

# EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD (IRI) EN CAMINOS PAVIMENTADOS DE GEOMETRÍA RESTRINGIDA: CÁLCULO DEL IRI GEOMÉTRICO – CASO DE APLICACIÓN

Ing. Jose Ramón Marcobal B.<sup>1</sup>, Rodrigo Diaz T.<sup>2</sup>, Waldo Marquez S.<sup>3</sup>, David Saldaña M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> SACYR S.A., Pº de la Castellana, 83-85. 7ª planta 28046- Madrid – España, [jrmarcobal@sacyr.com](mailto:jrmarcobal@sacyr.com)

<sup>2</sup> APSA LTDA, Calle Narciso de la Colina N° 421 Of 1402 Miraflores Lima – Perú, [rdiaz@apsaperu.pe](mailto:rdiaz@apsaperu.pe)

<sup>3</sup> APSA LTDA, Calle Narciso de la Colina N° 421 Of 1402 Miraflores Lima – Perú, [wmarquez@apsaperu.pe](mailto:wmarquez@apsaperu.pe)

<sup>4</sup> APSA LTDA, Carrera 16 # 96-64 Of 509 Bogotá, Colombia, [dsaldana@apsacolombia.co](mailto:dsaldana@apsacolombia.co)

## Resumen

Dadas las características geográficas de Colombia, la infraestructura vial se desarrolla atravesando zonas de cordillera, caracterizadas por una fuerte topografía que se traduce en un perfil longitudinal irregular con curvas sucesivas de radios reducidos, pendientes pronunciadas y cortas distancias para el desarrollo de peraltes. Estas condiciones geométricas se manifiestan en valores de IRI típicamente altos, independientemente de la condición del pavimento o técnica constructiva de la plataforma, definiendo sectores singulares que tendrán valores elevados de IRI debido solamente al diseño geométrico.

El IRI se define como una propiedad del perfil longitudinal del camino, el cual está definido por la configuración geométrica de los diferentes elementos que componen su sección longitudinal y transversal. Cualquier perfil medible en la superficie del camino tendrá asociado un valor único de IRI, por lo tanto, el perfil longitudinal teórico tendrá también un valor de IRI asociado exclusivamente al diseño geométrico.

Este trabajo describe un método de cálculo para la evaluación del IRI geométrico, así como los resultados obtenidos de la implementación del método sobre un caso de aplicación. Los resultados obtenidos plantean la necesidad de discutir cómo evaluar el cumplimiento de umbrales de IRI en caminos con geometría singular.

**Palabras Clave:** Rugosidad – IRI – Diseño Geométrico – Perfil Longitudinal

## 1. INTRODUCCIÓN

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI), es un parámetro estandarizado que representa las características de rugosidad superficial en los pavimentos a partir del perfil longitudinal obtenido por la medición de las cotas en las huellas del camino. Durante años, el IRI ha sido el indicador de rugosidad aceptado mundialmente para determinar la calidad de pavimentos en términos de comodidad y confort para el usuario. Al igual que en otros países, en Colombia, se han establecido umbrales de IRI como uno de los parámetros más importantes en la evaluación de niveles de servicio exigibles en carreteras concesionadas y caminos sujetos a contratos de conservación.

Dadas las características geográficas de Colombia, la infraestructura vial se desarrolla atravesando zonas de cordillera, caracterizadas por una topografía de pendientes pronunciadas y geometría restringida, que se traducen en un perfil geométrico longitudinal irregular y de alineamiento horizontal sinuoso. Desde el punto de vista del IRI, estas condiciones geométricas se manifiestan en valores de IRI típicamente altos, independientemente de la condición del pavimento o técnica constructiva de la plataforma, definiendo sectores singulares que tendrán valores elevados de IRI debido solamente al diseño geométrico.

Esta problemática ha sido observada empíricamente en mediciones de IRI realizadas en caminos de geometría accidentada, aunque puede ser evaluada desde un punto de vista analítico a partir de la aplicación del modelo de IRI sobre el perfil longitudinal teórico correspondiente al diseño geométrico del camino.

En éste trabajo se describe un método de cálculo para el IRI teórico. Se presentan entonces, las definiciones, especificaciones de cálculo, y análisis requeridos para la evaluación del IRI en sectores de geometría singular, así como los resultados obtenidos de la implementación del método sobre un caso de aplicación.

