

# DESARROLLO DE LA ECUACION DE CORRELACION PARA LA DETERMINACION DEL IRI EN PAVIMENTOS ASFALTICOS NUEVOS UTILIZANDO EL RUGOSIMETRO MERLIN<sup>1</sup>

Por

**Pablo del Aguila Rodríguez<sup>2</sup>**

## RESUMEN

La ecuación de correlación original para el cálculo de la rugosidad en unidades IRI, utilizando el equipo denominado MERLIN de uso difundido en el Perú, fue establecida por el Laboratorio Británico de Investigación de Caminos y Transportes (TRRL). La aplicación de esta ecuación está limitada para un IRI entre 2.4 y 15.9 m/km, encontrándose valores más altos que los reales cuando se emplea por debajo de dicho intervalo.

Toda vez que el IRI de los pavimentos nuevos cae en el rango de 0 a 2 m/km, la ecuación de correlación original ha devenido en inaplicable para tales casos, lo que significa una restricción notable para el uso del equipo.

A fin de superar tal situación se desarrolló una nueva ecuación de correlación mediante simulaciones computarizadas. Para ello se generaron perfiles topográficos de alta resolución, a los que se incorporó aleatoriamente un cierto grado de deformación. Para cada perfil generado, se determinó su rugosidad en "unidades MERLIN" aplicando el principio de operación del equipo, así como el IRI en m/km, usando el programa de cálculo publicado por el Banco Mundial. Con los pares ordenados "rugosidad MERLIN" vs IRI, se determinó la ecuación de correlación aplicando el método de los mínimos cuadrados (regresión lineal).

## 1. ANTECEDENTES

El MERLIN, denominación abreviada proveniente del inglés **M**achine for **E**valuating **R**oughness using **L**ow-cost **I**nstrumentation, es un equipo utilizado para la medición de la rugosidad de los pavimentos, desarrollado durante la década de los 80 y dado a conocer en 1990 por la unidad de ultramar del Laboratorio Británico de Investigación de Transportes y Caminos (TRRL) (1). El MERLIN es un equipo de tecnología intermedia que fue diseñado para ser difundido en los países en vías de desarrollo, por las ventajas de su bajo costo de fabricación y por la gran exactitud de los resultados que proporciona.

La introducción del MERLIN en el Perú se produjo en el año 1993, por iniciativa del autor, en el marco del primer programa de rehabilitación de carreteras financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

El primer estudio de rugosidad con un MERLIN se efectuó durante el mes de Septiembre de 1993, como parte de los estudios para la rehabilitación de la carretera Huayre-Huánuco (2), parte de una vía de integración regional de gran importancia en el Perú. En esa oportunidad la evaluación se efectuó sobre un pavimento asfáltico en avanzado estado de deterioro, y sobre tramos con tratamiento superficial bi-capa.

---

<sup>1</sup> Ponencia presentada al X Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Sevilla, España, 1999.

<sup>2</sup> Ingeniero de Suelos y Pavimentos. Consultor Independiente.

Entre Septiembre de 1993 y Febrero de 1995, las mediciones de rugosidad se efectuaron como parte integrante de estudios desarrollados para proyectos de rehabilitación de pavimentos, la mayoría con avanzado grado de deterioro.

La primera aplicación del MERLIN para el control de la rugosidad de un pavimento asfáltico nuevo, se produjo en el mes de Febrero de 1995, en el tramo de la Carretera Panamericana Norte correspondiente a la vía de evitamiento de la ciudad de Trujillo (3), en el norte del Perú.

Cuando las mediciones de rugosidad se empezaron a utilizar para el control de calidad de pavimentos asfálticos nuevos, se constató que había dificultad para cumplir con los límites exigidos por los pliegos de especificaciones, debido fundamentalmente a que la ecuación de correlación establecida por el TRRL, para el cálculo de la rugosidad en la escala del IRI, presenta de facto una limitación para su aplicación en el caso de rugosidades menores a 2.4m/km, rango en donde caen los valores correspondientes a los pavimentos recién construidos.

Habiendo transcurrido un período de tiempo relativamente corto, desde que se difundió el MERLIN, la tecnología involucrada se encuentra obviamente en fase de experimentación, por lo que se requiere de un proceso de “calibración” de acuerdo a las experiencias locales, en cuanto a los usos, por ejemplo; lo que necesariamente tiene que incidir en el ajuste o perfeccionamiento de las formulaciones originales.

## **2. ECUACION DE CORRELACION ORIGINAL**

### **2.1 Desarrollo de la ecuación**

La ecuación de correlación original, propuesta por el TRRL (4)(5), se estableció mediante simulación computarizada, utilizando los perfiles topográficos de las secciones de ensayo que fueron estudiadas durante el Ensayo Internacional de Rugosidad de Carreteras (International Road Roughness Experiment, IRRE), evento patrocinado por el Banco Mundial, que se llevó a cabo en Brasil en el año de 1982 (6), para las cuales se había determinado la rugosidad mediante el uso de diferentes métodos y equipos.

