

CÁLCULO DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI) DE PAVIMENTOS DE CARRETERAS

INV E – 794 – 13

1 OBJETO

- 1.1** Esta norma describe un procedimiento para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) en un sector de un hectómetro de carretera, a partir de su perfil longitudinal.
- 1.2** El método tiene aplicación para los perfiles longitudinales definidos por sus cotas a intervalos iguales de longitud inferior a 0.30 m.
- 1.3** Para definir el IRI se emplea un modelo matemático que simula la suspensión y las masas de una cuarta parte de un vehículo tipificado (cuarto de carro), que circula a 80 km/h por el tramo de carretera que se pretende evaluar. Los parámetros que definen las masas, rigideces y amortiguaciones de este vehículo, se presentan en la Figura 794 - 1. Para calcular el IRI es necesario conocer el perfil longitudinal de la carretera, definido por sus cotas en intervalos (Δx) de longitud constante.
- 1.4** El IRI es un valor promedio sobre una longitud L y sus valores dependen del valor L elegido. Para el cálculo de los valores del IRI en esta norma se utilizará como longitud L el hectómetro.
- 1.5** Esta norma reemplaza la norma INV E-794-07.

2 DEFINICIONES

- 2.1** Para los efectos de esta norma, aplican las siguientes definiciones:
- 2.1.1** *Perfil longitudinal de la carretera* – Sucesión de cotas en intervalos de longitud constante, la cual no deberá ser inferior a 0.01 m, ni superior a 0.30 m. Si el intervalo fuese inferior a 0.25 m, para que represente el acoplamiento que realmente sufriría la rueda sobre el pavimento, se debe suavizar obteniendo su media móvil por segmentos de 0.25 m.
- 2.1.2** *Desplazamiento vertical, u* – Desplazamiento vertical de las masas no suspendidas del cuarto de carro, con relación a su posición inicial.

- 2.1.3** *Desplazamiento vertical, v* – Desplazamiento vertical de las masas suspendidas del cuarto de carro, con relación a su posición inicial.
- 2.1.4** *Longitud de valoración del IRI, L* – Longitud del tramo en el que se calculará el IRI y se reportará un resultado. Para los cálculos que siguen en esta norma, la longitud se considerará igual a 100 m.
- 2.1.5** *IRI* – El IRI se define como sigue, a partir de los desplazamientos verticales “u” y “v”:

$$IRI = \frac{1}{L} \sum |\Delta u - \Delta v| \quad [794.1]$$

- 2.1.5.1** Por lo tanto, el IRI se puede definir como el desplazamiento acumulado, en valor absoluto, de la masa superior respecto a la inferior, dividido por la distancia recorrida.
- 2.1.5.2** Si Δx es el intervalo fijado y “n” el número de intervalos recorridos, se tiene:

$$L = n \Delta x \quad [794.2]$$

- 2.1.5.3** Sustituyendo la expresión del numeral 2.1.5.2 en la del numeral 2.1.5.1:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\Delta u}{\Delta x} - \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| \quad [794.3]$$

- 2.1.5.4** Si se define:

$$RS = \left| \frac{\Delta u}{\Delta x} - \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| \quad [794.4]$$

- 2.1.5.5** Se obtiene por sustitución:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS \quad [794.5]$$

2.1.5.6 De las fórmulas se deduce que el IRI es una unidad adimensional. Sin embargo, para facilitar su manejo y evitar números decimales muy pequeños, se acostumbra multiplicar por 1000 y expresar en m/km (dm/hm).

3 IMPORTANCIA Y USO

3.1 El IRI se puede emplear en sistemas de gestión para el mantenimiento de pavimentos, donde se hacen evaluaciones a nivel de red; o como elemento de control de calidad de la regularidad superficial de obras de pavimentación.

