

**37-07-2013**

**ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE ESTIMAR EL IRI DE VARIOS  
PERFILÓMETROS EN USO EN ARGENTINA  
ANÁLISE DA CAPACIDADE DE PROFILOMETERS ESTIMATIVA  
VÁRIOS IRI EM USO NA ARGENTINA**

Marta Pagola

Laboratorio Vial IMAE, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario

Rosario, Argentina

[pagola@fceia.unr.edu.ar](mailto:pagola@fceia.unr.edu.ar)

Oscar Giovanon

Laboratorio Vial IMAE, FCEIA, Universidad Nacional de Rosario

Rosario, Argentina

[ogiovanon@hotmail.com](mailto:ogiovanon@hotmail.com)

## **Resumen**

En Argentina existen varios equipos de medición del perfil longitudinal que son usados para valorar el IRI de carreteras en servicio. Estos pertenecen a empresas públicas y privadas, y son equipos de distintas marcas y configuraciones.

Para valorar la capacidad de estimación del IRI se han realizado mediciones en tramos de control de 300 metros de longitud, ubicados en calzadas en servicio. La metodología aplicada contempló la realización de 5 mediciones repetidas a distintas velocidades, para valorar también la dependencia o no de los resultados obtenidos con la velocidad de circulación. La rugosidad de referencia de los tramos de control fue valorada con equipos estáticos de medición.

Los resultados obtenidos muestran que los equipos son diferentes, y así son también los resultados de IRI obtenidos. Por ello, y para mejorar su capacidad de estimación del IRI, fue necesario definir una ecuación de calibración por correlación particular para cada uno de ellos.

Los resultados obtenidos también mostraron que el error de estimación del IRI con estos equipos se encuentra por debajo del valor de 0.3 m/Km IRI, valor adoptado en Argentina como límite para aceptación de equipos de medición de rugosidad del tipo respuesta dinámica.

## **Resumo**

Em Argentina existem várias equipes de medição de perfil longitudinal e são usados para avaliar a IRI da estrada em serviço. Estes pertencem a empresas públicas e privadas, e são equipes de diferentes marcas e configurações.

Para avaliar a capacidade de estimar o IRI as medições foram feitas em seções de controle a 300 m de comprimento, localizada em calçadas em serviço. A metodologia contemplado 5 medições repetidas desempenho em velocidades diferentes, para avaliar a dependência ou não

dos resultados obtidos com a velocidade do fluxo. Rugosidade de referência das seções de controle foi avaliada através da medição com equipamentos estáticos.

Os resultados mostram que as equipas são diferentes e, assim, são os resultados de IRI obtidos. Por conseguinte, e para melhorar a sua capacidade para estimar IRI foi necessário definir uma equação de calibração especial para correlação para cada um deles.

Os resultados também mostraram que o erro de estimativa do IRI com essas equipes está abaixo do valor de 0,3 m / km IRI valor adotado na Argentina, como o prazo para a aceitação do tipo de equipamento de medição de rugosidade resposta dinâmica.

## **INTRODUCCIÓN**

Hasta hace unos años, en Argentina, los equipos de medición de la rugosidad del tipo respuesta dinámica eran los más difundidos.

Estos equipos necesitan ser calibrados por correlación para poder expresar el IRI de la superficie, utilizando secciones de camino reales en servicio de los cuales se conoce su valor de rugosidad de referencia.

Esta metodología de calibración sigue los lineamientos indicados en la Norma ASTM E 1448, en la que se establece que la calidad del equipo se valora analizando el error total de medición. Para indicar que el equipo es apto para realizar mediciones confiables, en Argentina se ha fijado que el error total del equipo debe ser menor o igual a 0.3 m/Km IRI. (Pagola y Giovanon, 2009).

Desde hace unos años se han incorporado equipos perfilómetros. Estos equipos realizan una digitalización del perfil longitudinal de la superficie, y luego a partir de ese perfil se calcula el IRI, simulando el pasaje del cuarto de carro ideal que se utiliza como patrón de medición. (ASTM E 950) (ASTM E 1926).