Simulando mediante procedimientos de cómputo el principio de operación del MERLIN y utilizando la información topográfica de las secciones del IRRE, se determinó la rugosidad en “unidades MERLIN” de cada una de ellas, para las cuales ya se tenía la rugosidad en “unidades IRI” y en “unidades BI” (Bump Integrator). De esa manera se estableció una base de datos de pares ordenados, rugosidad en unidades MERLIN vs rugosidad en unidades IRI, la que se analizó mediante regresión lineal para establecer la siguiente expresión:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 D \quad (1)$$

donde,

IRI : Índice de Rugosidad Internacional, m/km

D : Rugosidad en unidades MERLIN, mm

Las referencias bibliográficas relacionadas con el rugosímetro MERLIN, refieren que la ecuación de correlación establecida por el TRRL, se basó en el análisis de los resultados de rugosidad correspondientes a 27 secciones de ensayo, 8 de los cuales fueron sobre pavimentos asfálticos, 5 sobre tratamientos superficiales, 7 sobre

superficies de grava y 7 sobre superficies de tierra. Las rugosidades de estas secciones varían entre 2.44 y 15.91 m/km, en la escala del IRI. La rugosidad en unidades MERLIN (D), calculadas por simulación computarizada, varían entre 41.5 mm y 322.4 mm. Esta información permite concluir lo siguiente:

1. La base de datos empleada para la formulación de la correlación del TRRL es bastante limitada en cantidad de resultados.
2. La base de datos caracteriza fundamentalmente a una muestra compuesta por pavimentos con estados de deformación avanzados.
3. No hay datos sobre pavimentos asfálticos nuevos o recientemente construidos.

Por otro lado, se tiene que el interés del TRRL al diseñar el MERLIN no fue precisamente el contar con un equipo para el control de calidad de pavimentos nuevos, sino todo lo contrario, la evaluación del parámetro de rugosidad para el cálculo de los costos de operación de vehicular sobre pavimentos muy deteriorados, aspecto característico del Tercer Mundo. Por consiguiente, es obvio que para los fines del TRRL, la ecuación desarrollada resultó totalmente adecuada.

## **2.2 Limitaciones de la ecuación para pavimentos nuevos o poco deformados**

La rugosidad mínima que se puede obtener, si se aplica la expresión (1) en el rango para la que es válida, es 2.4 m/km. Si se extrapola la correlación para valores menores, se obtiene que el IRI mínimo minimorum posible es igual 0.59 m/km, valor que no es congruente con la realidad física de los pavimentos, o por lo menos, con la realidad esperada y explicada por la investigación experimental.

La investigación sobre pavimentos ha establecido correlaciones entre la rugosidad de una vía y su capacidad de servicio o "serviciabilidad". La expresión (2) mostrada a continuación, publicada por el Banco Mundial (7), es una de ellas.

$$R = 5.5 \text{ LN } (5/\text{PSI}) \quad (2)$$

donde,

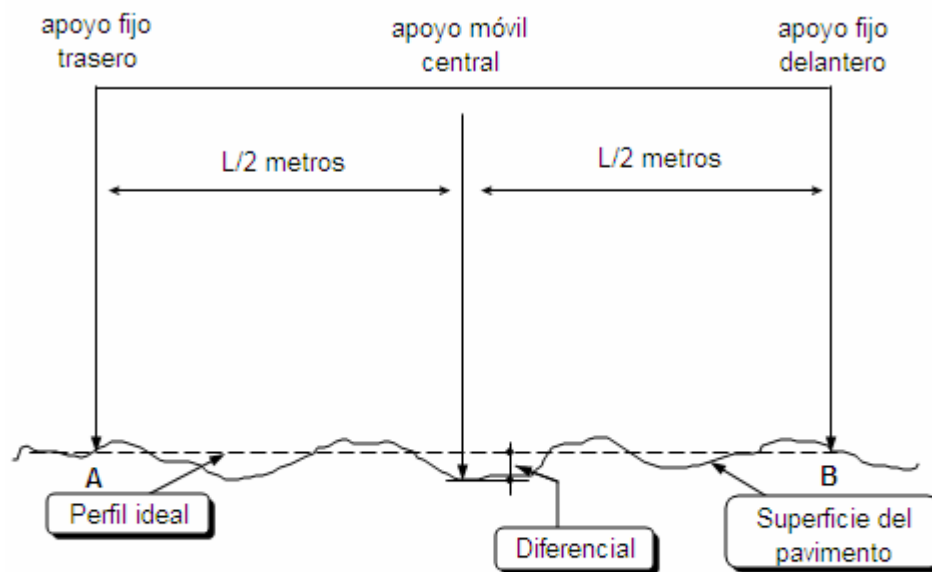
R : Rugosidad en unidades IRI  
PSI : Present Serviciability Index

Si se considera una rugosidad de 0.59 m/km, el PSI máximo que se puede obtener es de 4.5, no obstante que la escala del AASHO Road Test establece un valor máximo posible de 5.