4 FUNDAMENTO Y CÁLCULO

4.1 Las ecuaciones diferenciales que expresan el movimiento de las masas suspendida y no suspendida son:

$$m_2 \ddot{v} + c_2 (\dot{v} - \dot{u}) + k_2 (v - u) = 0 \quad [794.6]$$

$$m_2 \ddot{v} + m_1 \ddot{u} + k_2 (u - y) = 0 \quad [794.7]$$

Donde: m_1 , m_2 , k_1 , k_2 y c_2 : Constantes del cuarto de carro de la Figura 794 - 1;

y : Cota del perfil recorrido, según la experimenta la rueda del vehículo (perfil suavizado);

Las derivadas \dot{u} , \dot{v} , \ddot{u} y \ddot{v} lo son respecto al tiempo.

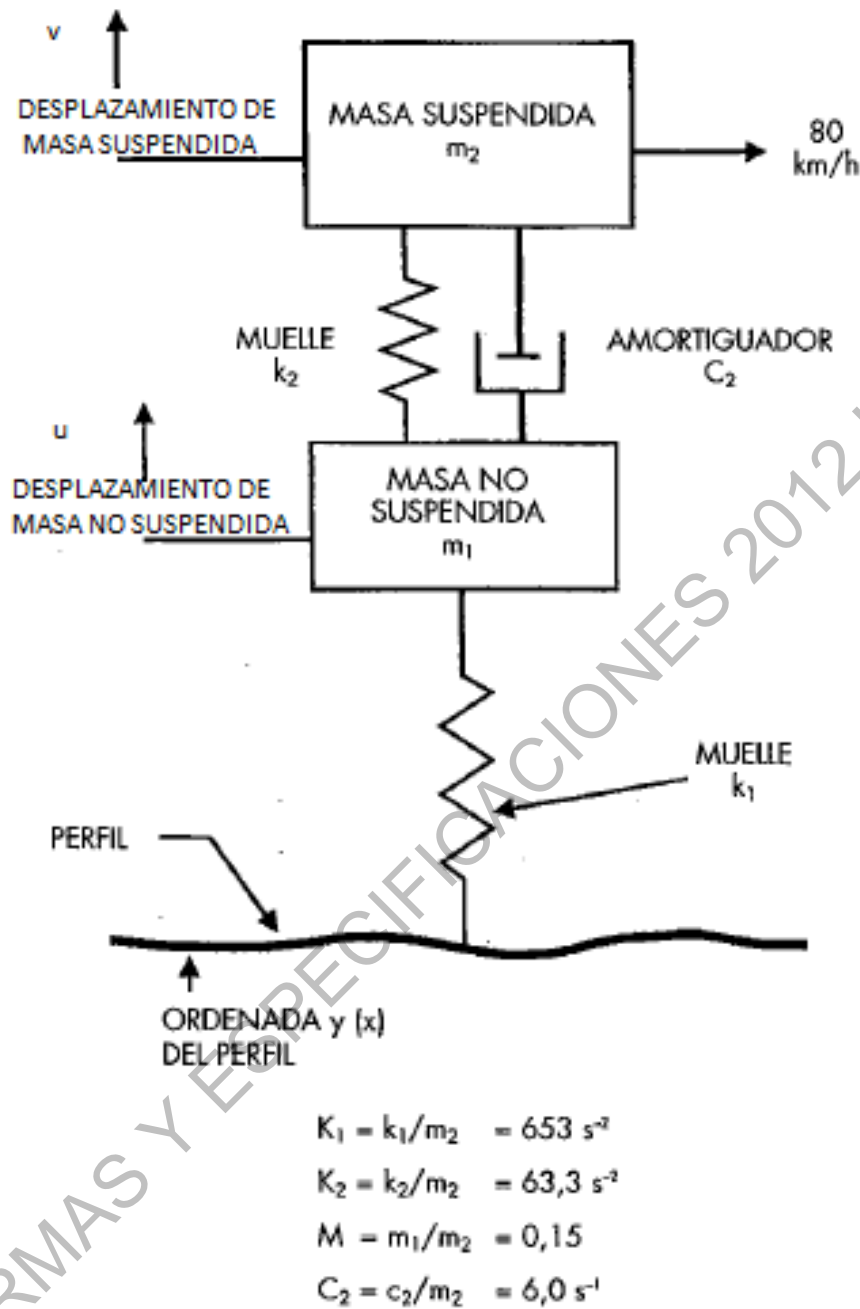


Figura 794 - 1. Modelo del "Cuarto de Carro"