Con estos nuevos equipos surgió la duda de cómo controlar la calidad de los resultados obtenidos. Según la bibliografía, este control puede ser a través de la comparación de los perfiles o a través del IRI calculado en esos perfiles. Se decidió aplicar la misma metodología que con los equipos de respuesta dinámica, analizando el valor del IRI calculado a partir del perfil, y se valoró el error total cometido en sus mediciones.

## **METODOLOGÍA UTILIZADA PARA VALORAR LA CAPACIDAD DE PREDECIR EL IRI**

Los resultados de rugosidad están afectados por varios tipos de errores (ASEFMA, 2007), dentro de ellos podemos citar la capacidad del equipo para predecir el IRI. Esta capacidad, valora dos tipos de errores asociados a la medición de rugosidad:

- Error de repetibilidad, el que surge de la comparación de mediciones repetidas en un mismo tramo.

- Error de apreciación del IRI, indica la capacidad del equipo de informar el IRI real del tramo.

En la Norma ASTM 1448 están indicados estos errores, y sobre el error total se ha fijado un valor límite para expresar la calidad en los equipos de medición del tipo respuesta dinámica.

En los equipamientos perfilómetros láser, el equipo valora un perfil longitudinal, y luego sobre ese perfil se calcula el IRI del tramo. En Argentina, en los últimos años, han empezado a utilizarse varios de estos equipos, de distinto origen y fabricante. Por lo tanto, como cada uno de los equipos utiliza distintos algoritmos para definir el perfil, con distintos espaciamientos entre puntos, distintas frecuencias del láser, y metodologías particulares de filtrado de las señales, puede arribarse a resultados que presenten diferencias entre equipos. (Hao Wang, 2006) (Freitas, 2009).

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de 7 equipos de medición. La metodología utilizada para la comparación de los equipamientos disponibles, ha sido la misma que se utiliza con los equipos del tipo respuesta dinámica, de manera de obtener un índice comparable con los indicadores utilizados hasta el momento, y de poder valorar la calidad de predicción de los equipos láser respecto a los otros tipos de equipos.

Para su valoración se realizaron 5 mediciones repetidas en 17 secciones de caminos en servicio, todas ellas de 300 m de longitud. En estas secciones se valoró previamente el IRI de referencia de dos maneras: con metodología de nivel y mira con puntos espaciados 0.50 m y lecturas al mm, y con equipo analizador del perfil Romdas Z250 con lecturas cada 0.25 m.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS ANALIZADOS

En el presente trabajo se analizó el comportamiento de 7 equipos de medición, identificados con las letras A a G. Los equipos A y B pertenecen al mismo fabricante, mientras que los otros son todos diferentes. Se indican a continuación las características de los mismos informadas por las empresas dueñas y/o proveedoras de los equipos.

**Tabla 1. Características perfilómetros**

Equipo	Sistema	Perfil	Resultado informado
A	2 láser + 1 acelerómetro central + 1 inclinómetro central	1 dato c/ 50 mm	Perfil + IRI
B	2 láser + 1 acelerómetro central + 1 inclinómetro central	1 dato c/ 50 mm	Perfil + IRI
C	2 láser + 2 acelerómetros	1 dato c/ 25 mm	IRI
D	1 láser + 1 acelerómetro	1 dato c/ 10 mm	Perfil + IRI
E	2 láser + 2 acelerómetros	1 dato c/ 8 mm	IRI
F	1 láser + 1 acelerómetro	1 dato c/ 20 mm	IRI
G	4 láser por huella	1 dato c/ 100 mm	Perfil

Como se observa, la resolución es distinta, o sea los perfiles discretizados tienen distinta separación entre puntos. Respecto al parámetro que informan, algunos informan el perfil digitalizado y el IRI calculado, de manera que el IRI puede ser calculado también en forma externa con un software apropiado; mientras otros informan solamente el IRI final.

