

**IAG193-07-2013**  
**EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL EN VÍAS URBANAS**  
**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE RUGOSIDADE INTERNACIONAL EM VIAS URBANAS**

Daniel Abudinen M. Sc. (C)  
Universidad del Norte  
Barranquilla, Colombia  
[dabudinen@uninorte.edu.co](mailto:dabudinen@uninorte.edu.co)

Luis Guillermo Fuentes Ph.D.  
Universidad del Norte  
Barranquilla, Colombia  
[lfuentes@uninorte.edu.co](mailto:lfuentes@uninorte.edu.co)

Gerardo W. Flintsch, Ph.D.,  
Virginia Tech  
Blacksburg, Virginia, Estados Unidos  
[flintsch@vt.edu](mailto:flintsch@vt.edu)

## **Resumen**

El pavimento debe proporcionar a los usuarios que transitan en él una superficie segura y estable para su adecuado viaje, generando percepciones que se pueden cuantificar por medio del concepto de serviciabilidad. Igualmente, se identificó que la percepción del usuario está influenciada, en mayor proporción, por el estado superficial del pavimento, concretamente por la rugosidad de éste. La rugosidad cuantifica las irregularidades en la superficie del pavimento, para ello se utilizan parámetros como el IRI (International Roughness Index).

En el desarrollo del presente artículo se evaluó la aplicabilidad del concepto del IRI para las vías urbanas, debido a que inicialmente fue desarrollado para vías rurales, en las cuales la velocidad de viaje establecido para el IRI (80 Km/h) corresponde en promedio a la velocidad de operación. Sin embargo, implementando el mismo concepto del IRI en vías urbanas, en las cuales la velocidad promedio de viaje oscila entre los 20 y 40 Km/h, no se estará aplicando de manera adecuada el concepto del IRI en las vías internas de la ciudad.

Además se analizaron las ventajas y desventajas de las metodologías de medición que actualmente se implementan para la determinación del IRI tanto en vías urbanas como en vías rurales, realizando una comparación entre los equipos de alto rendimiento (velocidades altas, baja precisión) y de bajo rendimiento (velocidades bajas, alta precisión).

## **Resumo**

O pavimento deve fornecer aos usuários que transitam nele uma superfície segura e estável para o curso adequado, gerando percepções que podem ser quantificadas através do conceito de

capacidade utilidade. Da mesma forma, se identificou que a percepção do usuário está influenciada, em maior proporção, pelo estado superficial do pavimento, concretamente pela rugosidade do mesmo. A rugosidade quantifica as irregularidades na superfície do pavimento, para isso se utilizam os parâmetros como o IRI (Índice de rugosidade International- International Roughness Index).

No desenvolvimento do presente artículo se avaliou a aplicabilidade do conceito de IRI para vias urbanas, devido a que inicialmente foi desenvolvido para estradas rurais, nas quais a velocidade de deslocamento ( viagem) estabelecidos para o IRI (80 Km / h) corresponde, em média, a velocidade de funcionamento. No entanto, implementando o mesmo conceito do IRI em vias urbanas, onde a velocidade média de viagem oscila entre 20 e 40 km / h não se estará aplicando devidamente o conceito de IRI nas vias internas da cidade. Também se analisaram as vantagens e desvantagens das metodologias de medição que atualmente se implementaram para a determinação do IRI tanto em vias urbanas e estradas rurais, fazendo uma comparação entre as equipes de alta performance (alta velocidade, baixa precisão) e de baixo desempenho (velocidade baixa, alta precisão).

## INTRODUCCIÓN

Los pavimentos constituyen un aspecto de vital importancia para la economía de un país, ya que proporcionan los enlaces de comunicación entre centros urbanos, rurales y productivos, con el fin de transportar no sólo personas; si no también distintos tipos de productos y mercancías esenciales para el adecuado desarrollo económico de las distintas regiones, mejorando la calidad de vida de las personas y volviendo accesibles mayor diversidad de productos a menores costos.