## 2. ANTECEDENTES

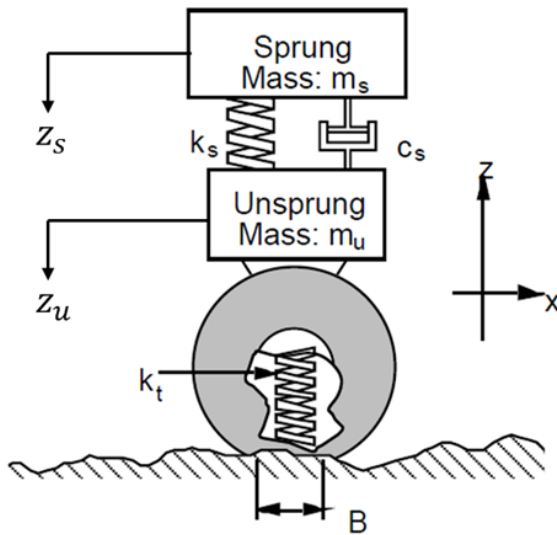
### 2.1. Modelo del Cuarto de Carro

El Índice de Rugosidad Internacional (IRI) fue establecido en el Experimento Internacional IRRE (International Road Roughness Experiment), desarrollado por el Banco Mundial el año 1982 en Brasil. Se define como la medida del desplazamiento de la masa amortiguada respecto de la masa no amortiguada de un modelo de cuarto de carro, y se reporta en unidades de desplazamiento por longitud recorrida. El método utiliza la respuesta de un modelo matemático estandarizado sobre un perfil longitudinal medido [1].

El IRI fue el primer índice de rugosidad cuyo método de cálculo fue concebido para utilizar el perfil longitudinal obtenido mediante diferentes instrumentos de medición. El modelo fue desarrollado y probado para minimizar los efectos de los parámetros de medición propios de algunos perfilómetros, por lo tanto, el IRI es estable en el tiempo ya que ésta basado en el concepto del perfil longitudinal, y no en las propiedades físicas de un instrumento de medición en particular [2-3].

En la Figura 1 se presenta el modelo matemático del “cuarto de carro”, el cual representa el desplazamiento de un vehículo teórico de características estandarizadas sobre un perfil determinado, a una velocidad de 80 km/h.

El modelo de simulación consiste en una masa amortiguada o suspendida, la cual representa el cuarto de carro. Esta se encuentra conectada a una masa no amortiguada, que representa el neumático y el eje del vehículo, a través de un resorte y un amortiguador en paralelo que representan la suspensión del vehículo. Por último, el neumático es representado por un resorte lineal.



**Equilibrio de fuerzas sobre la masa amortiguada:**

$$m_s \frac{d^2 z_s}{dt^2} + c_s \left( \frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right) + k_s (z_s - z_u) = 0$$

**Equilibrio de fuerzas sobre la masa no amortiguada:**

$$m_s \frac{d^2 z_s}{dt^2} + m_u \frac{d^2 z_u}{dt^2} + k_t z_u = k_t Z$$

Figura 1. Sistema de Ecuaciones: Modelo de “Cuarto de Carro”

El modelo de cuarto de carro presentado en la Figura 1 queda definido por dos ecuaciones diferenciales de segundo orden, cuya solución numérica para el cálculo del IRI fue establecida por el Banco Mundial [4]. Las propiedades del vehículo teórico (constantes de resortes, masas y amortiguadores) están definidas como parte del algoritmo de cálculo del IRI, y corresponden a una representación teórica estándar del comportamiento típico de la mayoría de los vehículos en carretera. Los valores definidos por el Banco Mundial para el vehículo estándar (*golden car*) son:

$$\frac{k_s}{m_s} = 63.3 \left( \frac{1}{s^2} \right) ; \quad \frac{k_t}{m_s} = 653 \left( \frac{1}{s^2} \right) ; \quad \frac{c}{m_s} = 6 \left( \frac{1}{s} \right) ; \quad \frac{m_u}{m_s} = 0.15$$

El desplazamiento acumulado de la masa amortiguada respecto de la masa no amortiguada queda definido por:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L \left| \frac{dz_s}{dt} - \frac{dz_u}{dt} \right| dt \quad (1)$$

Dónde,  $z_s$  es la coordenada vertical de la masa amortiguada (cuarto de carro),  $z_u$  es la Coordenada vertical de la masa no amortiguada (neumático y eje del vehículo) y  $L$  la distancia recorrida.