En consecuencia, se observa que la ecuación de correlación original del MERLIN presenta una limitación para caracterizar la rugosidad de pavimentos poco deformados o recién construidos, los que tienen un IRI con tendencia hacia cero. Ello se debe fundamentalmente a consideraciones de tipo matemático, debido a la carencia de datos que hubiesen permitido un mejor ajuste para el rango de rugosidades menores de 2.4 m/km.

## **3.0 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL MERLIN**

El principio básico para la operación del MERLIN consiste en asumir que existe un perfil relativo de pavimento ideal, para el cuál la rugosidad es cero, el que para efectos prácticos se adopta igual a una línea recta que pasa por dos puntos ubicados a una distancia constante (recta AB en Figura N°1).



**Figura N° 1**  
**Principio de operación del rugosímetro MERLIN**

La superficie de los pavimentos reales, como consecuencia de las cargas y del efecto abrasivo del tráfico, así como por limitaciones constructivas, presentan diferencias con respecto a dicha "línea de perfil ideal". En la medida que las diferencias sean menores, mas se acercará el pavimento a la condición ideal, y, en consecuencia, su rugosidad tenderá a cero. Caso contrario si las diferencias son apreciables.

El MERLIN permite establecer las diferencias entre los perfiles del pavimento real e ideal, para lo cuál se efectúa un número fijo de mediciones sucesivas, a lo largo de un tramo de longitud conocida, con las cuales se determina una distribución de frecuencias cuyo ancho "D", calculado luego de efectuar la depuración de un 10% de datos, es el indicador de la rugosidad del tramo evaluado. Para transformar la rugosidad de "unidades MERLIN" (D) a unidades internacionales de rugosidad (IRI), se hace uso de una ecuación de correlación, cuya discusión es precisamente materia del presente trabajo.

#### **4. DESARROLLO DE LA NUEVA ECUACION DE CORRELACION**

##### **4.1 Generalidades**

La necesidad de desarrollar una nueva ecuación de correlación, que pudiese ser aplicada para un rango de rugosidades entre 0 y 2.4 IRI, surge como consecuencia de los trabajos de evaluación sobre pavimentos asfálticos nuevos, efectuados por el autor en los últimos 4 años.

La especificación técnica para rugosidad de pavimentos asfálticos nuevos, establecida por el Proyecto Especial para la Rehabilitación de la Infraestructura de

Transporte (PERT), del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, indica que el IRI Característico del tramo no debe ser mayor de 2 m/km (8).

Los primeros pavimentos evaluados, haciendo uso de la ecuación original del TRRL, difícilmente cumplían con dicha especificación, por lo que, luego de un minucioso análisis de los diversos factores involucrados (constructivos, equipo de medición, operación, toma de datos, software de cálculo, etc.), se llegó a la conclusión que, la limitación de la ecuación de correlación ya explicada, era uno de los factores que más influía en los resultados obtenidos, por lo que se planteó la tarea de revisar la formulación del TRRL.

## **4.2 Procedimiento seguido**

Para el desarrollo de una ecuación de correlación, válida para un IRI en el rango de 0 a 2.4 m/km, se siguió un procedimiento semejante al empleado por el TRRL, cuyos puntos principales fueron:

1. Generación mediante procedimientos de cómputo, de un número suficiente de perfiles topográficos, de rugosidad variable entre 0 y 2.5 IRI.
2. Determinación del IRI, usando los datos topográficos de cada una de las secciones generadas, haciendo uso del programa proporcionado por el Banco Mundial para tal fin.
3. Determinación de la rugosidad en unidades MERLIN, de cada una de las secciones generadas, haciendo uso de un programa de cómputo que simula el principio de medición del instrumento.
4. Determinación de la ecuación de correlación mediante regresión lineal, con paso forzado por el origen, haciendo uso de los datos obtenidos en los pasos 2 y 3.

### **4.2.1 Generación de los perfiles topográficos**

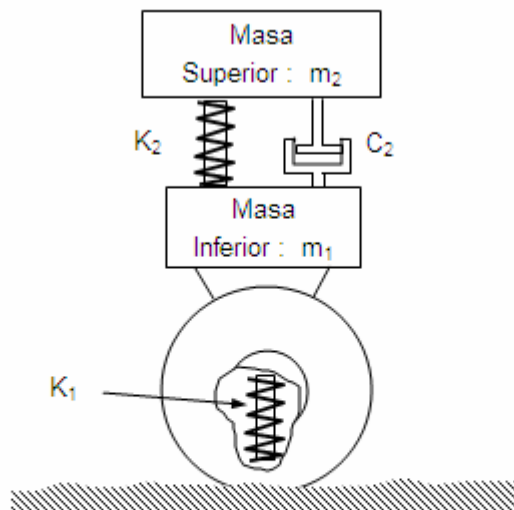
Debido a que no se contaba con perfiles topográficos de alta resolución (nivelación cada 0.25 m), correspondientes a proyectos reales, se diseñó un programa de cómputo en lenguaje Basic para elaborar los perfiles, al cuál se denominó PERFIL.BAS (Anexo 1). Esta es la diferencia básica con el procedimiento seguido por el TRRL, en cuanto a la forma, ya que este instituto utilizó perfiles medidos físicamente. Por otro lado, en cuanto al fondo, se puede observar que en pavimentos nuevos no existen prácticamente patrones de deformación o deterioro, que se pueda decir que no son reproducidos en forma computarizada, a no ser por defectos constructivos patológicos que son tamizados en otras instancias y que no tienen una incidencia general.