En este proceso de cálculo, quedan enmascarados procedimientos de filtrado, tanto para la elaboración del perfil digitalizado, como para el cálculo del IRI, que no siempre son declarados, y que pueden derivar en resultados finales de IRI diferentes. Por ejemplo, el IRI obtenido con un perfil digitalizado cada 5 cm es diferente del obtenido con el mismo perfil digitalizado cada 15 cm o 25 cm. En la Tabla 2 se muestra un ejemplo de distintas formas de procesamiento de un perfil digitalizado con puntos cada 1 cm. Como se observa, el valor informado por el equipo no está calculado directamente en base al perfil informado, sino que tiene aplicado algún filtrado o alisado. Por los resultados obtenidos, puede ser semejante al mostrado en una de las opciones de procesamiento.

**Tabla 2. IRI calculado con distintos modos de procesamiento del perfil**

Modo de procesamiento	IRI (m/Km)
Con todos los puntos cada 1 cm	1.62
Con un punto promedio cada 5 cm	1.60
Con un punto c/25 cm de los ya promediados c/5 cm	1.56
Informado equipo	1.57

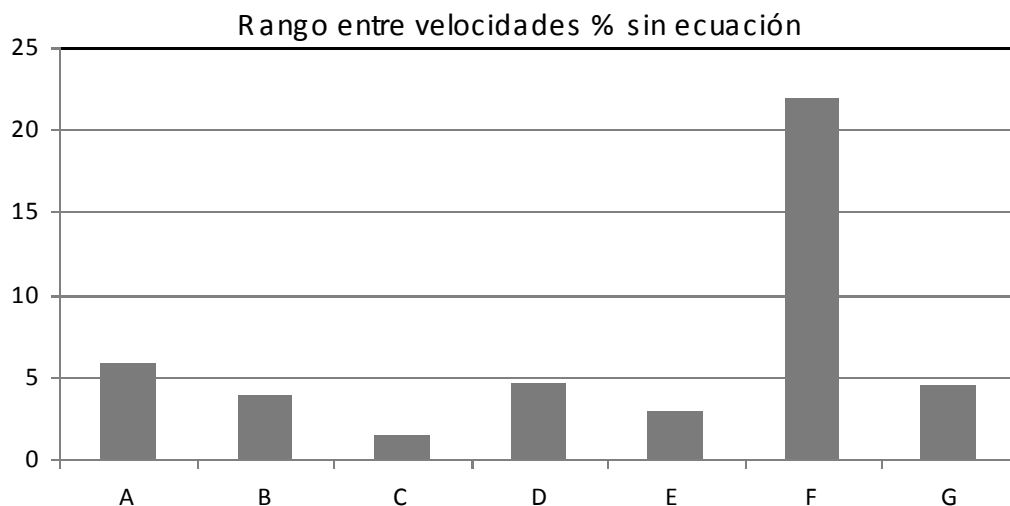
Según se indica en la bibliografía (Hao Wang, 2006), el perfil obtenido por el equipo debe tener un “alisado móvil” con una base de referencia de 25 cm, de manera de simular el filtrado que le produce la impronta de los neumáticos. Los resultados mostrados en la Tabla 2 indican que esa puede ser la base de filtrado que se utilizó en ese equipo del ejemplo, aspecto no declarado.

## ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DE MEDICIÓN

En los equipos laser, los proveedores indican que la velocidad utilizada en la medición no tiene influencia en los resultados obtenidos, con lo cual el equipo puede circular a velocidad del tránsito y adaptarse al mismo, sin tener que mantener una velocidad constante.

Uno de los primeros análisis realizado en estos equipos fue valorar si este aspecto es válido o no. Para ello se obtuvieron los resultados en los tramos de estudio, con 5 pasadas repetidas a tres velocidades, 40, 60 y 80 Km/h, manteniendo la misma constante en cada uno de los casos.