De esta expresión se deduce que el IRI se define como el desplazamiento acumulado en valor absoluto de la masa amortiguada respecto de la masa no amortiguada, dividido por la distancia recorrida.

$$IRI = \frac{1}{L} \sum |\Delta s - \Delta u| \quad (2)$$

Dado que el neumático del modelo de cuarto de carro contacta el camino sobre una superficie de contacto y no en “un punto” (ver Figura 1), para el cálculo final del IRI, el perfil longitudinal debe ser previamente filtrado mediante una media móvil de paso bajo, con un ancho de base  $B = 250$  mm. Este filtro permite el paso de frecuencias bajas y atenúa las altas suavizando el perfil.

Por lo tanto, de acuerdo a los antecedentes presentados, se establece que el índice de regularidad IRI no se mide directamente, lo que en realidad es objeto de medición son las cotas que determinan el perfil longitudinal del pavimento, el cual será utilizado como variable en entrada en el modelo de cuarto de carro para el cálculo del IRI.

## 2.2. Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y el Diseño Geométrico del Camino

Los caminos son obras tridimensionales, cuyos elementos quedan definidos mediante las proyecciones sobre los planos ortogonales de referencia: Planta, Elevación y Sección Transversal. El elemento básico para tal definición es el eje de la vía, cuyas proyecciones en planta y elevación constituyen el alineamiento horizontal y perfil longitudinal, respectivamente.

De acuerdo con lo anterior, el IRI se define como una propiedad del perfil longitudinal de la vía, el cual, a su vez, está determinado por la configuración geométrica que adopten los diferentes elementos que componen la sección longitudinal y transversal del camino; pendiente, bombeo, peralte, parámetros de curvatura horizontal y vertical, etc.

Cualquier perfil medible en la superficie del camino tendrá asociado un valor único de IRI [3]. Por lo tanto, el perfil longitudinal teórico tendrá también un valor de IRI asociado exclusivamente al diseño geométrico del camino.

Al definir el IRI como una propiedad del perfil longitudinal del camino, su cálculo debería ser independiente de la curvatura horizontal. Sin embargo, esto no ocurre en la realidad, ya que al encontrarse presente una curva horizontal, debe haber una transición entre el bombeo natural de los carriles y el peralte máximo requerido por la curva, originando cambios en la cota del perfil longitudinal de la huella de circulación, y por lo tanto, provocado vibraciones en el vehículo.

Producto de lo anterior, en una curva horizontal, el modelo de “cuarto de carro” se ve enfrentado a un perfil trapezoidal con cuatro cambios bruscos de pendiente:

- En el inicio de la transición del bombeo de la pista, al peralte máximo de diseño de la curva.
- En el punto donde se alcanza el peralte máximo de diseño de la curva.
- En el punto donde comienza la transición desde el peralte máximo de diseño de la curva al bombeo.
- En el punto donde se alcanza nuevamente el bombeo natural de la pista.

Esta problemática se ha observado empíricamente en mediciones de IRI realizadas en caminos de geometría accidentada (específicamente en caminos de alta montaña, enlaces, lazos y otros elementos de geometría compleja), obteniendo valores de IRI significativamente más altos a los esperados. Sin embargo, en la literatura existen pocos estudios acerca de la influencia de las condiciones geométricas del camino en el valor del IRI, aunque las investigaciones disponibles son concluyentes en que los alineamientos horizontales (o curvas

horizontales) tienen un impacto significativo en el valor del IRI y por ende exigen un análisis puntual y particular [5-6].

En este sentido, la sola existencia de curvas en el trazado puede llegar a incrementar el IRI hasta valores cercanos al límite individual permitido por las especificaciones [5]. En el caso específico de caminos montañosos, en donde el trazado normalmente se encuentra caracterizado por curvas sucesivas de radios reducidos y cortas distancias para el desarrollo de los peraltes, el análisis teórico del IRI se podrá incrementar sustancialmente debido al cambio de cotas que representa en los segmentos con curva.

### 3. CÁLCULO DEL IRI TEÓRICO: CASO DE APLICACIÓN

#### 3.1. Metodología

Para determinar el IRI geométrico del sector que se desea estudiar, se deberá disponer del perfil longitudinal teórico de cada huella (o de la huella más desfavorable), expresado como una serie de puntos definidos por distancias y cotas. Para el presente trabajo, se ha considerado la especificación de cálculo establecida en el Manual de Carreteras de Chile – Volumen 8 [7]. La separación entre puntos no debe superar los 25 cm y las cotas deben tomarse con una precisión de 0.2 mm para efectos de proceso.

