

COMISION DE DISEÑO Y EVALUACION DE PAVIMENTOS

DESARROLLO DE UNA RELACION INDICE DE SERVICIABILIDAD (p) - INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Preparado por:
Dusan Dujisin Q. y Alvaro Arroyo A.

CAMARA CHILENA DE
LA CONSTRUCCION
Centro Documentación

- 06358 -
1995

Cámara Chilena de la Construcción
Corporación de Investigación de la Construcción

DESARROLLO DE UNA RELACION INDICE DE SERVICIABILIDAD (p)- INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL (IRI)

Introducción

El Índice de Rugosidad Internacional IRI (International Roughness Index) es un indicador ampliamente utilizado para evaluar el estado de los pavimentos y programar la oportunidad de mantención y rehabilitación. Por otra parte, el método de diseño AASHTO utiliza el valor del índice de serviciabilidad "p" (P.S.I.) como índice de la comodidad y seguridad del pavimento (1). Ultimamente se han presentado varias relaciones p-IRI, en particular cabe mencionar la de Al-Omari y Darter (2), Gulen et al. (3), y Banco Mundial (4).

Gulen et al. propone 8 relaciones, 4 para pavimentos de hormigón y 4 para pavimentos asfálticos. De ellas se deduce que para un valor de IRI del orden de 4 m/km el correspondiente valor del índice de serviciabilidad p fluctúa entre -0.42 y 1.10, lo cuál de acuerdo a la definición de AASHTO lo situaría en el rango de "Pavimentos Intransitables".

Nuestra experiencia nos señala que pavimentos con valores medidos de IRI del orden de 6 m/km, si bien presentan un nivel de confort y seguridad de regular a malo, son perfectamente transitables.

Las relaciones p-IRI que se presentan tienen un carácter preliminar y serán ajustadas con estudios actualmente en desarrollo.

El Concepto de Serviciabilidad

El concepto de serviciabilidad fue introducido durante el desarrollo de la prueba AASHO, y se define como la habilidad de un pavimento de proveer un manejo seguro y confortable a los usuarios. Cuantitativamente, la serviciabilidad se expresa a través de un "Índice de Serviciabilidad". (5)

En el ensayo vial AASHO, la serviciabilidad se cuantificó inicialmente a través del "Present Serviceability Rating" (PSR). Para obtener el PSR, un grupo de conductores maneja en el pavimento y lo evalúa en una escala de 0 a 5. Un PSR de 5 indica un pavimento perfecto, mientras que un PSR de 0 representa un pavimento intransitable. En la tabla N°1 se indica la condición de un pavimento de acuerdo a su PSR:

Tabla N°1
Clasificación de un Pavimento de acuerdo a su PSR

PSR (p)	Condición
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy buena

El primer intento por relacionar la medición subjetiva de los usuarios (PSR) con mediciones objetivas de la condición de un pavimento lo realizó entre 1958 y 1960 el equipo de investigación del AASHO Road Test.

Para ello, un grupo de pavimentos fue evaluado de acuerdo a su PSR y al mismo tiempo se tomaron mediciones físicas de su condición, las que incluían rugosidad, agrietamiento, baches y ahuellamiento. Con esta información se construyó, gracias a regresiones estadísticas, un estimador del PSR, que se denominó Present Serviceability Index (PSI). Las ecuaciones obtenidas fueron:

Pavimentos asfálticos

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log (1+SV) - 1.38 (RD)^2 - 0.01 (C+P)^{0.5} \quad (1)$$

Pavimentos rígidos

$$PSI = 5.41 - 1.78 \log (1+SV) - 0.09 (C+P)^{0.5} \quad (2)$$

Donde:

SV = Varianza de la pendiente longitudinal (slope variance), x 10² (in/ft)

RD = Ahuellamiento promedio, in

C = Superficie agrietada, ft²/1000 ft²
P = Area bacheada, ft²/1000 ft²

La varianza de la pendiente longitudinal (SV, slope variance) es un parámetro que representa la rugosidad de la sección de pavimento, y corresponde a la varianza de las medidas de desnivel del perfil longitudinal, medido con un equipo especial denominado perfilómetro.