El programa elaborado calcula las cotas de un perfil longitudinal, para intervalos de 0.25 m, partiendo de un alineamiento recto, el que se va modificando aleatoriamente a fin de producir desniveles, o dicho en otras palabras, introduciéndole una rugosidad. La magnitud de los desniveles se controla mediante un factor de ajuste que se varía a voluntad, según se desee perfiles con mayor o menor rugosidad. La salida del programa presenta el número de punto, la distancia respecto del origen (en metros) y la cota altimétrica (en milímetros).

Se generaron un total de 60 perfiles de 400 m de longitud cada uno. Cada perfil consta de una secuencia de 1600 puntos determinados en forma aleatoria, correspondientes a otros tantos pares ordenados "distancia versus cota altimétrica".

#### **4.2.2 Determinación de la rugosidad en unidades IRI**

Para definir el International Roughness Index (IRI), los expertos del Banco Mundial han creado un modelo denominado "cuarto de coche" o "quarter car" (Figura N° 2). Al avanzar el modelo por una carretera a una velocidad constante de 80 km/h e ir siguiendo sus irregularidades, las masas se mueven verticalmente, y para una combinación standard de valores de las constantes de los muelles, masas y amortiguador, el movimiento vertical relativo acumulado de la masa superior (que simula el asiento del conductor), al recorrer el modelo una longitud determinada de carretera, es lo que se conoce como IRI (9).



**Figura N° 2**  
**Modelo Quarter car para el cálculo del IRI**

Para el cálculo del IRI, a partir, del perfil longitudinal de una carretera, existen diversos programas de cómputo basados en los principios básicos del modelo "cuarto de coche", uno de ellos se ha publicado en versión Basic(10), el cuál se ha empleado para la ejecución de los cálculos con los 60 perfiles generados. Para efectos de la investigación el programa fue denominado IRI.BAS (Anexo 2)

La determinación del IRI se efectúa mediante el cálculo de cuatro variables, como función del perfil dado. Estas variables simulan la respuesta dinámica del modelo "cuarto de coche" viajando sobre el perfil. Las ecuaciones para las cuatro variables son resueltas para cada punto de elevación, excepto para el primero. La salida del programa presenta el desplazamiento acumulado y el desplazamiento acumulado dividido entre la longitud del tramo, que es la rugosidad en la escala del IRI.

### 4.2.3 Determinación de la rugosidad en unidades MERLIN

Para la determinación de la rugosidad en unidades MERLIN se diseñó el programa de cómputo denominado MERLIN.BAS, también en lenguaje Basic (Anexo 3). Basado en el principio de operación del equipo, explicado en la sección 3, el programa calcula el diferencial entre el perfil dado y un perfil ideal recto, para cada una de las 200 posiciones que adopta el equipo, en forma consecutiva, a lo largo de los 400 m de cada tramo (1 determinación cada 2 m), generando una base de 200 datos que son analizados estadísticamente a fin de elaborar una distribución de frecuencias y, finalmente establecer previa depuración de un 10% de datos, el ancho de la distribución o Rango "D", que es la rugosidad en unidades MERLIN.

| SECCION | D        | IRI     | SECCION | D        | IRI     |
|---------|----------|---------|---------|----------|---------|
| 1       | 0.00000  | 0.03913 | 29      | 26.38889 | 1.27411 |
| 2       | 7.12121  | 0.21464 | 30      | 27.04546 | 1.39657 |
| 3       | 11.16667 | 0.38100 | 31      | 28.33334 | 1.40734 |
| 4       | 12.75210 | 0.45590 | 32      | 28.57143 | 1.40278 |
| 5       | 13.14103 | 0.58800 | 33      | 29.09091 | 1.26633 |
| 6       | 13.18367 | 0.53557 | 34      | 29.31818 | 1.44246 |
| 7       | 14.49415 | 0.77124 | 35      | 29.59524 | 1.49592 |
| 8       | 14.55882 | 0.66212 | 36      | 29.70588 | 1.52294 |
| 9       | 15.50000 | 0.80013 | 37      | 29.88095 | 1.47157 |
| 10      | 15.83333 | 0.74728 | 38      | 31.05590 | 1.54734 |
| 11      | 15.97701 | 0.75723 | 39      | 31.59722 | 1.58727 |
| 12      | 16.01871 | 0.71118 | 40      | 31.75000 | 1.66922 |
| 13      | 16.21118 | 0.79326 | 41      | 32.69231 | 1.43024 |
| 14      | 16.60839 | 0.81538 | 42      | 33.63637 | 1.83048 |
| 15      | 16.60839 | 0.74761 | 43      | 34.00000 | 1.57181 |
| 16      | 16.88312 | 0.76445 | 44      | 34.01709 | 1.74390 |
| 17      | 17.10027 | 0.76810 | 45      | 34.12500 | 1.52878 |
| 18      | 17.26191 | 0.78396 | 46      | 37.25000 | 1.90671 |
| 19      | 17.58242 | 0.78254 | 47      | 37.66667 | 1.88733 |
| 20      | 17.64253 | 0.80989 | 48      | 37.82468 | 2.04566 |
| 21      | 17.70833 | 0.80706 | 49      | 38.19444 | 1.89774 |
| 22      | 23.05556 | 1.06068 | 50      | 38.21429 | 1.94186 |
| 23      | 23.13492 | 1.12423 | 51      | 42.50000 | 2.05226 |
| 24      | 23.80953 | 1.20768 | 52      | 44.09722 | 2.04168 |
| 25      | 24.83871 | 1.17639 | 53      | 46.80556 | 2.25128 |
| 26      | 25.19737 | 1.10527 | 54      | 48.05556 | 2.48514 |
| 27      | 25.49020 | 1.19406 | 55      | 51.00000 | 2.45961 |
| 28      | 25.98485 | 1.29581 | 56      | 51.38889 | 2.27410 |