El estándar de medición considera evaluar el IRI sobre las huellas de circulación de los vehículos, por lo tanto, para definir la ubicación teórica de la huella interna y externa dentro de la pista, se considera que estas se encuentran a 70 cm del eje y a 70 cm de la berma respectivamente, que representa la distancia promedio por la cual normalmente circulan los vehículos. Para realizar la evaluación del IRI teórico se utilizó la siguiente metodología:

- i) A partir de los planos del perfil longitudinal, se obtuvieron las cotas de la rasante cada 25 cm. El trazado del eje es, en elevación, una sucesión de rectas y parábolas, por lo tanto, las cotas del eje se obtienen interpolando entre puntos cuyas cotas estén detalladas en los planos, conociendo si previamente dichos puntos están alineados con una recta o una parábola (información que debe estar en el plano).
- ii) A partir de los diagramas de peralte que vienen detallados en el plano, se obtiene el valor de peralte (o bombeo) asociado a cada punto del eje, es decir, cada 25 cm.
- iii) Una vez determinadas las cotas del eje y los respectivos peraltes asociados, se obtendrá la cota en la huella externa de la pista con una interpolación lineal.
- iv) Una vez obtenido el perfil en la huella con cotas cada 25 cm, se debe procesar dicho perfil con el modelo de IRI mediante *software* (Roadruf, Proval, etc.) o bien programar.



### 3.2. Caso de Aplicación

El siguiente ejemplo de aplicación de la metodología de IRI teórico corresponde a un segmento de 20 km correspondiente a una ruta ubicada en la sierra del departamento de Cajamarca, Perú.



Figura 2. Plano de Ubicación General

A modo de ejemplo, en la Figura 3 se presenta el trazado en planta entre el Pk 9+000 – 10+000, el cual está comprendido por una serie de 15 curvas y contra curvas.

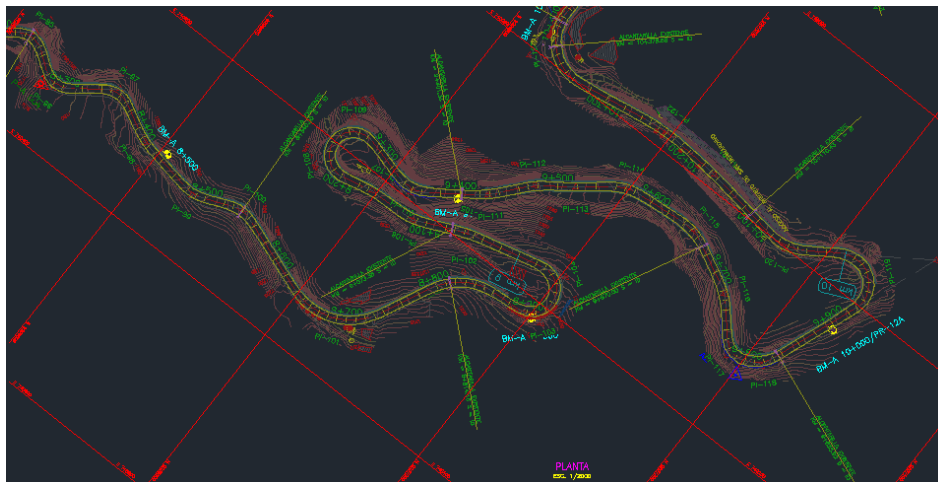


Figura 3. Trazado Pk 9+000 – 10+000

Para determinar la cota cada 25 cm a lo largo del eje, se requiere interpolar linealmente entre los tramos rectos de la rasante. Para ello, se ha seguido el siguiente procedimiento entre vértices del alineamiento vertical:

$$C_{ex} = C_0 + x \frac{i_1}{100} \quad (3)$$

Dónde,  $C_{ex}$  es la cota en el eje a la distancia  $x$  (m),  $C_0$  es la Cota inicial (m),  $x$  es la Proyección horizontal de la distancia  $C_0$  hasta  $C_x$  (m),  $i_1$  es la Pendiente de la rasante (%).