El pavimento debe proporcionar una superficie estable y segura para los usuarios que transitan en él, los cuales tendrán una percepción sobre la calidad de viaje, que es cuantificada a través del concepto de serviciabilidad (Carey et al, 1960; De Solminihac et al, 2001; Barrantes et al, 2010). La serviciabilidad está definida como la capacidad de un pavimento de prestar un servicio a los usuarios, garantizando condiciones de comodidad y seguridad al tránsito para el cual fue diseñado. Investigaciones han concluido que la serviciabilidad es afectada en gran proporción por las irregularidades superficiales del pavimento, concretamente por la rugosidad (Moore et al 1987; Hass et al, 1994). Existen diferentes parámetros para cuantificar la rugosidad de un pavimento, el más importante y ampliamente utilizado a nivel mundial es el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) (Sayers et al, 1984) el cual relaciona la acumulación del desplazamiento vertical en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la inferior de un vehículo tipo denominado “*Golden car*” (Figura 1), dividido entre la distancia total recorrida a una velocidad de 80 km/h (Sayers et al, 1995).

El IRI es calculado de acuerdo al procedimiento establecido por la norma ASTM E1926 – 08 donde se definen las variables implicadas en el modelo y la manera matemática en que describe este índice (Ecuación 1).

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} |\ddot{v} - \dot{u}| dt \quad (1)$$

Dónde:

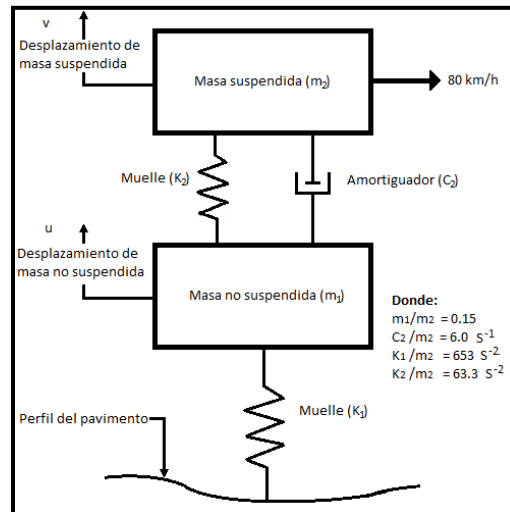
**L:** Longitud del tramo bajo estudio.

**V:** Velocidad de viaje (80km/h - Figura 1).

**$\dot{v}$ :** Velocidad vertical de la masa suspendida.

**$\dot{u}$ :** Velocidad vertical de la masa no suspendida.

**Figura 1. Modelo del Índice de Rugosidad Internacional – IRI**



Las condiciones operativas para las cuales fue concebido el IRI, concuerdan con características típicas de vehículos que transitan en vías rurales, tales como el tipo de amortiguador, pesos de llantas, pesos de los ejes y velocidad de operación. Para la evaluación del IRI en vías urbanas, las condiciones operativas de los vehículos no corresponden a las establecidas por dicho modelo. Por ejemplo, la velocidad de viaje promedio en áreas urbanas oscila entre 20 y 40 km/h en contraste con las vías rurales donde la velocidad promedio de viaje es de 80 km/h. En el desarrollo del presente estudio se evidencian y analizan las deficiencias que existen al calcular el IRI en vías urbanas, siendo utilizados los mismos parámetros establecidos para las vías rurales.

Actualmente existen diversos métodos de medir el perfil de un pavimento, tales como: Mira y nivel, dipstick, perfilógrafos, equipos de respuesta, equipos inerciales y equipos laser (Choubane et al, 2002). En la presente investigación se realizaron mediciones del perfil de vía en la ciudad de Barranquilla, Colombia, en el cual se utilizaron 2 equipos, uno de alto rendimiento (velocidades altas, baja precisión) y otro de bajo rendimiento (velocidades bajas, alta precisión) esto con el fin de analizar los resultados y realizar comparaciones de los niveles de rugosidad obtenidos por diferentes clases de equipos.