**CUADRO N° 1**  
Resultados del cálculo de la rugosidad mediante simulación computarizada

### 4.2.4 Regresión lineal

El Cuadro N° 1 presenta los resultados obtenidos, para los 60 perfiles topográficos analizados, luego de efectuada la corrida de los programas IRI.BAS y MERLIN.BAS, de los cuáles 4 presentaron una rugosidad igual a cero, por lo que fueron descartados. La base de datos se analizó para definir la tendencia que mejor se

ajustaba, resultando ser el modelo lineal el que mejor coeficiente de determinación presentó (Figura N° 3). La ecuación de correlación resultante es:

$$\text{IRI} = 0.0485 D, \text{ para } D < 50 \text{ mm, } 0 < \text{IRI} < 2.4$$

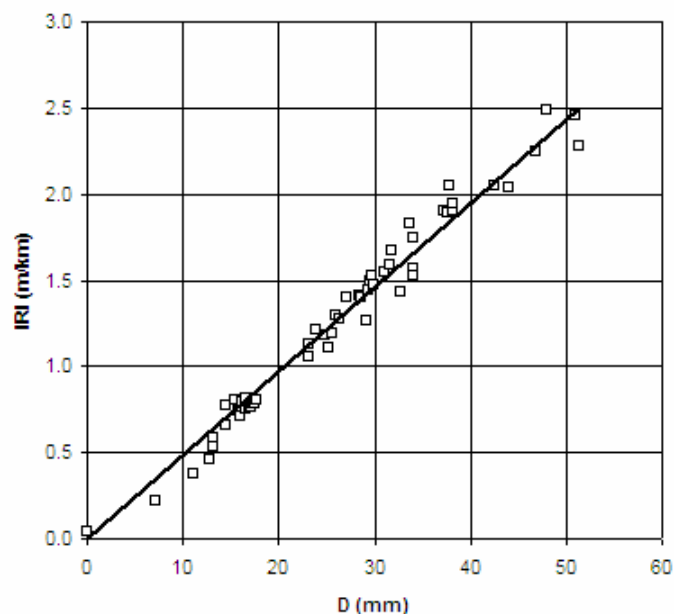
donde,

IRI : Índice Internacional de Rugosidad, en m/km

D : rugosidad del MERLIN, en mm

El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es igual a 0.98, lo que indica que la ecuación encontrada define óptimamente la relación entre ambos parámetros.

**CORRELACION D VS IRI**



Ecuación de correlación:  $\text{IRI} = 0.0485 D$  ( $0 < \text{IRI} < 2.4$ )

Coeficiente de determinación:  $R^2 = 0.98$

**Figura N° 3**

**Ecuación de correlación para evaluación de la rugosidad con el MERLIN**

## **5. CONCLUSIONES**

- a. La ecuación de correlación proporcionada por el Laboratorio Británico de Investigación de Transporte y Caminos (TRRL), para la medición de la rugosidad utilizando el equipo denominado MERLIN, no es aplicable para la evaluación de pavimentos asfálticos nuevos, en donde la rugosidad esperada se encuentra debajo de 2m/km.
- b. Siguiendo un procedimiento semejante al que empleó el TRRL, para la elaboración de la ecuación de la correlación original, se ha desarrollado una nueva ecuación de correlación, cuyos resultados son consistentes con la realidad física palpable de los pavimentos y demuestran congruencia con otros

parámetros que da la investigación experimental, como es el caso del Índice de Servicio del Ensayo Vial AASHO.

- c. La nueva ecuación de correlación desarrollada, de acuerdo al coeficiente de determinación obtenido, establece una relación muy bien definida entre el valor D y el IRI, lo que permite concluir que no existe otro factor o variable que intervenga en dicha relación, que no sean las limitaciones propias de los métodos, lo que acredita la validez de la nueva expresión.
- d. El uso de la nueva ecuación de correlación traerá como consecuencia en los usuarios, el desarrollo de un mayor grado de confianza en la metodología y en el sistema de evaluación rugosidad-calidad de servicio (serviciabilidad).