En los sectores con curvas verticales, ya sea curvas cóncavas o convexas el procedimiento de cálculo requiere determinar la distancia vertical existente entre la línea de la rasante y la curva parabólica:

$$y_x = \frac{x^2}{2K} \quad (4)$$

Dónde,  $y_x$  es la Distancia vertical entre la curva y línea de rasante (m),  $x$  es la Proyección horizontal de la distancia  $C_0$  hasta  $C_x$  (m) y  $K$  es el Parámetro de la curva vertical.

Para obtener la cota de la rasante corregida en los tramos con curvas verticales, se suma o resta el valor de la cota en el eje ( $C_{ex}$ ), el valor de distancia vertical ( $y_x$ ), dependiendo del tipo de curva que sea:

$$C_{rx} = C_{ex} \pm y_x \quad (5)$$

Para obtener la cota en la huella se requiere saber cuál es la pendiente transversal existente en dicho metraje. Para ello, se ha interpolado linealmente el valor del peralte a partir del diagrama de transición de peraltes en dicho punto.

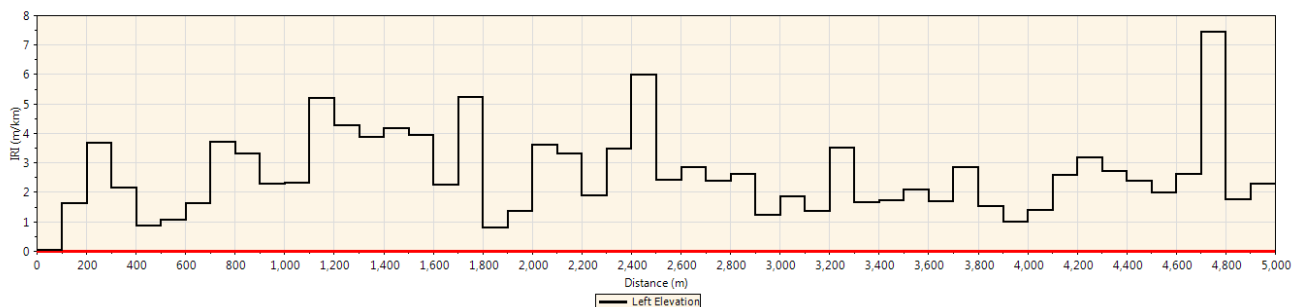
$$C_{hx} = C_{rx} + \frac{p_x \times d_h}{100} \quad (6)$$

Dónde,  $C_{hx}$  es la cota en la huella en el punto  $x$  (m),  $C_{rx}$  es la cota del eje de la rasante en el punto  $x$  (m),  $p_x$  es la pendiente transversal en el punto  $x$  y  $d_h$  es la distancia de la huella al eje (m).

### 3.3. Resultados Obtenidos

Una vez obtenido el perfil en la huella con cotas cada 25 cm, se ha procesado dicho perfil aplicando el modelo de IRI mediante el uso de *software*. Desde la Tabla 1 a la Tabla 4 se presentan los resultados de cálculo de IRI teórico en intervalos de 100 m para la huella externa del carril derecho.