## Antecedentes

En el año 2007 el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) llevó a cabo un estudio en la ciudad de Bogotá, Colombia, en el cual se realizó un inventario de la calidad superficial de aproximadamente 842 kilómetros de vía en diferentes sectores de la ciudad, utilizando un equipo laser de alto rendimiento, el cual mide el parámetro IRI sin alterar las condiciones de tránsito de las vías. La (Tabla 1) contiene los valores máximos de rugosidad IRI permisibles para pavimentos rígidos los cuales dependen del número de ejes simples equivalentes (Equivalent

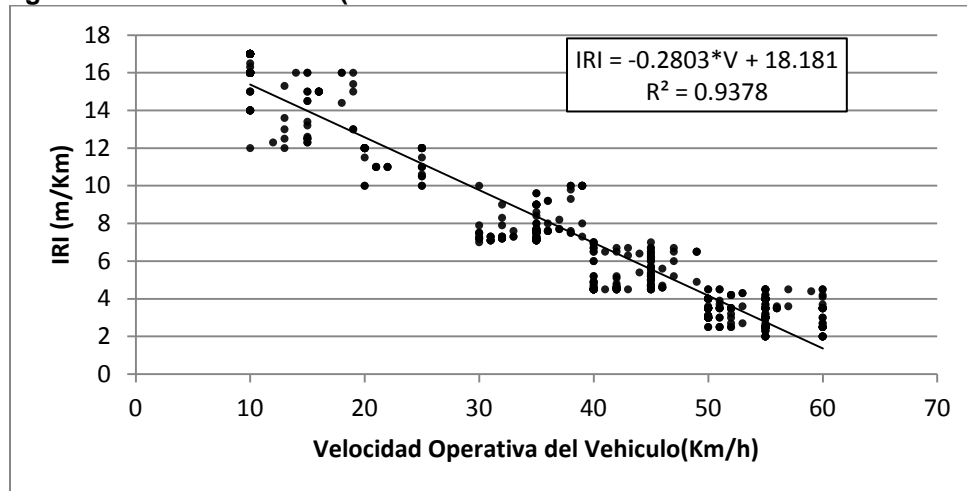
Simple Axel Load – ESAL) de la vía; establecida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) como referente de la rugosidad máxima aceptada para pavimentos en Colombia. Realizando una comparación de los resultados con los valores máximos permitidos, podemos apreciar que los niveles de rugosidad son muy elevados, con un valor promedio de 7.63 m/km, lo cual es considerado como un pavimento con muchas irregularidades.

**Tabla 1. Tabla de valores máximos para pavimentos**

Porcentaje De Hectómetros	Tipo de Tránsito		
	NT1	NT2	NT3
	ESAL<500.000	500.00 < ESAL< 5.000.000	ESAL>5.000.000
<b>40</b>	2.4	1.9	1.4
<b>80</b>	3.0	2.5	2.0
<b>100</b>	3.5	3.0	2.5

En la (Figura 2) se presentan los resultados de los IRIs evaluados en la ciudad de Bogotá, en la cual se puede observar una relación entre los niveles de IRI medidos y la velocidad operativa a la cual se realizaron las mediciones. Se aprecia que los IRIs mayores se obtienen a las velocidades más bajas de operación del vehículo laser.

**Figura 2. IRI vs Velocidad (Fuente: Instituto de Desarrollo Urbano – IDU 2007)**



Esta tendencia es atribuida al limitante que tienen los equipos láser en sus especificaciones, ya que no pueden garantizar la validez de los resultados cuando las mediciones se realizan a velocidades bajas. Estos vehículos en vías urbanas presentan dificultades en mantener la velocidad mínima recomendada, debido a elementos como señales de tránsito, singularidades, semáforos, incluso otros vehículos, que obligan al conductor a frenar, llevando a una disminución de la velocidad por debajo de la requerida para el vehículo lo que induce mediciones que no sean confiables.

## OBJETIVO

Evaluar la aplicabilidad del concepto del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en vías urbanas y analizar las deficiencias que tienen los equipos utilizados para su medición.

## ADQUISICIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la presente investigación se realizaron mediciones sobre el perfil de una vía en la ciudad de Barranquilla (Colombia), al cual se le evaluó el estado superficial por medio del IRI, para lo cual se utilizaron 2 tipos de equipos, uno de bajo rendimiento llamado SurPRO (Velocidad operativa baja, alta precisión) y uno de alto rendimiento de tipo láser (Velocidad operativa alta, baja precisión). Esto con el fin de evaluar las dos metodologías utilizadas por estos equipos, para así determinar la eficiencia y aplicabilidad de los dispositivos tipo láser en la medición de la calidad superficial de pavimentos en vías urbanas, donde se realizan mediciones a velocidades inferiores a 25 km/h tal como se observa en la (Figura 2); esta condición operativa no es recomendada por los fabricantes de los perfilómetros tipo laser. Los equipos empleados en la presente investigación se describen a continuación:

✓ **SurPRO (**



✓

- ✓ ): Equipo utilizado para medir perfiles como una referencia de alta confiabilidad y precisión (Nazef et al., 2008). Ampliamente utilizado para la calibración de otras clases de equipos utilizados con los mismos fines. Este equipo no puede operar a velocidades superiores a 4 km/h.

**Figura 3. Ilustración equipo SurPro**



✓ **Perfilómetro láser (**

✓

- ✓ **Figura 4. Ilustración Perfilómetro Láser**



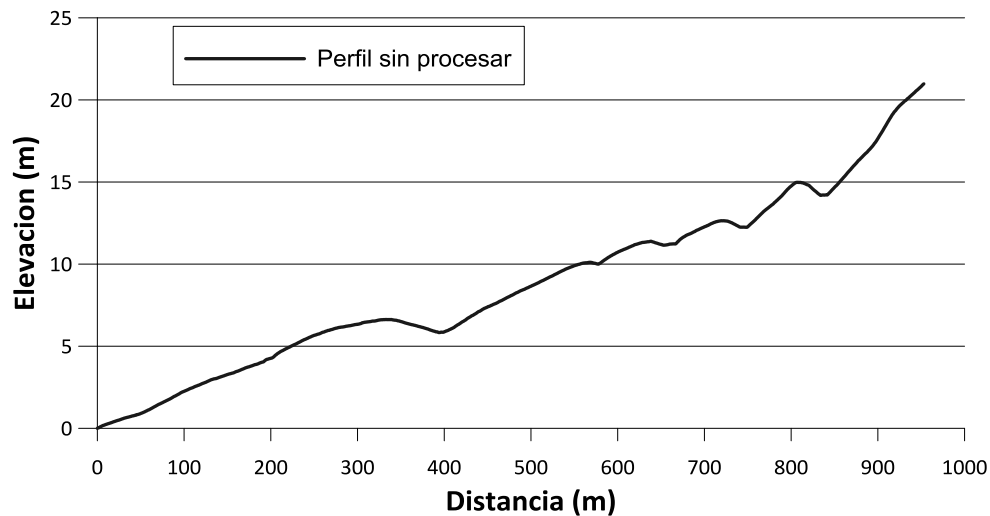
- ✓ ): Equipo de alto rendimiento, utilizado para medir la rugosidad de perfiles a velocidades superiores a 25 Km/h hasta los 80 Km/h lo que permite realizar mediciones rápidas en autopistas sin interrupción del tráfico.