La relación entre la serviciabilidad estimada y la calculada a través de las relaciones 1 y 2 se presenta en la figura 1

Relación PSI - SV

En la ecuaciones 1 y 2, el término de rugosidad (SV) controla el cálculo. En la práctica, esto significa que la rugosidad tiene el mayor efecto en la evaluación de los usuarios de la calidad de manejo. Por eso, aún cuando la ecuación de regresión contiene términos relacionados con deterioro, muchas investigaciones relacionan directamente el índice de serviciabilidad con mediciones de rugosidad.

Así, a partir de los datos obtenidos por el equipo de investigación del AASHO Road Test (5), se puede correlacionar el PSI solamente con las mediciones de rugosidad (SV), obteniéndose las siguientes ecuaciones, que se muestran en la figura 2:

Pavimentos Flexibles

$$PSI = 4.95 - 2.01 \log (1 + SV) \quad R^2 = 0.950 \quad (3)$$

Pavimentos Rígidos

$$PSI = 5.93 - 2.62 \log (1 + SV) \quad R^2 = 0.966 \quad (4)$$

Relación IRI - SV

En la actualidad, como resultado de investigaciones auspiciadas por el Banco Mundial durante los años 80, se ha reemplazado el uso de la varianza de la pendiente longitudinal (SV) como medida de la rugosidad, reemplazándose por un índice denominado IRI (International Roughness Index). El IRI es un indicador ampliamente aceptado y utilizado en todo el mundo.

Por lo tanto, interesa obtener una relación entre la varianza de la pendiente longitudinal (SV) y el IRI. Para ello, se utilizó el siguiente procedimiento:

- Mediante un programa computacional, se generó aleatoriamente un perfil simulado, con cotas cada 30.48 cm (1.0 ft).
- Se calculó el IRI y la varianza de la pendiente longitudinal (SV) para ese perfil. Para ello se utilizó una adaptación del programa computacional entregado por el Banco Mundial para calcular el IRI (6). Para el cálculo de la varianza de la pendiente longitudinal se utilizó la siguiente ecuación (AASHTO):

$$SV = \frac{\sum y^2 - \frac{1}{n} (\sum y)^2}{n-1}$$

Con: y = diferencia de cota entre dos puntos distantes en 30.48 cm (1.0 ft), en in/ft.
 n = número de mediciones.

- Este procedimiento se repitió hasta obtener una base de datos de pares IRI - SV que abarcara el espectro de valores que toman en la práctica estos parámetros. En este trabajo, se obtuvo una base de datos de 458 pares de valores IRI - SV. En la figura 3 se presenta un gráfico generado a partir de esta información.
- Finalmente, a partir de la base de datos así obtenida, se buscó mediante regresiones estadísticas relaciones que ligaran estas dos variables, obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\log(1 + SV) = 0.835 \text{ IRI}^{0.5} - 0.448 \qquad R^2 = 0.977 \quad (5)$$

Relación p-IRI

Finalmente, combinando las ecuaciones (3) y (4) con la ecuación (5), se obtienen las siguientes relaciones, que se muestran en la figura 4:

$$\text{PSI} = 5.85 - 1.68 \text{ IRI}^{0.5} \qquad \text{Pavimentos flexibles} \quad (6)$$

$$\text{PSI} = 7.10 - 2.19 \text{ IRI}^{0.5} \qquad \text{Pavimentos rígidos} \quad (7)$$

Para efectos comparativos, en la tabla N° 2 se entregan relaciones IRI - p según distintos autores.