La Figura 1 muestra las diferencias máximas encontradas entre los resultados de rugosidad obtenidos a las tres velocidades de medición. Como se observa, exceptuando el equipo F, los rangos obtenidos se encuentran por debajo del 6 %, lo cual indica que la velocidad no tiene influencia. En el equipo F, el rango es superior al 20 %, lo que indica que la velocidad si tiene influencia en los resultados; esta influencia es debida a que el acelerómetro que el equipo posee no es totalmente apropiado y no trabaja adecuadamente a altas velocidades, situación que fue informada al proveedor para su corrección.



**Figura 1. Influencia de la velocidad de medición, diferencias en %**

## ANALISIS DE LOS ERRORES EN LOS RESULTADOS INFORMADOS

Considerando los resultados de rugosidad obtenidos directamente por los equipos a todas las velocidades, se obtuvo:

- el error de repetibilidad de los equipos, a través del cálculo de la varianza,
- el error de estimación del IRI,
- el error total de la medición, como la combinación de los errores previos.

Los resultados se muestran en la Tabla 3 y Figura 2.

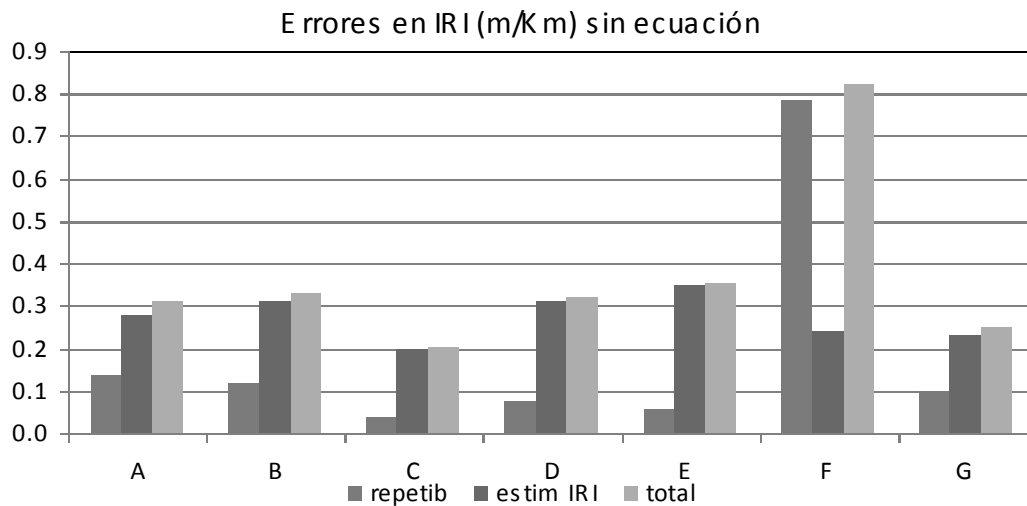
**Tabla 3. Error total de los resultados**

Errores equipos sin ecuación (IRI m/Km)			
Equipo	Repetibilidad	Estimación del IRI	Total
A	0.14	0.28	0.31
B	0.12	0.31	0.33
C	0.04	0.20	0.20
D	0.08	0.31	0.32
E	0.05	0.35	0.35
F	0.79	0.24	0.82
G	0.10	0.23	0.25

El error total para los equipos, excepto el C y el G, es elevado, y supera el 0.30 m/Km IRI que fue fijado como límite en Argentina para aceptación de los equipos de medición de rugosidad.

En el equipo F, se observa que el error de repetibilidad es demasiado elevado, ya que se han analizado en forma conjunta los resultados de las tres velocidades. Confirmando lo indicado

anteriormente, que los resultados están influenciados por la velocidad de medición. En este equipo, considerando solamente los resultados a 60 Km/h, el error de repetibilidad se reduce a 0.13 m/Km IRI, y el error total a 0.27 m/Km IRI. Por lo tanto, para este equipo, se ha indicado que solo puede realizar mediciones a 60 Km/h.