- 4.2 Si el perfil se define por una serie de cotas a intervalos de longitud constante, una vez resuelto el sistema de ecuaciones diferenciales anterior, los movimientos de las masas del cuarto de carro quedan definidos mediante el siguiente sistema de ecuaciones:

$$Z_{1,i} = S_{11}Z_{1,i-1} + S_{12}Z_{2,i-1} + S_{13}Z_{3,i-1} + S_{14}Z_{4,i-1} + P_1 \cdot y' \quad [794.8]$$

$$Z_{2,i} = S_{21}Z_{1,i-1} + S_{22}Z_{2,i-1} + S_{23}Z_{3,i-1} + S_{24}Z_{4,i-1} + P_2 \cdot y' \quad [794.9]$$

$$Z_{3,i} = S_{31}Z_{1,i-1} + S_{32}Z_{2,i-1} + S_{33}Z_{3,i-1} + S_{34}Z_{4,i-1} + P_3 \cdot y' \quad [794.10]$$

$$Z_{4,i} = S_{41}Z_{1,i-1} + S_{42}Z_{2,i-1} + S_{43}Z_{3,i-1} + S_{44}Z_{4,i-1} + P_4 \cdot y' \quad [794.11]$$

Donde: Z_{1i} : $\Delta v / \Delta x$ para una posición "i";

Z_{3i} : $\Delta u / \Delta x$ para una posición "i";

$$y' = (y_i - y_{i-1}) / \Delta x \quad [794.12]$$

S_{ij} , P_i : Constantes que vienen fijadas por el tiempo necesario para que el cuarto de carro recorra el intervalo Δx a la velocidad de 80 km/h. Sus valores aparecen al final del programa de computador incluido en el Anexo A de esta norma.

4.2.1 Mediante este sistema de ecuaciones recurrentes se conocen, en cualquier punto, las posiciones "u" y "v" de las masas del cuarto de carro, si se conoce la posición de las masas en el punto anterior.

4.3 Si no se conocen las condiciones iniciales del sistema en el primer punto, se tomarán las siguientes:

$$Z_{1,0} = Z_{3,0} = (y^* - y_0) / 11 \quad [794.13]$$

$$Z_{2,0} = Z_{4,0} = 0 \quad [794.14]$$

Donde: y^* : Cota del punto del perfil situado a 11 m del inicio;

y_0 : Cota inicial (punto $i = 0$).

- 4.4 Conocidas las condiciones iniciales, se puede calcular para cada punto "i" del perfil, su correspondiente valor RS_i :

$$RS_i = |Z_{3,i} - Z_{1,i}| \quad [794.15]$$

5 CÁLCULO DEL IRI EN UN HECTÓMETRO

- 5.1 Conocidos los valores de RS_i , el valor del IRI en un hectómetro cualquiera sería:

$$IRI = \frac{1}{n} \sum RS_i \quad [794.16]$$

$$n = 100 / \Delta x \quad [794.17]$$

- 5.2 En el Anexo A de esta norma se incluye el código de un programa que permite el cálculo del IRI. No obstante, se podrán utilizar otros programas de cálculo, siempre que los resultados no difieran de los obtenidos en el programa del Anexo A en más de cinco centésimas de decímetro/hectómetro (0.05 dm/hm).

6 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- 6.1 Los resultados identificarán la abscisa del punto inicial del hectómetro y, a continuación, se presentará el resultado del IRI, expresado en dm/hm, redondeado a la décima.