Tabla N° 2
Relaciones IRI - Índice de Serviciabilidad

Pavimentos de Asfalto	Pavimentos de Hormigón	Fuente
$p = 5.85 - 1.68 \text{ IRI}^{0.5}$	$p = 7.10 - 2.19 \text{ IRI}^{0.5}$	D. Dujisin A. Arroyo
$p = 5 e^{-0.24 \text{ IRI}}$	$p = 5 e^{-0.272 \text{ IRI}}$	Al-Omari y Darter 1994 (2)
$p = 7.21 e^{-0.47 \text{ IRI}}$ $p = 5.5 - 1.25 \text{ IRI}$ $p = 4.8 - 6.36 \log (\text{IRI})$ $p = 8.3 - 3.78 \text{ IRI}^{1/2}$	$p = 14.05 e^{-0.74 \text{ IRI}}$ $p = 7.1 - 1.88 \text{ IRI}$ $p = 6.0 - 9.35 \log (\text{IRI})$ $p = 11.2 - 5.58 \text{ IRI}^{0.5}$	S. Gulen et. al. 1994 (3)
$p = 5 e^{-\text{IRI}/5.5}$	-	HDM III 1987 (4)

En las figuras 5 y 6 se grafican estas distintas relaciones y se tabulan algunos valores de p en función del IRI.

Se observa que para el caso de pavimentos asfálticos, la relación encontrada es muy similar a la del HDM III, que es ampliamente utilizada en nuestro país.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., 1993.
- 2.- Al-Omari B.A., M.I. Darter, "Relationships Between International Roughness Index and Present Serviceability Rating", Transportation Research Record 1435, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1994.
- 3.- Gulen, S., R. Woods, J. Weaver, V.L. Anderson, "Correlation of Present Serviceability Ratings with International Roughness Index", Transportation Research Record 1435, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1994.
- 4.- Paterson, W.D.O. "Road Deterioration and Maintenance Effects", The World Bank, Washington D.C., 1987.
- 5.- "The AASHO Road Test, Report 5, Pavement Research", Highway Research Board Special Report 61E, National Academy of Sciences-National Research Council, Washington D.C., 1962.
- 6.- Sayers M.W., T.D. Gillespie and W.D.O. Paterson, "World Bank Technical Paper Number 46: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements", The World Bank, Washington, D.C., 1986.