## **5. RECOMENDACIONES**

- a. Se recomienda el uso de la ecuación de correlación desarrollada, para el caso de pavimentos asfálticos nuevos o pavimentos en general, cuando la rugosidad esperada sea igual o menor de 2.4m/km o cuando el D calculado sea igual o menor a 50 mm.
- b. Para el caso de rugosidades superiores a 2.4m/km o valores D mayores de 50 mm, se recomienda utilizar la ecuación de correlación original, y que las entidades relacionadas con la administración, estudio, construcción y supervisión vial, que sean usuarias del MERLIN, procedan a revisar sus procedimientos a fin de implementar tal variación.
- c. En particular, se recomienda que los profesionales, directamente encargados del control de la rugosidad de los pavimentos recién construidos, procedan a revisar los procedimientos de cálculo a fin de verificar correctamente el cumplimiento de las especificaciones de proyecto.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

1. CUNDILL, M.A. "MERLIN. A Low Cost Machine for Measuring Road Roughness in Developing Countries". Transportation Research Record 1291. Crowthorne, 1990.
2. DEL AGUILA, P.M. "Proyecto de Rehabilitación de la Carretera Central, Sector Huayre-Huánuco. Estudio de Evaluación de la Rugosidad". Informe técnico presentado a la Asociación EICA-HOB Ingenieros Consultores. Lima, Octubre 1993.
3. DEL AGUILA, P.M. "Estudio de Evaluación de la Rugosidad de la vía de Evitamiento de la ciudad de Trujillo". Informe técnico presentado a la empresa Construtora Norberto Odebrecht S.A. Lima, Enero 1995.
4. CUNDILL, M.A. "The MERLIN Low-cost Road Roughness Measuring Machine". Transport and Road Research Laboratory, Department of Transport. TRRL Research Report 301. Crowthorne, 1991.
5. CUNDILL, M.A. "The MERLIN Road Roughness Machine: User Guide". Transport Research Laboratory, Overseas Development Administration. TRL Report 229. Crowthorne, 1996.
6. SAYERS, M.W. et al. "The International Road Roughness Experiment: establishing correlation and a calibration standard for measurements". World Bank Technical Paper N° 45. The World Bank, Washington D.C., 1986
7. WATANATADA, T. et al. "The Highway Design and Maintenance Standards Model". Volume I. The Word Bank, Washington D.C., 1987.
8. DEL AGUILA, P.M. "Metodología para la medición de la rugosidad de los pavimentos con equipo de bajo costo y gran precisión". Trabajo presentado al X Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Sevilla, 1999.
9. MELIS, M.J.;CRESPO, R. "Cálculo del IRI de una Carretera a partir de su Perfil Longitudinal". Cuadernos AEPO N° 1. Madrid, 1992.
10. SAYERS, M.W. et al. "Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements". World Bank Technical Paper N° 46. The World Bank, Washington D.C., 1986

**ANEXO N° 1**  
**PROGRAMA PARA GENERACION DE PERFILES TOPOGRAFICOS**  
**PERFIL.BAS**

```

5 'PERFIL.BAS
10 'programa para generar perfil longitudinal
15 'para el calculo de la rugosidad. Mayo 1996
20 'por: Pablo del Aguila
25 CLEAR:CLS
30 PRINT "PERFIL.BAS"
35 PRINT "PROGRAMA PARA GENERAL PERFIL TOPOGRAFICO"
40 PRINT
50 COTAINICIO=4000
60 PENDIENTE=0
70 PRINT "FACTOR DE AJUSTE DE RUGOSIDAD (100...3000)=" ;
75 INPUT FACTOR
80 PRINT "SECCION NUMERO (1...99)=" ;
85 INPUT NUMEROS
90 RANDOMIZE TIMER
100 CLS
110 X=0
120 OPEN "O",#1,"PERFIL"+NUMEROS+".DAT"
130 OPEN "O",#2,"SLOPE"+NUMEROS+".DAT"
132 COTA1=COTAINICIO*1000
134 PRINT #2,"0",",",COTA1
140 DIST=0.25
150 FOR I=1 TO 1600
160 X=X+DIST
165 PENDIENTE=(PENDIENTE/100)
170 COTA=COTAINICIO+(X*SIN(ATN(PENDIENTE)))
180 DELTA=RND/FACTOR
190 COTA=COTA+DELTA
200 PRINT #1,I+1,",",X,",",COTA*1000
205 IF X=11 THEN PRINT #2,X,",",COTA*1000
210 NEXT I
220 CLOSE #1
225 CLOSE #2
226 PRINT
227 PRINT "PERFIL TOPOGRAFICO N";CHR$(248);NUMEROS;" GENERADO..."
230 PRINT "DESEA GENERAR OTRO PERFIL...(S/N)";
232 INPUT DESEAS
235 IF DESEAS="S" OR DESEAS="s" THEN 5
240 SYSTEM
250 END