**Figura 4. Ilustración Perfilómetro Láser**

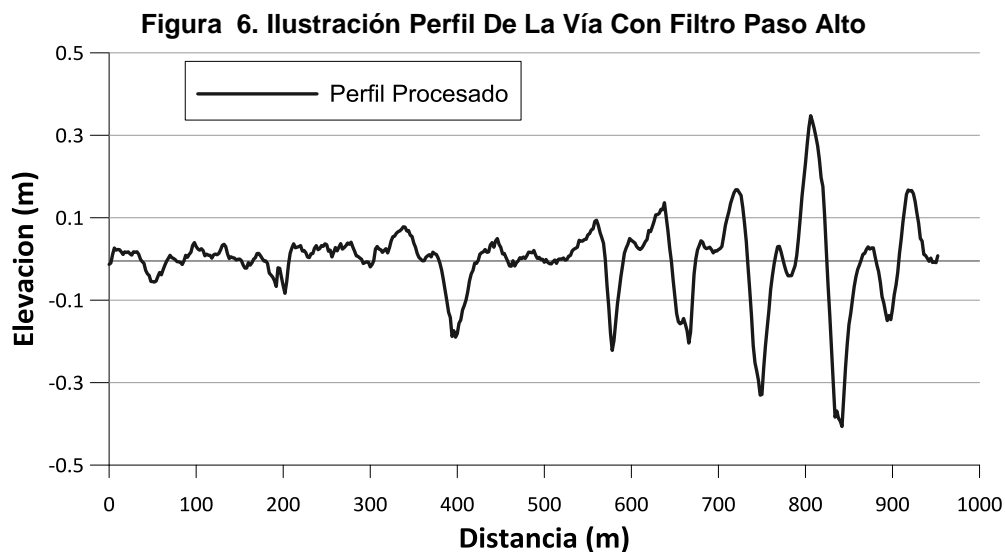


Los resultados de las mediciones del perfil urbano seleccionado para la presente investigación, se obtuvieron por medio del SurPRO para su posterior procesamiento y aplicación de filtros. Se aplicaron dos tipos de filtrado sobre el perfil de la vía, según lo especificado por la norma ASTM E1926 – 08, en el primer caso se aplicó un filtro de 250 mm, para realizar un suavizado del perfil de la vía, debido al área de contacto que tiene la llanta del vehículo, con la superficie del pavimento como se puede apreciar en la siguiente grafica (Figura 5):

**Figura 5. Ilustración Perfil De La Vía Con Filtro 250mm**



El segundo filtro empleado es un filtrado de paso alto, el cual nos permitió observar el perfil del pavimento sin la tendencia que este presenta debido a la pendiente de la vía (Figura 6):

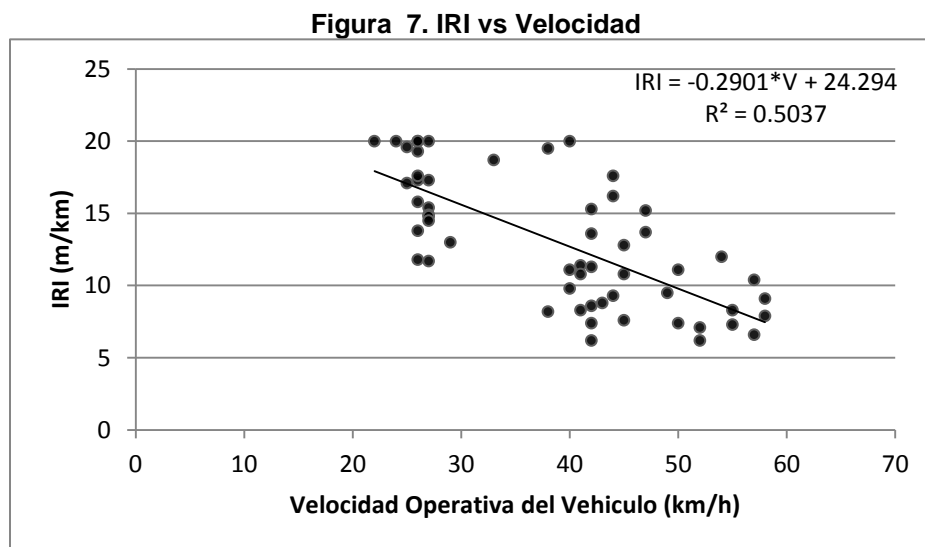


Utilizando el equipo láser, se determinó el IRI del perfil de la vía en intervalos de 50 metros, variando las velocidades de viaje promedio del vehículo con el objetivo de comparar los niveles de rugosidad obtenidos a diferentes velocidades. Las mediciones se realizaron en 3 categorías según la velocidad de viaje del vehículo en: Velocidad alta (50Km/h), velocidad media (40km/h), velocidad baja (25 km/h). En la (Tabla 2) podemos observar los resultados obtenidos en cada uno de los tramos, utilizando el Equipo Láser y SurPRO.