Figura 1
Relación PSR - PSI

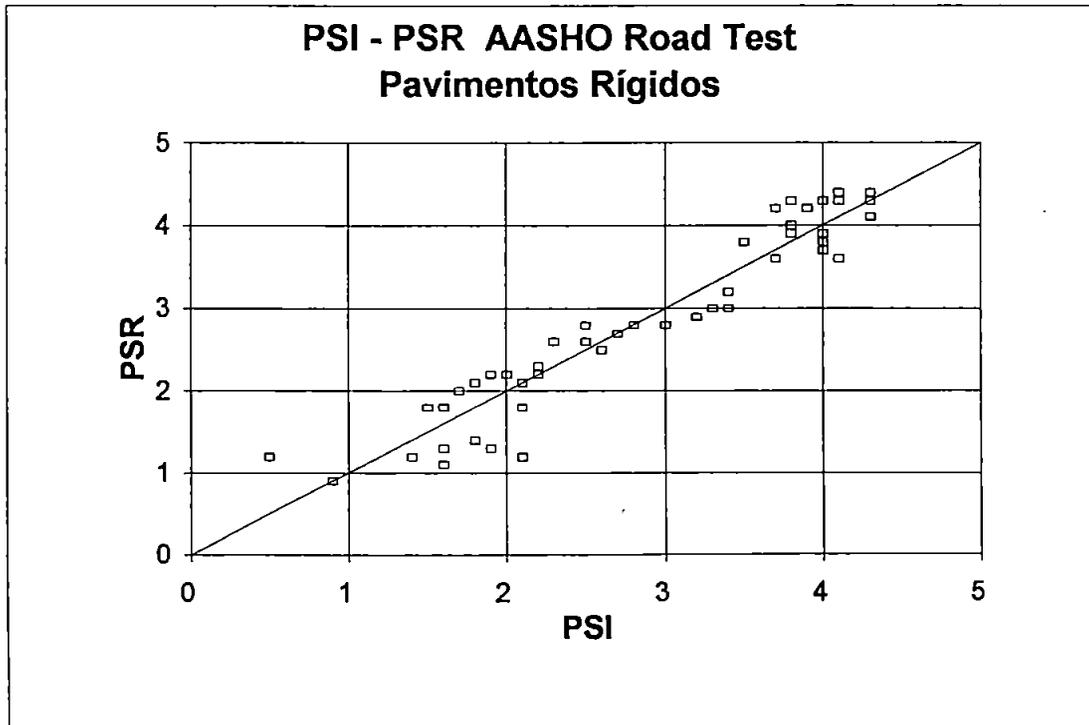
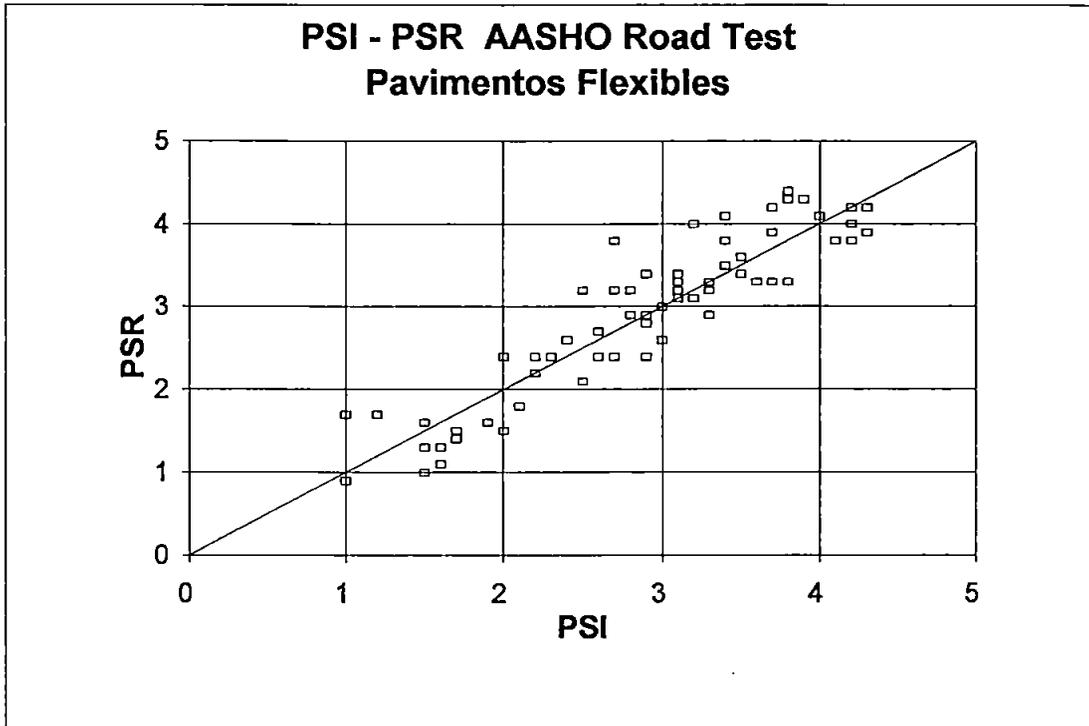
