

Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) = Lectura Efectiva / 100

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 cualesquiera condiciones climatológicas, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico mostrado en la figura 26, para expresar los resultados del ensayo a 20 °C.

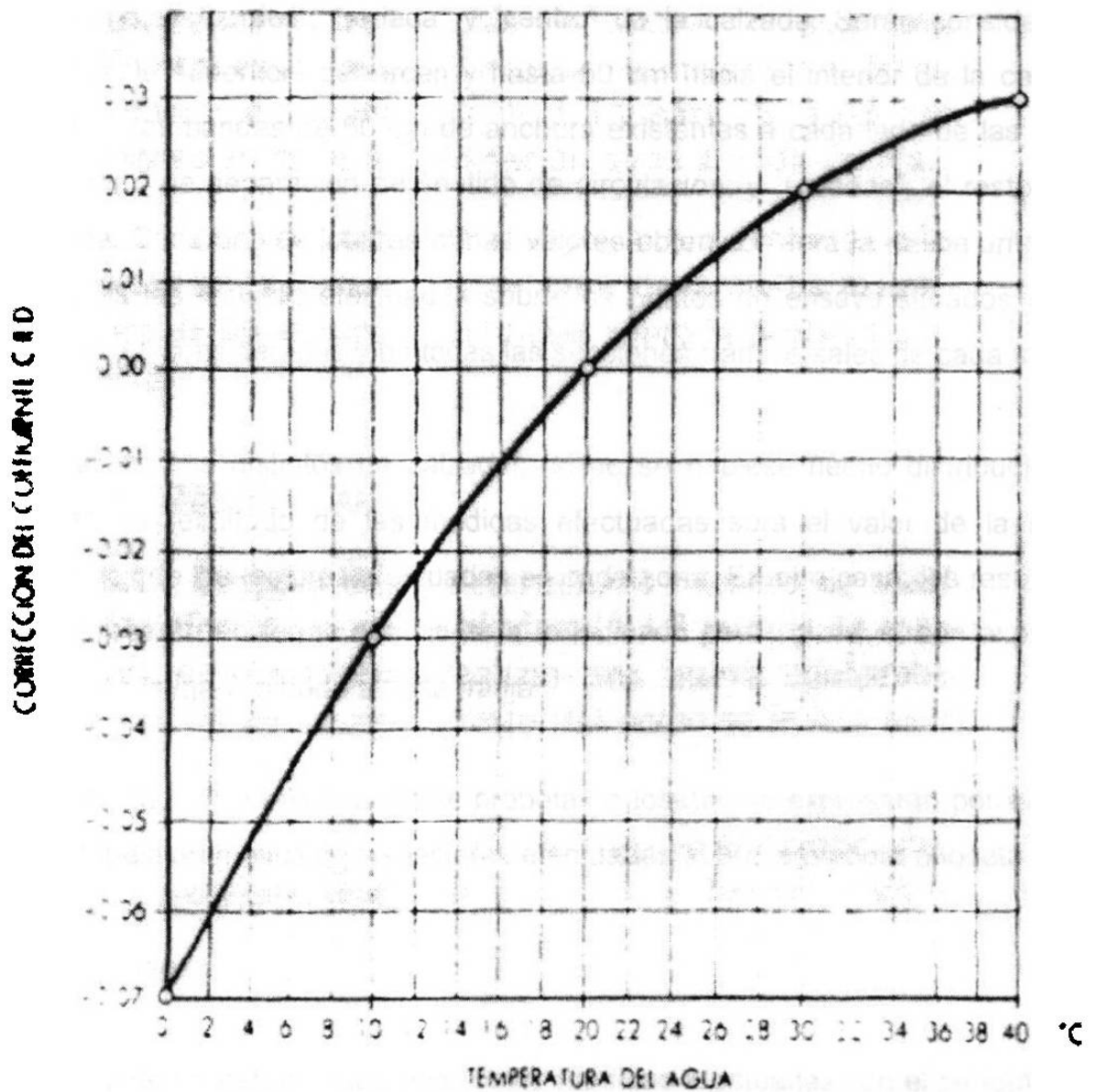


Figura 26. Corrección al aplicar el coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20°C.