Tabla 1. Resultados IRI Teórico @ 100m Pk 0+000 – 5+000

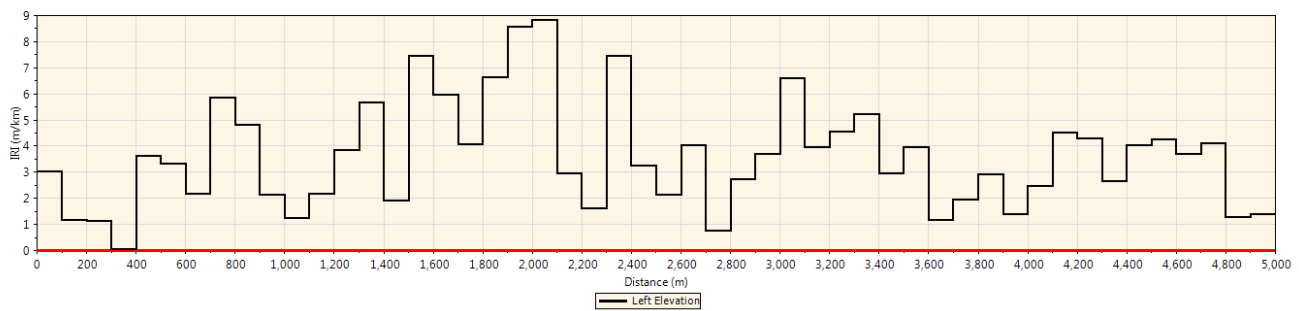


PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
0	0.1	0.05
0.1	0.2	1.63
0.2	0.3	3.66
0.3	0.4	2.14
0.4	0.5	0.86
0.5	0.6	1.05
0.6	0.7	1.64
0.7	0.8	3.69
0.8	0.9	3.32
0.9	1	2.28
1	1.1	2.32
1.1	1.2	5.18
1.2	1.3	4.25
1.3	1.4	3.88
1.4	1.5	4.15
1.5	1.6	3.93
1.6	1.7	2.25
1.7	1.8	5.23
1.8	1.9	0.79
1.9	2	1.37

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
2	2.1	3.61
2.1	2.2	3.32
2.2	2.3	1.89
2.3	2.4	3.48
2.4	2.5	5.99
2.5	2.6	2.42
2.6	2.7	2.84
2.7	2.8	2.38
2.8	2.9	2.6
2.9	3	1.23
3	3.1	1.84
3.1	3.2	1.37
3.2	3.3	3.5
3.3	3.4	1.67
3.4	3.5	1.72
3.5	3.6	2.09
3.6	3.7	1.68
3.7	3.8	2.86
3.8	3.9	1.53
3.9	4	0.98

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
4	4.1	1.39
4.1	4.2	2.59
4.2	4.3	3.18
4.3	4.4	2.7
4.4	4.5	2.39
4.5	4.6	2
4.6	4.7	2.6
4.7	4.8	7.44
4.8	4.9	1.75
4.9	5	2.28

Tabla 2. Resultados IRI Teórico @ 100m Pk 5+000 – 10+000



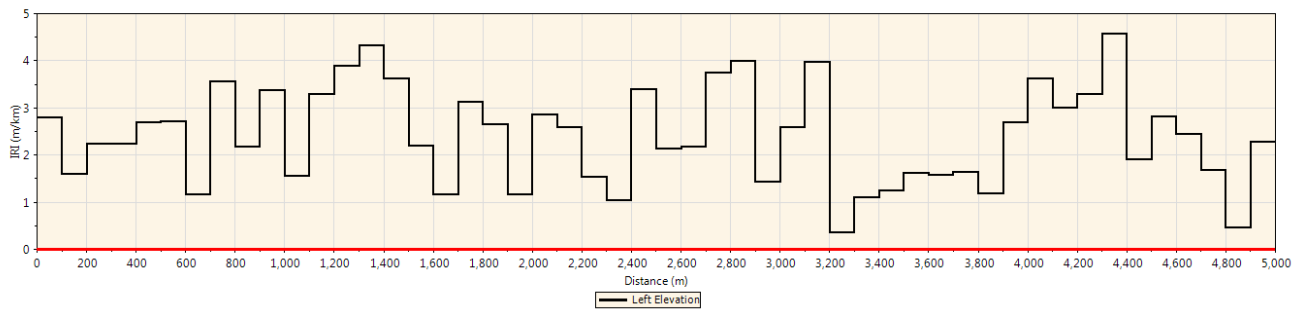


PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
5	5.1	2.71
5.1	5.2	1.14
5.2	5.3	1.11
5.3	5.4	0.04
5.4	5.5	3.6
5.5	5.6	3.32
5.6	5.7	2.15
5.7	5.8	5.83
5.8	5.9	4.8
5.9	6	2.13
6	6.1	1.24
6.1	6.2	2.15
6.2	6.3	3.81
6.3	6.4	5.65
6.4	6.5	1.91
6.5	6.6	7.46
6.6	6.7	5.97
6.7	6.8	4.05
6.8	6.9	6.61
6.9	7	8.52

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
7	7.1	8.85
7.1	7.2	2.93
7.2	7.3	1.61
7.3	7.4	7.41
7.4	7.5	3.24
7.5	7.6	2.12
7.6	7.7	4
7.7	7.8	0.74
7.8	7.9	2.72
7.9	8	3.68
8	8.1	6.63
8.1	8.2	3.92
8.2	8.3	4.55
8.3	8.4	5.19
8.4	8.5	2.94
8.5	8.6	3.93
8.6	8.7	1.16
8.7	8.8	1.92
8.8	8.9	2.92
8.9	9	1.37