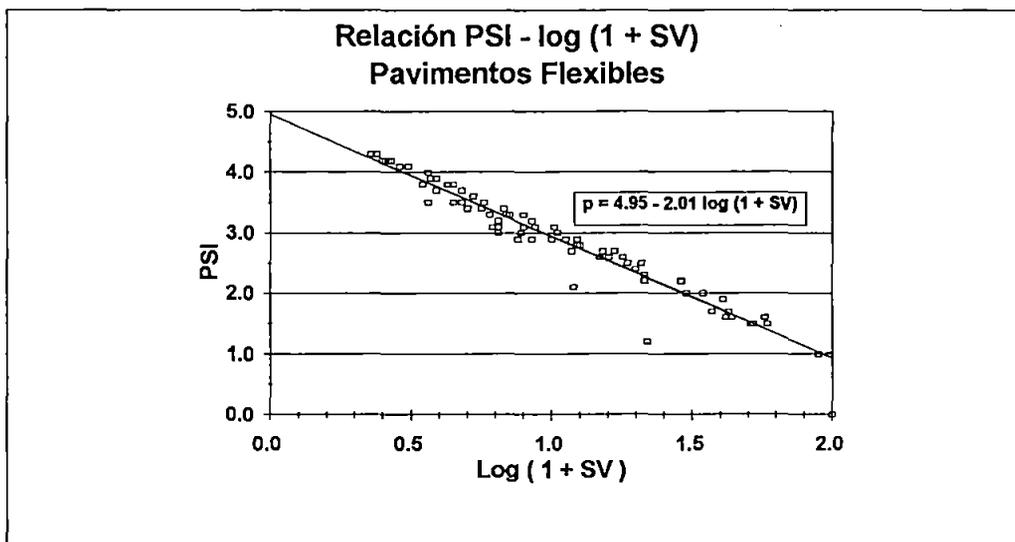
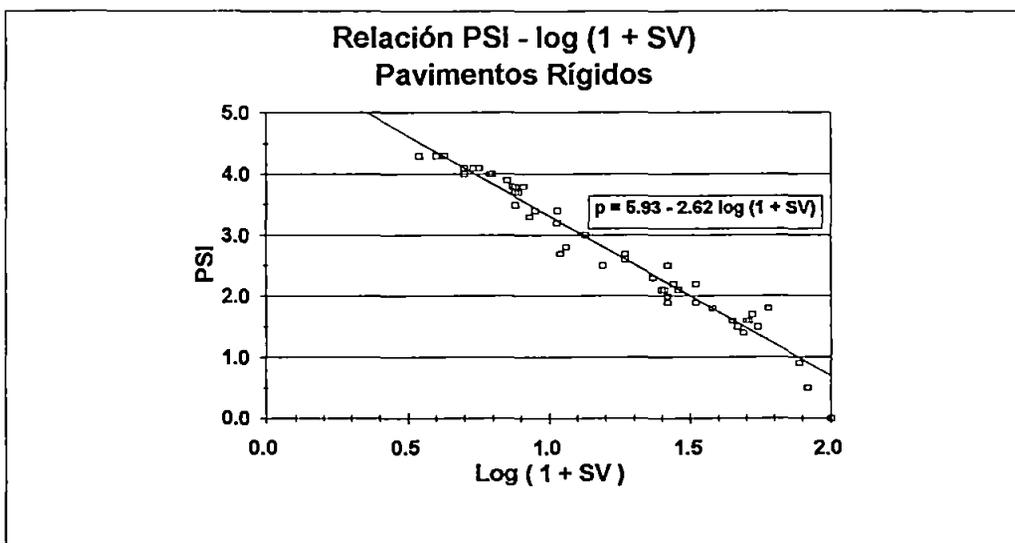