*Expresión de los resultados obtenidos en ensayos sobre pavimentos.*

El resultado de las medidas efectuadas sobre un pavimento, será expresado especificando los valores obtenidos en cada uno de los tramos independientemente, de acuerdo con la distribución estipulada.

Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo de calzada serán expresados por, al menos, tres valores, correspondientes cada uno, a "bordes", "rodada" y "centro" de la calzada. Serán considerados "bordes" la superficie del arcén y hasta 50 cm hacia el interior de la calzada; "centro", las bandas de 50 cm de anchura existentes a cada lado de las líneas de carril o de separación de sentido de circulación; y "rodadas", el resto de la calzada. Cada uno de los tres o más valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.

En pavimentos distintos de calzadas, si no se hubiese hecho distribución de franjas, el resultado de las medidas efectuadas será el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada zona. En otro caso, los resultados se expresarán en forma semejante a lo indicado para calzadas, con expresión de la denominación dada a cada franja.

Los resultados de ensayos sobre probetas o losetas se expresarán por el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas sobre la probeta o loseta.

*Observaciones.*

Después de un determinado número de medidas efectuadas con el péndulo (5 o 6 puntos de ensayo), es conveniente realizar una nueva comprobación del "cero" del aparato.

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

Es muy conveniente efectuar calibraciones periódicas del péndulo de ensayo. Para estas comprobaciones de mantenimiento del aparato, la Dirección General de Carreteras del MOPU dispone de los elementos necesarios, pudiendo recurrir a dicho Organismo cualquier laboratorio que precise sus servicios.

*Correspondencia con otras normas.*

ASTM E 303 – 83: "Method of Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester".

BS 812: Part 3: 1975. "Testing aggregates. Methode for determination of mechanical properties".

*Norma para consulta:* NLT 174/72 "Pulimento acelerado de los áridos".

**X.5. APÉNDICE E: RESÚMEN DE PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (CRITERIOS DE SELECCIÓN ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS: S.C.T., DIRECCIÓN GENERAL DE AEROPUERTOS, DIRECCIÓN DE PROGRAMACIÓN, COORDINACIÓN DE PROGRAMACIÓN).**



| CONCEPTO                             | CAUSAS PROBABLES   | RECOMENDACIONES  |
|--------------------------------------|--|--|
| Erosión del pavimento.               | El chorro de las turbinas. El paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad. Adherencia pobre entre el material pétreo y el asfalto causada por: elaboración defectuosa del concreto asfáltico, agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto, efectos circunstanciales (derrame de combustibles y lubricantes). | Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello. Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache. Cuando se presente derrame de combustible, lavar inmediatamente el área afectada de manera que se diluya y se elimine el líquido disolvente (mantenimiento preventivo). |
| Disgregación o desmoronamiento.      | Insuficiente compactación durante la construcción. Colocación de la carpeta durante clima muy húmedo o frío. Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto. Falta de asfalto en la mezcla. Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.  | Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico. Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar.  |
| Agujeros.                            | Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a: falta de asfalto en la mezcla, falta de espesor de carpeta, exceso o carencia de finos en la mezcla, drenaje deficiente.  | Reparación temporal: limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. Reparación permanente: efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar.  |
| Sangrado o afloramiento del asfalto. | Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica. Construcción inadecuada del sello. Riego de liga o de impregnación excesiva. Solventes que acarrean asfalto a la superficie. Las cargas que producen el paso del tráfico pesado pueden acelerar el sangrado.   | Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico).   |
| Oxidación del asfalto.               | Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y/o por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas.   | Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico. Aplicar un producto rejuvenecedor (Reclamite).   |
| Corrimientos de la carpeta.          | Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debido a: impurezas que se encuentran entre las dos capas (polvo, aceite, caucho, agua), falta de riego de liga durante la construcción del pavimento, exceso del contenido de arena en la mezcla, compactación inadecuada durante la construcción.                                    | Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales. Limpiar con cepillo y aire a presión. Aplicar un riego de liga ligero. Colocar la mezcla asfáltica; extender con cuidado para evitar segregación. Compactar adecuadamente con placa vibratoria o rodillo metálico.    |