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
9	9.1	2.45
9.1	9.2	4.51
9.2	9.3	4.25
9.3	9.4	2.68
9.4	9.5	4.03
9.5	9.6	4.25
9.6	9.7	3.68
9.7	9.8	4.09
9.8	9.9	1.27
9.9	10	1.39

Tabla 3. Resultados IRI Teórico @ 100m Pk 10+000 – 15+000

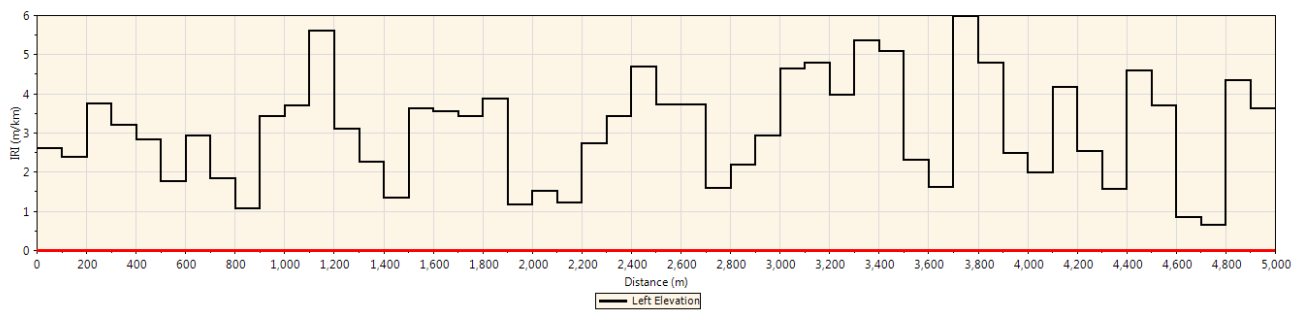


PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
10	10.1	2.89
10.1	10.2	1.58
10.2	10.3	2.23
10.3	10.4	2.22
10.4	10.5	2.68
10.5	10.6	2.72
10.6	10.7	1.16
10.7	10.8	3.55
10.8	10.9	2.17
10.9	11	3.36
11	11.1	1.54
11.1	11.2	3.25
11.2	11.3	3.92
11.3	11.4	4.32
11.4	11.5	3.62
11.5	11.6	2.2
11.6	11.7	1.15
11.7	11.8	3.11
11.8	11.9	2.66
11.9	12	1.16

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
12	12.1	2.85
12.1	12.2	2.57
12.2	12.3	1.56
12.3	12.4	1.02
12.4	12.5	3.39
12.5	12.6	2.14
12.6	12.7	2.18
12.7	12.8	3.74
12.8	12.9	3.98
12.9	13	1.42
13	13.1	2.59
13.1	13.2	3.96
13.2	13.3	0.37
13.3	13.4	1.09
13.4	13.5	1.25
13.5	13.6	1.62
13.6	13.7	1.56
13.7	13.8	1.64
13.8	13.9	1.19
13.9	14	2.7

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
14	14.1	3.62
14.1	14.2	2.99
14.2	14.3	3.28
14.3	14.4	4.58
14.4	14.5	1.92
14.5	14.6	2.82
14.6	14.7	2.44
14.7	14.8	1.67
14.8	14.9	0.47
14.9	15	2.28

Tabla 4. Resultados IRI Teórico @ 100m Pk 15+000 – 20+000



PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
15	15.1	2.58
15.1	15.2	2.4
15.2	15.3	3.75
15.3	15.4	3.2
15.4	15.5	2.83
15.5	15.6	1.77
15.6	15.7	2.92
15.7	15.8	1.83
15.8	15.9	1.07
15.9	16	3.35
16	16.1	3.72
16.1	16.2	5.61
16.2	16.3	3.11
16.3	16.4	2.24
16.4	16.5	1.34
16.5	16.6	3.62
16.6	16.7	3.55
16.7	16.8	3.41
16.8	16.9	3.87
16.9	17	1.17

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
17	17.1	1.5
17.1	17.2	1.22
17.2	17.3	2.7
17.3	17.4	3.44
17.4	17.5	4.7
17.5	17.6	3.72
17.6	17.7	3.7
17.7	17.8	1.6
17.8	17.9	2.19
17.9	18	2.93
18	18.1	4.56
18.1	18.2	4.81
18.2	18.3	3.97
18.3	18.4	5.35
18.4	18.5	5.09
18.5	18.6	2.31
18.6	18.7	1.61
18.7	18.8	5.98
18.8	18.9	4.75
18.9	19	2.49