**Figura 2. Error total de los resultados**

Como el error total de la mayoría de los equipos es elevado, se planteó la implementación de una ecuación de calibración, de manera de aumentar la confiabilidad en los resultados obtenidos. En la bibliografía del Ministerio de Fomento de España se indica la necesidad de la aplicación de una ecuación de calibración para que los resultados de todos los equipos sean comparables y puedan ser utilizados de manera indistinta para realizar mediciones en las rutas de España. En la misma se indican las ecuaciones que deben ser utilizadas para 20 equipos en uso en ese país. (Ministerio de Fomento Español, 2012).

## ECUACIÓN DE CALIBRACIÓN

Se buscó, para cada equipo, una ecuación de calibración lineal, que mejore el error total de estimación del IRI.

Las ecuaciones obtenidas son mostradas en la Tabla 4, y los errores de la medición, luego de aplicar las ecuaciones son mostrados en la Figura 3.

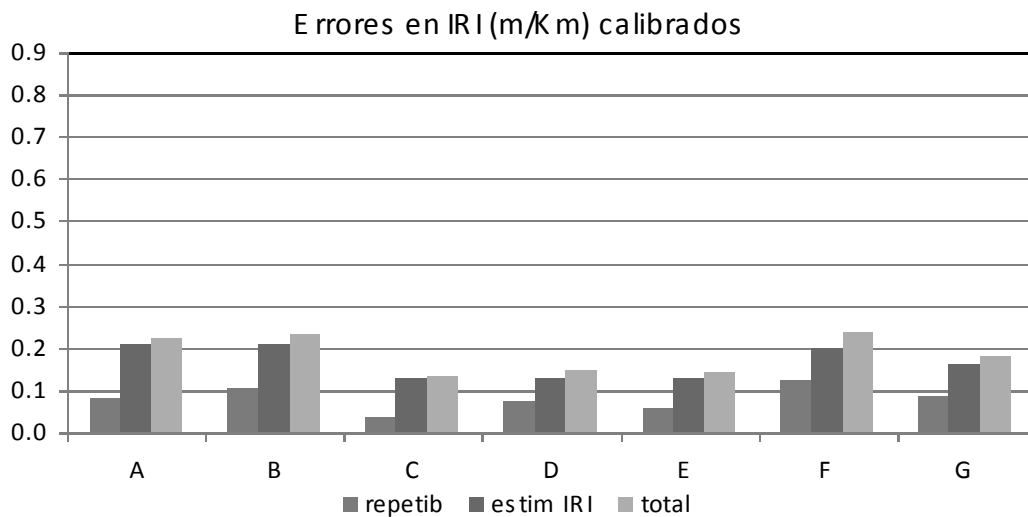
Como se observa, los errores se han reducido en todos los equipos. Para el equipo F, la ecuación y los errores de la medición han sido calculados considerando solo los resultados obtenidos a 60 Km/h.

Para todos los equipos, el error total se encuentra por debajo de 0.22 m/Km IRI, siendo estos menores a los de los equipos sin calibrar.