Figura 2
Relaciones PSI - SV



Regression Output:

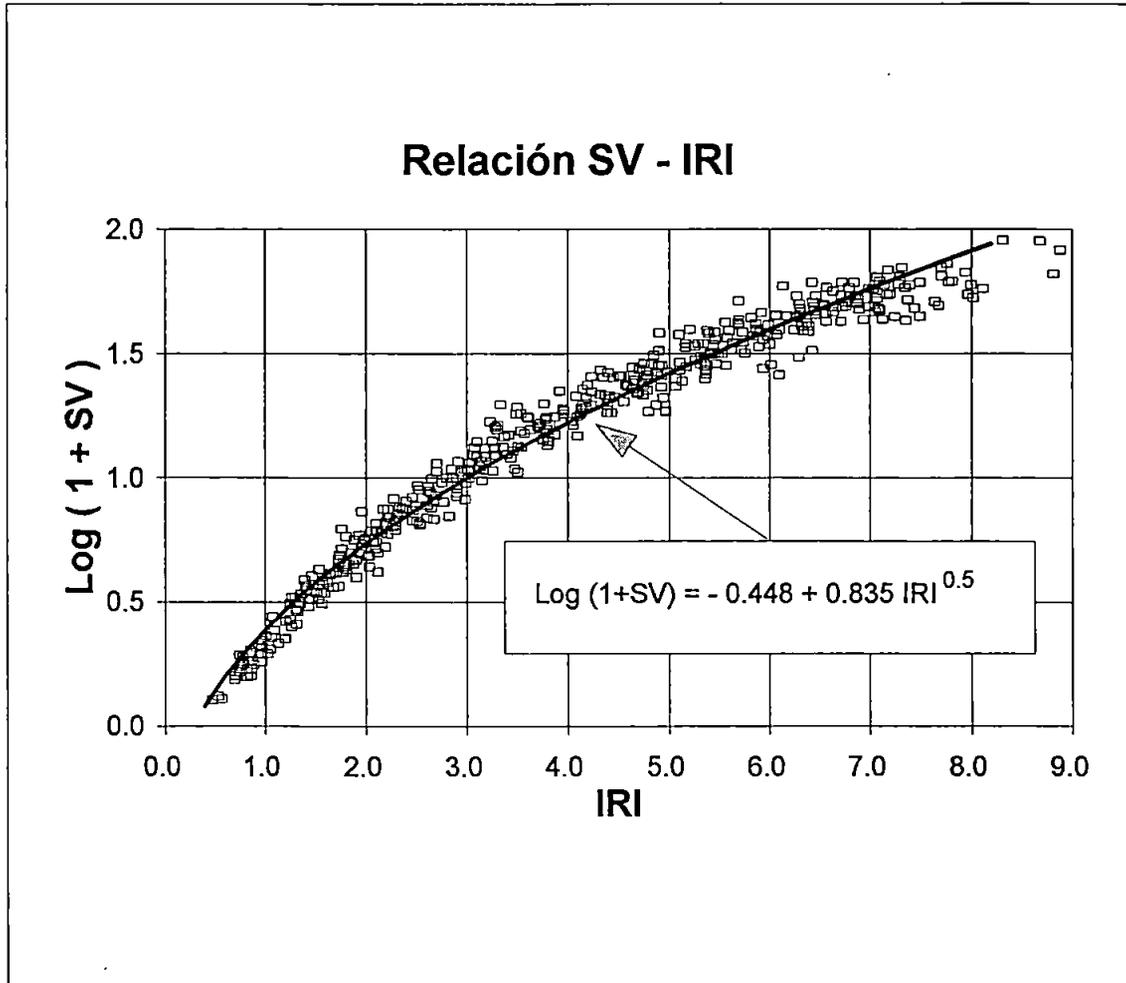
Constant	4.9499	X Coefficient(s)	-2.0081
Std Err of Y Est	0.1972	Std Err of Coef.	0.0541
R Squared	0.9503		
No. of Observations	74		
Degrees of Freedom	72		



Regression Output:

Constant	5.9302	X Coefficient(s)	-2.6152
Std Err of Y Est	0.1976	Std Err of Coef.	0.0719
R Squared	0.9657		
No. of Observations	49		
Degrees of Freedom	47		