PK inicial (m)	PK final (m)	IRI @ 100m (m/km)
19	19.1	1.99
19.1	19.2	4.17
19.2	19.3	2.54
19.3	19.4	1.56
19.4	19.5	4.57
19.5	19.6	3.7
19.6	19.7	0.84
19.7	19.8	0.63
19.8	19.9	4.34
19.9	20	3.62

Del análisis realizado se obtiene un valor de IRI promedio de 2,9 m/km, donde los valores individuales de IRI cada 100m varían debido exclusivamente al diseño geométrico, y dependen de la configuración que adopten los diferentes elementos que conforman el trazado (curvatura vertical, horizontal, desarrollo de peralte, etc.). En el caso específico de caminos montañosos, en donde el trazado normalmente se encuentra caracterizado por curvas sucesivas de radios reducidos y cortas distancias para el desarrollo de los peraltes, el IRI geométrico del camino se podrá incrementar sustancialmente, pudiendo en algunos casos, comprometer el cumplimiento de los umbrales establecidos en los contratos de construcción o conservación.

#### 4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado la problemática existente para la evaluación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en caminos de geometría restringida, esto es, la obtención de valores significativamente más altos a los esperados. Esto se debe a que en el cálculo del IRI, el modelo de “cuarto de carro” se ve enfrentado a un perfil longitudinal con cambios bruscos de pendiente, debido principalmente al desarrollo de peraltes del alineamiento horizontal y en menor medida a la curvatura vertical de la vía, originando cambios en la cota de la huella de circulación, y por lo tanto, provocado vibraciones en el modelo de IRI.

En el caso específico de caminos montañosos, como en la cordillera Colombiana, el trazado normalmente se encuentra caracterizado por curvas sucesivas de radios reducidos y cortas distancias para el desarrollo de los peraltes, y el análisis teórico del IRI se podría incrementar sustancialmente debido al cambio de cotas que representa en los segmentos con curva, definiendo sectores singulares que tendrán valores elevados de IRI debido solamente al diseño geométrico.

En Colombia, así como a nivel mundial, el IRI es considerado como el principal indicador de rugosidad para determinar la calidad de pavimentos en términos de comodidad y confort para el usuario, para lo cual se han establecido umbrales de IRI como uno de los parámetros más importantes en la evaluación de niveles de servicio exigibles en carreteras concesionadas y caminos sujetos a contratos de conservación. Sin embargo, no se ha establecido una diferenciación que permita tomar en consideración aquellos tramos singulares, que debido a su geometría, presentarán valores intrínsecamente altos.

Es importante destacar que el perfil longitudinal plano perfecto  $IRI = 0.0$  m/km no es posible en la construcción de caminos. En este sentido, para caminos pavimentados nuevos, el IRI de construcción alcanza valores promedio cercanos a 1.5 m/km dependiendo de la técnica y calidad constructiva. A modo de ejemplo, si se considera una exigencia de IRI 2.0 m/km para la recepción de obras, el constructor tendrá una tolerancia de 0.5 m/km para adecuar su metodología constructiva. Por lo tanto, en caminos de geometría restringida donde los valores de IRI teórico superan los 0.5 m/km debido exclusivamente al diseño geométrico, es posible que se obtenga un IRI de construcción superior al exigido por las especificaciones debido exclusivamente al diseño geométrico e independiente de la técnica constructiva empleada.

## 5. REFERENCIAS

- [1] ASTM E-1170. Standard Practice for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces.
- [2] ASTM E-1926. Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements.
- [3] Sayers, M. y Karamihas, S. The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. University of Michigan Transportation Research Institute. USA, 1998.
- [4] WTP-45. The International Road Roughness Experiment. World Bank Technical Paper Number 45. Washington, D.C. USA, 1986.
- [5] Jelves, M. Influencia del Diseño Geométrico de los Pavimentos en el Índice de Rugosidad Internacional (IRI). Universidad de Chile. Santiago de Chile, 2000.
- [6] Salgado, M. Determinación de la Influencia del Diseño Geométrico en la Medición del IRI. Universidad de Chile. Santiago de Chile, 2003.
- [7] MOP. Manual de Carreteras Volumen N°8: Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control. Dirección de Vialidad. Ministerio de Obras Públicas. Chile, 2015.