```

**ANEXO N° 2**  
**PROGRAMA PUBLICADO POR EL BANCO MUNDIAL PARA EL CALCULO DEL IRI**  
**IRI.BAS**

```

1000 REM This program demostrates the IRI computation
1010 REM A number of recommended modifications are described in
1020 REM accompanying text
1030 REM -----Initialize constants
1040 DIM Y(26),Z(4),Z1(4),ST(4,4),PR(4)
1050 READ DX
1060 K=INT(.25/DX+.5)+1
1070 IF K<2 THEN K=2
1080 BL=(K-1)*DX
1090 FOR I=1 TO 4
1100 FOR J=1 TO 4
1110 READ ST(I,J)
1120 NEXT J
1130 READ PR(I)
1140 NEXT I
1142 REM -----Input profile number
1144 PRINT "CALCULO DE LA RUGOSIDAD..."
1146 PRINT "DEL PERFIL NUMERO ";
1148 INPUT NUMEROS
1150 REM -----Initialize variables
1151 REM ----- lectura de datos para calculo de pendiente
1152 REM -----
1153 OPEN "I",#1,"SLOPE"+NUMEROS+".DAT"
1154 IF EOF(1) GOTO 1159
1155 INPUT #1,PT,COTA
1156 IF PT=0 THEN Y(1)=COTA
1157 IF PT=11 THEN Y(K)=COTA
1158 GOTO 1154
1159 CLOSE #1
1160 PRINT "COTA ESTACION X = 0 m ";Y(1)
1170 PRINT "COTA ESTACION X = 11 m ";Y(K)
1180 Z1(1)=(Y(K)-Y(1))/11
1190 Z1(2)=0
1200 Z1(3)=Z1(1)
1210 Z1(4)=0
1220 RS=0
1230 IX=1
1240 CI=0
1250 REM -----Loop to input profile and calculate Roughness
1260 I=I+1
1261 IF I>1 THEN 1264
1262 OPEN "I",#1,"PERFIL"+NUMEROS+".DAT"
1263 OPEN "O",#2,"IRI"+NUMEROS+".DAT"
1264 IF EOF(1) THEN 1495
1265 INPUT #1,N,X,COTA
1266 Y(K)=COTA
1267 PRINT
1270 PRINT "COTA ESTACION X =";IX*DX;" m ";Y(K)
1280 IX=IX+1

```

```

1290 '
1300 REM -----Compute slope input
1310 IF IX<K THEN Y(IX)=Y(K)
1320 IF IX<K THEN GOTO 1270
1330 YP=(Y(K)-Y(1))/BL
1340 FOR J=2 TO K
1350 Y(J-1)=Y(J)
1360 NEXT J
1370 REM -----Simulate vehicle response
1380 FOR J=1 TO 4
1390 Z(J)=PR(J)*YP
1400 FOR JJ=1 TO 4
1410 Z(J)=Z(J)+ST(J,JJ)*Z1(JJ)
1420 NEXT JJ
1430 NEXT J
1440 FOR J=1 TO 4
1450 Z1(J)=Z(J)
1460 NEXT J
1470 RS=RS+ABS(Z(1)-Z(3))
1480 PRINT "DESPLAZAMIENTO ACUMULADO =";RS*DX
1482 PRINT "RUGOSIDAD IRI = ";RS/I
1484 PRINT #2,(IX-1)*DX;",",RS*DX;",",RS/I
1486 FOR W=1 TO 1000
1488 NEXT W
1490 GOTO 1260
1495 CLOSE#1
1497 CLOSE#2
1499 SYSTEM
1500 END
1510 DATA .25
1520 DATA .9966071,.01091514,-0.002083274,.0003190145,.00547
1530 DATA -.5563044,.9438768,-.8324718,.05064701,1.388776
1540 DATA .02153176,.002126763,.7508714,.008221888,.2275968
1550 DATA 3.335013,.3376467,-39.12762,.4347564,35.79262