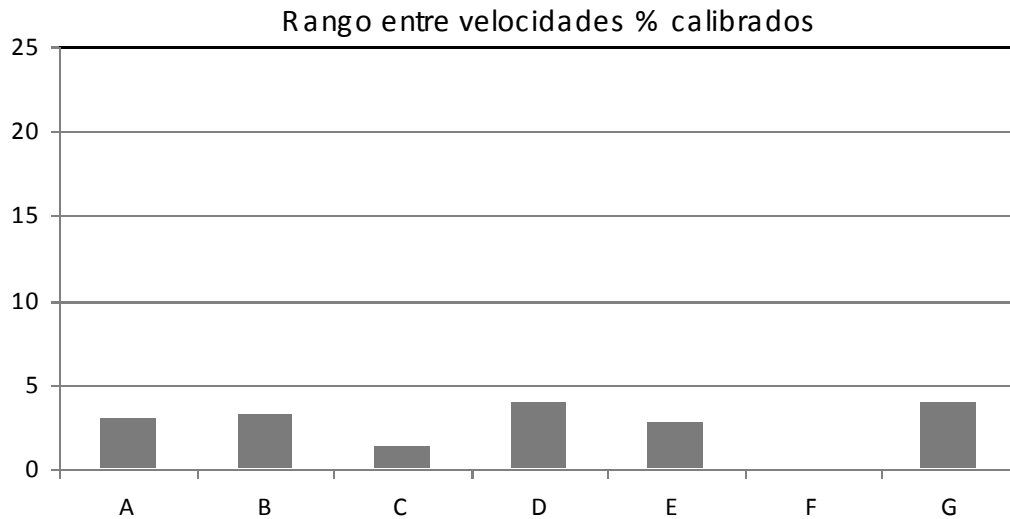
Con los equipos calibrados, el rango de los resultados entre las distintas velocidades se redujo a menos del 4%, como se muestra en la Figura 4. Para el equipo F no se indica este parámetro, ya que solo está habilitado a medir a 60 Km/h.

**Tabla 4. Ecuaciones obtenidas**

Equipo	Ecuación
A	$IRI_{final} = 0.42 + 0.88 IRI_{medido}$
B	$IRI_{final} = 0.42 + 0.88 IRI_{medido}$
C	$IRI_{final} = 0.26 + 0.96 IRI_{medido}$
D	$IRI_{final} = 0.34 + 0.97 IRI_{medido}$
E	$IRI_{final} = 0.14 + 1.07 IRI_{medido}$
F	$IRI_{final} = 0.28 + 0.94 IRI_{medido}$
G	$IRI_{final} = 0.30 + 0.88 IRI_{medido}$



**Figura 3. Errores equipos calibrados**



**Figura 4. Rango entre velocidades, equipos calibrados**

## CONCLUSIONES

Se ha realizado el análisis de los resultados producidos por los 7 equipos perfilómetros incorporados en Argentina para realizar mediciones de rugosidad.

El error total producido en la estimación del IRI con los resultados directos informados por los equipos resultó, en la mayoría, superior a 0.3 m/Km, por lo tanto fue necesario aplicar una ecuación de calibración. Una vez aplicada la ecuación, el error total se encuentra por debajo de 0.22 m/Km IRI.

El análisis respecto a la influencia de la velocidad de medición en los resultados indica que, en 6 de los equipos la velocidad no tiene influencia en los resultados. En uno de los equipos, el F, si tiene influencia y por lo tanto solo puede realizar mediciones a una velocidad constante, adoptada en 60 Km/h.

## REFERENCIAS

- ASEFMA. (2007). Monografía 1. El IRI definición e importancia. Recomendaciones para conseguir un buen IRI.
- ASTM E 950. Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference.
- ASTM E 1448. Standard Practice for Calibration of Systems Used for Measuring Vehicular Response to Pavement Roughness.
- ASTM E 1926. Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements.



- Freitas, E., Pereira, P., Antunes, M.L., Dominguez, P. (2009). Análise da variabilidade do IRI obtido por vários perfilómetros. XV Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, Lisboa, Portugal. Pág. 1291 – 1298.
- Hao Wang. (2006). Road profiler performance evaluation and accuracy criteria analysis. Tesis de Maestría en Ingeniería ambiental y civil. Universidad de Virginia. EEUU.
- Ministerio de Fomento. (2012). Nota técnica sobre la armonización de los equipos de medida de la regularidad longitudinal, para la obtención del índice de regularidad (IRI) en la red de carreteras del estado. España.
- Pagola, M. y Giovanon, O. (2009). Análisis de los resultados de rugosidad producidos por distintos equipos. XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Argentina.