**Tabla 2. Resultados De IRI Por Tramo Del Equipo Laser Y Equipo Surpro**

Equipo	Equipo Láser			Equipo SurPRO
Velocidad Promedio	Velocidad Alta	Velocidad Media	Velocidad Baja	-

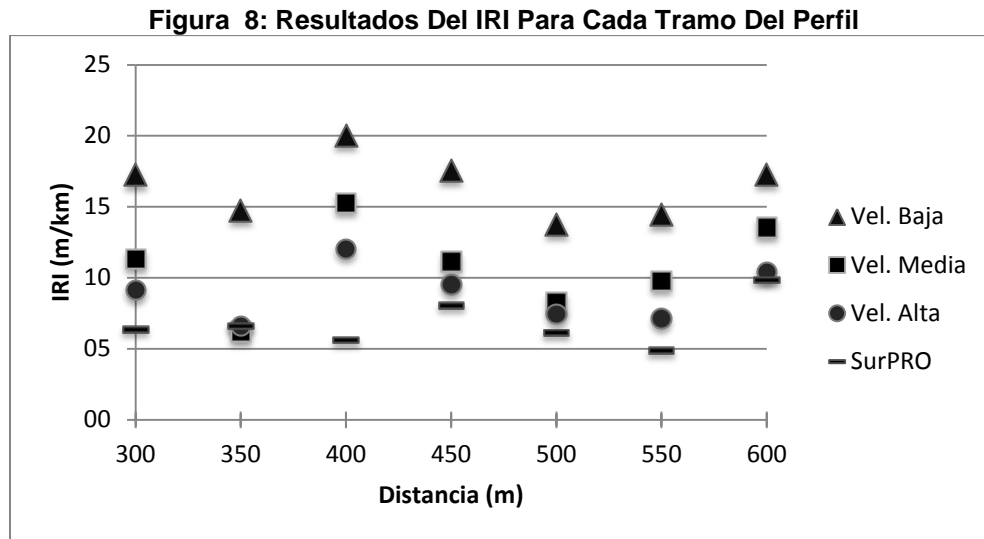
<b>Tramo (m)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>Velocidad (km/h)</b>	<b>IRI (m/km)</b>	<b>IRI (m/km)</b>
0 - 50	44	9.3	43	8.8	29	13.0	5.6
50 - 100	52	6.2	42	7.4	27	11.7	4.7
100 - 150	45	7.6	41	8.3	27	15.4	5.1
150 - 200	47	15.2	38	19.5	27	14.9	6.8
200 - 250	55	7.3	42	8.6	26	11.8	7.9
250 - 300	58	9.1	42	11.3	26	17.3	6.3
300 - 350	57	6.6	42	6.2	27	14.8	6.6
350 - 400	54	12.0	42	15.3	27	20.0	5.6
400 - 450	49	9.5	40	11.1	26	17.6	8.1
450 - 500	50	7.4	38	8.2	26	13.8	6.1
500 - 550	52	7.1	40	9.8	27	14.5	4.9
550 - 600	57	10.4	42	13.6	27	17.3	9.8
600 - 650	58	7.9	41	11.4	25	19.6	6.5
650 - 700	55	8.3	41	10.8	26	19.3	6.7
700 - 750	47	13.7	45	12.8	25	17.1	8.4
750 - 800	44	16.2	44	17.6	26	20.0	11.7
800 - 850	50	11.1	45	10.8	22	20.0	6.7
<b>Velocidad Promedio (km/h)</b>	<b>51</b>		<b>41</b>		<b>26</b>		<b>2.0</b>