Nota 1: Al ensayar un tramo de carretera, éste se deberá dividir en hectómetros, iniciando una nueva división en cada uno de los postes de referencia. Si la distancia entre postes de referencia es diferente de 1000 m, por cuanto entre dos postes puede existir un número no entero de hectómetros, pueden ocurrir dos casos, según que la longitud del tramo sobrante sea:

a) Menor de 50 m – En este caso, el tramo sobrante se añadirá al hectómetro inmediatamente anterior, y se calculará el IRI del tramo total. Además del valor del IRI, se debe anotar la longitud del tramo al dar el resultado.

b) Mayor o igual a 50 m – En este caso, se calculará el IRI del tramo sobrante, como se indica en la nota A.1. Además del valor del IRI se debe anotar la longitud del tramo al dar el resultado.

Nota 2: Cuando se trate de calcular los porcentajes de tramos hectométricos cuyos valores de IRI son inferiores a ciertos umbrales dados, los tramos de los casos a) y b) se ponderarán con un factor igual a su longitud, expresada en metros, divida por 100.

7 NORMAS DE REFERENCIA

NLT 330 – 98

ANEXO A (Informativo)

PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DEL IRI

- A.1** Para facilitar el cálculo del IRI en un perfil de 100 m de longitud, definido por sus cotas cada Δx , se incluye un programa escrito en lenguaje BASIC.
- A.2** Al comienzo, el programa solicita el “NOMBRE DEL ARCHIVO CON LAS COTAS (en mm)”. Hay que dar el nombre del archivo, que estará constituido por una columna con las cotas del perfil cada Δx , expresadas en mm. A continuación, el programa pide el “INTERVALO ENTRE PUNTOS DEL PERFIL (en mm)”. Hay que dar el intervalo Δx en metros.
- A.3** El IRI del hectómetro es el resultado que aparece en pantalla.