| CONCEPTO                                     | CAUSAS PROBABLES   | RECOMENDACIONES  |
|--|--|--|
| Corrimientos circulares.                     | Giros muy cerrados de los aviones. Poca capacidad del pavimento para resistir esfuerzos de tensión.  | Sellar la grieta si no es muy profunda. Abrir caja y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento.   |
| Corrugaciones.                               | Cargas del tráfico. Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: exceso de asfalto en la mezcla, exceso de agregados finos, agregados pétreos demasiado redondeados o lisos, cemento asfáltico demasiado blando, humedad excesiva, contaminación por derrame de aceites, falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebajados). | Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico. Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado. Si hay subdrenaje defectuoso, éste debe ser corregido previamente.   |
| Hundimientos o depresiones.                  | Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento. Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento. Asentamientos del terreno de cimentación. Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista (en algunos suelos arcillosos).  | Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una nivelación. Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento. Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla.   |
| Canalizaciones.                              | Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocados por el tráfico. Carpetas nuevas mal compactadas. Baja estabilidad del concreto.   | Renivelar las depresiones y colocar una sobrecarpeta.  |
| Grietas longitudinales de orilla y de junta. | Falta de soporte lateral. Asentamientos del material cercano a la grieta debidos a: drenaje defectuoso, acción de las heladas, contracciones por secado del suelo de cimentación, vegetación cercana a la orilla del pavimento. Unión débil entre dos franjas de construcción de la carpeta.   | Corregir el drenaje si está defectuoso. Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. Si además existen asentamientos, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria.  |
| Grietas transversales.                       | Asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase (cuando el pavimento está cruzado por tuberías o ductos). Movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación (grietas por secado de suelos arcillosos, grietas por movimientos telúricos, grietas por fallas geológicas activas).  | Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. Si además existen asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactando adecuadamente. Si la falla se debe a movimientos generales del suelo, se puede intentar reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de una malla de acero de refuerzo sobre la zona afectada. |

| RECOMENDACIONES   |   |
|---|---|
| CONCEPTO  | CAUSAS PROBABLES  |
| Grietas de contracción.   | Cambios de volumen de la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. Cambios de volumen del agregado fino en las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La falta de tráfico apresura la falla. Diferentes colores de la superficie del pavimento (marcas de pintura), que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol.  |
| Grietas de reflexión.   | Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentran debajo de una sobrecarpeta. Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones. El paso del tráfico. Movimientos de tierra. Pérdida de humedad en la subrasante con alto contenido de arcillas.  |
| Agrietamientos tipo piel de cocodrilo. Agrietamientos tipo mapa.                        | Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, subbase y/o base inestables o resilientes.   |
| Crecimiento de yerba y afloramiento de agua.  | Textura de carpeta demasiado abierta. Capa base saturada de agua. Agua atrapada en la carpeta durante la construcción.  |
| Acumulación de caucho en la superficie.   | Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista.   |
| Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones en los aviones. | Escaso control durante la construcción. Equipo inadecuado para el tendido. Fallos del pavimento.  |
|   | Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión, rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico. Si existe pintura, raspar previamente.   |
|   | Rellenar las grietas.   |
|   | Remover la carepa y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales. Instalar subdrenaje si la causa de la falla fue el agua. Aplicar un riego de impregnación en las paredes. Rellenar con mezcla asfáltica. Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene más de 15 cm de profundidad). Reparación temporal de emergencias: aplicar un mortero asfáltico; en el caso de haber hundimientos, rellenar las grietas y nivelar con mezcla asfáltica. |
|   | Corregir el subdrenaje y/o el drenaje si éstos fueron la causa de la falla. Reponer el pavimento alterado. Aplicar un tratamiento superficial a la base de mortero asfáltico en la zona de la carpeta con textura muy abierta.  |
|   | Proceder al renurado transversal y/o al rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción.   |
|   | Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. Controlar los trabajos por medio del perfilógrafo. Solución opcional: tender sobrecarpeta (generalmente resulta más costoso).   |