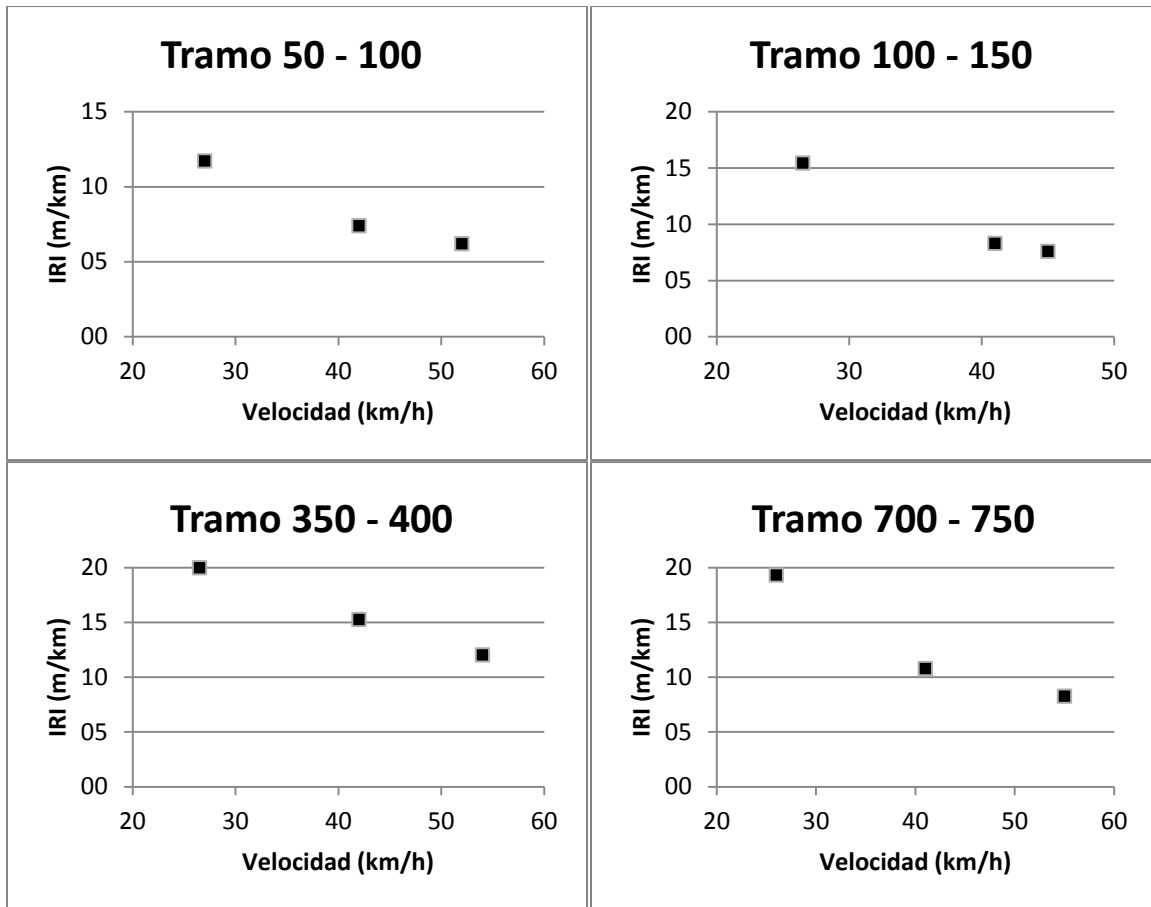
Al igual que los datos históricos tomados en la ciudad de Bogotá, en la ciudad de Barranquilla se observó la misma tendencia en los resultados (Figura 7) a una mayor velocidad operativa del vehículo láser se presentaron niveles de rugosidad más bajos. En la (Figura 8), se ilustra la gran variación que existe entre los resultados obtenidos utilizando el perfilómetro láser a diferentes



velocidades. La (Figura 8) también presenta los valores registrados por SurPRO a una velocidad media de operación de 2 km/h.