Nota A.1: Si se desea calcular el IRI en una longitud distinta a 100 m, bastará sustituir en la línea 1480 el valor “100” por “L”; siendo “L” la longitud deseada, expresada en m.

```
1000 REM ESTE PROGRAMA REALIZA EL
      CALCULO DEL IRI EN UN
      HECTÓMETRO
1010 CLS
1020 DIM Y(1101),Z(4),Z1(4),S(4,4),P(4)
1030 LOCATE 12,20 : INPUT "NOMBRE DEL
      ARCHIVO CON LAS COTAS.(en mm)";
      A$
1040 OPEN "I", #1, A$
1050 LOCATE 16,20 : INPUT "INTERVALO
      ENTRE PUNTOS DEL PERFIL (en m)";
      DX
1060 REM ----- Calcular constantes
1070 K = INT (.25 / DX + .5) + 1
1080 BL = (K - 1) * DX
1090 GOSUB 1520
1100 REM ----- Inicializar variables
1110 NN = 11 / DX + 1
1120 FOR I = 1 TO NN
1130 INPUT #1, Y(I)
1140 NEXT I
1150 CLOSE #1
1160 OPEN "I", #1, A$
1170 INPUT #1, Y(1)
1180 Z1(1) = (Y(NN) - Y(1)) / 11
1190 Z1(2) = 0
1200 Z1(3) = Z1(1)
1210 Z1(4) = 0
1220 RS = 0
1230 IX = 1
1240 I = 0
1250 REM ----- Introducir cotas
1260 I = I + 1

1270 IX = IX + 1
1280 IF EOF(1) GOTO 1500
1290 INPUT #1, Y(K)
1300 REM ----- Cálculo de las pendientes
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 ----- Simulación de la respuesta
           del vehículo
1380     FOR J = 1 TO 4
1390         Z(J) = P(J) * YP
1400         FOR JJ = 1 TO 4
1410             Z(J) = Z(J) + S(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(3) - Z(1))
1480     IF IX < INT (100 / DX + .5) OR IX = INT
           (100 / DX + .5) GOTO 1260
1490     LOCATE 12,30 : PRINT "IRI = ",RS / I
1500     CLOSE #1
1510     END
1520 REM ----- Subrutina para cálculo de
           las constantes
1530     CLS
1540     N = 4
1550     K1 = 653
1560     K2 = 63.3
1570     MU = .15
1580     C = 6
1590     DIM A(4,4), A1(4,4), A2(4,4), IC(4), JC(4),
           W(4)
1600     MM = DX * 1000
1610     V = 80
1620     T = MM / V * .0036
1630     FOR I = 1 TO 4
1640         FOR J = 1 TO 4
1650             A(J,I) = 0
1660             A1(J,I) = 0
1670             S(I,J) = 0
1680         NEXT J
1690         A1(I,I) = 1
1700         S(I,I) = 1
```

```
1710 NEXT I
1720 A(1,2) = 1
1730 A(3,4) = 1
1740 A(2,1) = - K2
1750 A(2,2) = - C
1760 A(2,3) = K2
1770 A(2,4) = C
1780 A(4,1) = K2 / MU
1790 A(4,2) = C / MU
1800 A(4,3) = -(K1 + K2) / MU
1810 A(4,4) = - C / MU
1820 IT = 0
1830 IT = IT + 1
1840 IS = 1
1850 FOR J = 1 TO N
1860   FOR I = 1 TO N
1870     A2(I,J) = 0
1880     FOR KK = 1 TO N
1890       A2(I,J) = A2(I,J) + A1(I,KK) * A(KK,J)
1900     NEXT KK
1910   NEXT I
1920 NEXT J
1930 FOR J = 1 TO N
1940   FOR I = 1 TO N
1950     A1(I,J) = A2(I,J) * T / IT
1960     IF S(I,J) = S(I,J) + A1(I,J) THEN
1970       GOTO 1990
1980     S(I,J) = S(I,J) + A1(I,J)
1990   NEXT I
2000 NEXT J
2010 IF IS = 0 THEN GOTO 1830
2020 ER = 0
2030 FOR KK = 1 TO N
2040   KD = KK - 1
2050   PV = 0
2060   FOR I = 1 TO N
2070     FOR J = 1 TO N
2080       IF KK = 1 THEN 2140
```

```
2090     FOR II = 1 TO KD
2100         FOR JJ = 1 TO KD
2110             F I = IC(II) OR J = JC(JJ) THEN
                GOTO 2180
2120                 NEXT JJ
2130             NEXT II
2140             IF ABS (A(I,J)) <= ABS (PV)
                THEN GOTO 2180
2150                 PV = A(I,J)
2160                 IC(KK) = I
2170                 JC(KK) = J
2180             NEXT J
2190         NEXT I
2200     IF ABS (PV) > ER THEN GOTO 2230
2210         PRINT "PIVOT < ",ER
2220         STOP
2230     II = IC(KK)
2240     JJ = JC(KK)
2250     FOR J = 1 TO N
2260         A(II,J) = A(II,J) / PV
2270     NEXT J
2280     A(II,JJ) = 1 / PV
2290     FOR I = 1 TO N
2300         AA = A(I,JJ)
2310         IF I = II THEN 2360
2320         A(I,JJ) = - AA / PV
2330         FOR J = 1 TO N
2340             IF J < > JJ THEN A(I,J) =
                A(I,J) - AA * A(II,J)
2350         NEXT J
2360     NEXT I
2370     NEXT KK
2380     FOR J = 1 TO N
2390         FOR I = 1 TO N
2400             W(JC(I)) = A(IC(I),J)
2410         NEXT I
2420     FOR I = 1 TO N
2430         A(I,J) = W(I)
```

```
2440     NEXT I
2450     NEXT J
2460     FOR I = 1 TO N
2470         FOR J = 1 TO N
2480             W(IC(J)) = A(I,JC(J))
2490         NEXT J
2500         FOR J = 1 TO N
2510             A(I,J) = W(J)
2520         NEXT J
2530     NEXT I
2540     FOR I = 1 TO N
2550         P(I) = - A(I,4)
2560         FOR J = 1 TO N
2570             P(I) = P(I) + A(I,J) * S(J,4)
2580         NEXT J
2590         P(I) = P(I) * K1 / MU
2600     NEXT I
2610 RETURN
```

NORMAS Y ESPECIFICACIONES 2012 INVIAS