```

**ANEXO N° 3**  
**PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA RUGOSIDAD CON MERLIN**  
**MERLIN.BAS**

```

5   REM MERLIN.BAS
10  REM programa para simulacion de mediciones con rugosimetro
20  REM tipo MERLIN sobre un perfil longitudinal dado. Mayo 1996.
25  REM Por: Pablo del Aguila
30  CLEAR:CLS
32  PRINT "SIMULACION CON MERLIN..."
34  PRINT "PERFIL N";CHR$(248);";";
36  INPUT NUMEROS
40  A=1:B=A+3:C=B+1:D=C+3:E=D+1
50  OPEN "O",#3,"MERLIN"+NUMEROS+".DAT"
52  '
54  '..... se fijan coordenadas del punto inicial del tramo
56  '..... a ser ensayado
58  '
60  OPEN "I",#1,"SLOPE"+NUMEROS+".DAT"
70  IF EOF(1) THEN 90
75  INPUT #1,X,Y
80  X1=X:Y1=Y
90  CLOSE #1
92  '
94  '..... Empieza loop para simulacion de operacion del MERLIN
100 '..... lectura de coordenadas de los siguientes puntos
102 FOR N=1 TO 200
104 DIF=0:LECTURA=0
106 IF N>1 THEN 120
110 OPEN "I",#2,"PERFIL"+NUMEROS+".DAT"
120 IF EOF(2) THEN 435
130 INPUT #2,I,X,Y
140 IF I=B THEN X2=X:Y2=Y
150 IF I=C THEN X3=X:Y3=Y
160 IF I=D THEN X4=X:Y4=Y
170 IF I=E THEN X5=X:Y5=Y:GOTO 200
180 GOTO 120
200 PRINT
210 PRINT USING "   ### # # # # # # # # # #";A,X1,Y1
220 PRINT USING "   ### # # # # # # # # # #";B,X2,Y2
230 PRINT USING "   ### # # # # # # # # # #";C,X3,Y3
240 PRINT USING "   ### # # # # # # # # # #";D,X4,Y4
250 PRINT USING "   ### # # # # # # # # # #";E,X5,Y5
260 '.....calculo de cota extremo final rugosimetro
270 XF=X1+1.8
280 YF=Y5-((X5-XF)*(Y5-Y4)/(X5-X4))
290 '.....calculo de cota punto medio perfil ideal
300 XMI=XF-0.9
310 YMI=YF-((XF-XMI)*(YF-Y1)/(XF-X1))
320 '.....calculo de cota punto medio perfil real
330 XMR=XMI
340 YMR=Y3-((X3-XMR)*(Y3-Y2)/(X3-X2))
342 DIF=YMI-YMR
344 IF DIF<0 THEN PAVES="(Elevacion)"
346 IF DIF>0 THEN PAVES="(Depresion)"
347 IF DIF=0 THEN PAVES="(a nivel)"
348 LECTURA=INT(25+(DIF*2))
350 PRINT "   Coordenadas punto inicial rugosimetro = (";X1;";";Y1;")"
360 PRINT "   Coordenadas punto final rugosimetro = (";XF;";";YF;")"
370 PRINT "   Elevacion punto medio ideal = ";YMI
380 PRINT "   Elevacion punto medio real = ";YMR
390 PRINT "   Diferencia d = ";DIF;PAVES
400 PRINT "   Lectura en el rugosimetro : ";LECTURA
410 PRINT #3,N;";";LECTURA
405 W=X5:Z=Y5
420 A=A+8:B=B+8:C=C+8:D=D+8:E=E+8
425 X1=W:Y1=Z
430 NEXT N
435 CLOSE#2
440 CLOSE#3
441 GOSUB 2200
442 PRINT "DESEA OTRA SIMULACION...";
444 INPUT DESEAS
446 IF DESEAS="s" OR DESEAS="S" THEN 10
450 SYSTEM
500 END
2200 '-----subrutina para el calculo de D
2202 CLS
2205 OPEN "O",#3,"MERLIN"+NUMEROS+".AUX"
2210 FOR N=1 TO 50
2212 PRINT:PRINT TAB(10);"----- W A I T -----"
2220 OPEN "I",#2,"MERLIN"+NUMEROS+".DAT"
2230 FOR M=1 TO 200
2240 IF EOF(2) THEN 2280
2250 INPUT #2,ORD,R
2260 IF R=N THEN PRINT #3,R
2270 NEXT M
2280 CLOSE #2
2290 NEXT N
3000 CLOSE #3
3005 '-----determinacion de frecuencias-----
3010 CLS
3015 K=0:F=0:R=0
3020 OPEN "I",#4,"MERLIN"+NUMEROS+".AUX"
3025 OPEN "O",#5,"MERLIN"+NUMEROS+".FRE"
3027 RUG=R
3028 IF EOF(4) THEN 3080
3030 INPUT #4,R
3035 K=K+1
3045 IF K=1 GOTO 3027
3047 F=F+1
3050 IF R>RUG THEN PRINT #5, RUG;";";F:F=0
3070 GOTO 3027
3080 F=F+1
3082 PRINT #5,RUG;";";F
3084 CLOSE #4
3090 CLOSE #5
3100 '-----calculo de la rugosidad-----
3103 ACUM=0:ACUMANT=0:CLAVE=0:CUENTA=0:RES=RES+1
3104 OPEN "I",#6,"MERLIN"+NUMEROS+".FRE"
3110 IF EOF(6) THEN 3200
3120 INPUT #6,R,F
3125 IF CLAVE=1 THEN 3170
3130 ACUM=ACUM+F
3140 IF ACUM=>10 THEN DU=((F-(10-ACUMANT))/F)*5:D1=R+1:CLAVE=1:GOTC
3150 ACUMANT=ACUM
3160 GOTO 3110
3170 ACUM=ACUM+F
3171 ACUMANT=200-ACUM
3172 IF ACUM=>190 THEN DB=((F-(10-ACUMANT))/F)*5:D2=R-1:GOTO 3200
3190 GOTO 3110
3200 CLOSE #6
3210 DM=((D2-D1)+1)*5
3220 D=(DU+DM+DB)
3230 PRINT "RUGOSIDAD MERLIN D=";D;"mm"
3240 RETURN

```