**Figura 9. Resultados Del IRI Vs Velocidad Por Tramos**



En la (Figura 8) se puede apreciar que existe una tendencia marcada en los resultados del equipo laser, donde los niveles de rugosidad más altos corresponden a las velocidades bajas para un mismo tramo esta tendencia es consistente para la mayor parte de los tramos de la vía.

## CONCLUSIONES

A continuación se presentan las principales conclusiones que se obtuvieron como resultado de la investigación:

- ✓ Se puede pensar que estos resultados se derivan del inadecuado uso del IRI en vías urbanas, ya que está estipulado a una velocidad de 80 km/h, lo cual no es adecuado para una vía urbana, en la cual la velocidad promedio de viaje no supera velocidades entre 30 km/h - 50 km/h.
- ✓ Se presentó una tendencia de los resultados del equipo láser: en las velocidades bajas de operación del vehículo, se presentaron los IRIs más altos cuando este es evaluado en el mismo pavimento, esta tendencia es respaldada por los datos históricos del equipo láser, siendo acorde a las especificaciones de uso del equipo.
- ✓ Se concluye que la velocidad operativa del vehículo laser es un factor que incide de manera directa sobre los resultados del IRI en un mismo tramo, cuando este es evaluado a velocidades bajas. Esto ocurre a pesar de que el valor del IRI debe ser el mismo para

cualquier velocidad, ya que el cálculo matemático se realiza por medio del modelo de 1/4 de carro a una velocidad específica de 80 km/h.

- ✓ Para la mayoría de los tramos, se presenta la tendencia que los resultados obtenidos por el SurPRO son menores respecto a los obtenidos con el equipo láser.

Por último, en la presente investigación se concluye que los resultados del equipo tipo láser son sensibles de la velocidad a la cual se estén realizando las mediciones, especialmente a bajas velocidades, por lo que se recomienda el uso precavido de estos vehículos ya que pueden estar arrojando resultados que no son representativos de los niveles de rugosidad del pavimento. A lo largo de este artículo se presentaron evidencias que llevan a la conclusión de que se hace necesario reevaluar el concepto del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) aplicado a vías urbanas, ya que existen grandes diferencias tanto físicas como operativas entre una vía urbana y una vía rural, como por ejemplo, suponer una velocidad de viaje de 80 km/h para una vía urbana no sería representativo de las condiciones operativas reales de los vehículos que transitan sobre una vía de este tipo.

## REFERENCIAS

- Carey WN, Irick PE. The pavement Serviceability, Performance Concept. Highway Research Board. 1960;Bulletin N° 250.
- Barrantes R, Badilla G, Sibaja D. Definición de rangos para la clasificación estructural y funcional de la red vial nacional de costa rica. 2010.
- De Solminihaç H. Gestión de Infraestructura Vial. Ediciones Universidad Católica de Chile; 2001.
- Hass R, Hudson WR, Zaniewski JP. Modern Pavement Management. Malabar Florida.: Krieger Publishing; 1994.
- Moore RK, Clark GN, Plumb GN. Present serviceability-roughness correlations using rating panel data. Transportation Research Record. 1987:152-8.
- Nazef, A., Mraz, A., Scott, S. & Whitaker, J. 2008. Evaluation of Surpro as a Reference Device For High-Speed Inertial Profilers.
- Sayers M, Gillespie TD, Queiroz C. International Experiment To Establish Correlation And Standard Calibration Methods For Road Roughness Measurements. 1984.
- Sayers MW. On the calculation of international roughness index from longitudinal road profile. Transportation Research Record. 1995:1-12.
- ASTM. E1926 - 08 Standard Practice for computing international roughness index of roads from longitudinal profile measurements.
- ASTM. E 1170 - 07 Practice for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces.
- Choubane B, McNamara RL, Page GC. Evaluation of high-speed profilers for measurement of asphalt pavement smoothness in Florida.: Transportation Research Board of the National Academies; 2002.
- INVIAS. Instituto Nacional De Vias - Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras en Colombia, Artículo 500. 2007.