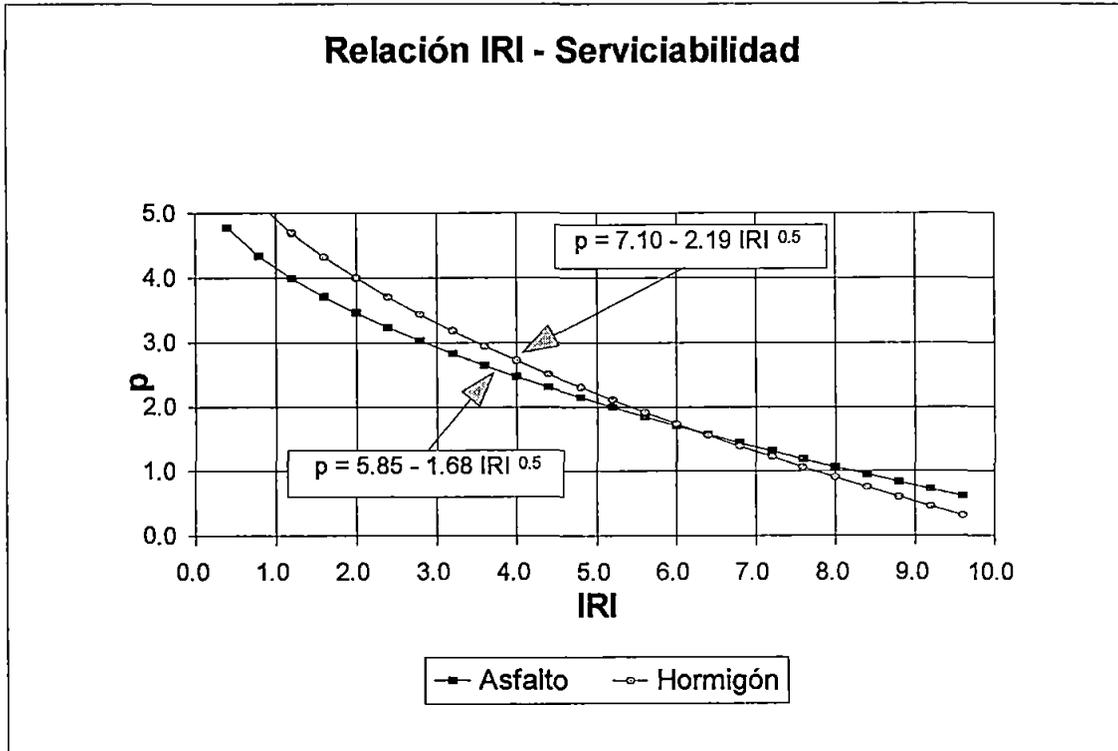
Figura 3
Relación SV - IRI



Regression Output:

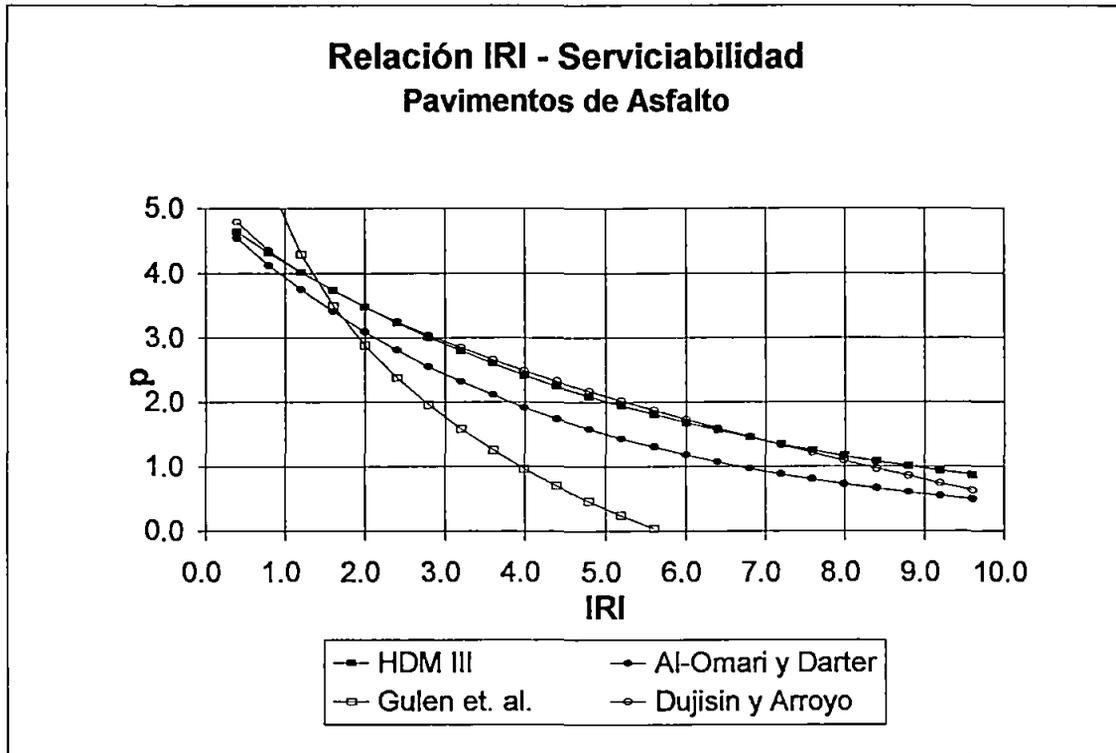
Constant	-0.44805978	X Coefficient(s)	0.83534987
Std Err of Y Est	0.07025655	Std Err of Coef.	0.00597723
R Squared	0.97718581		
No. of Observations	458		
Degrees of Freedom	456		

Figura 4
Relaciones p - IRI



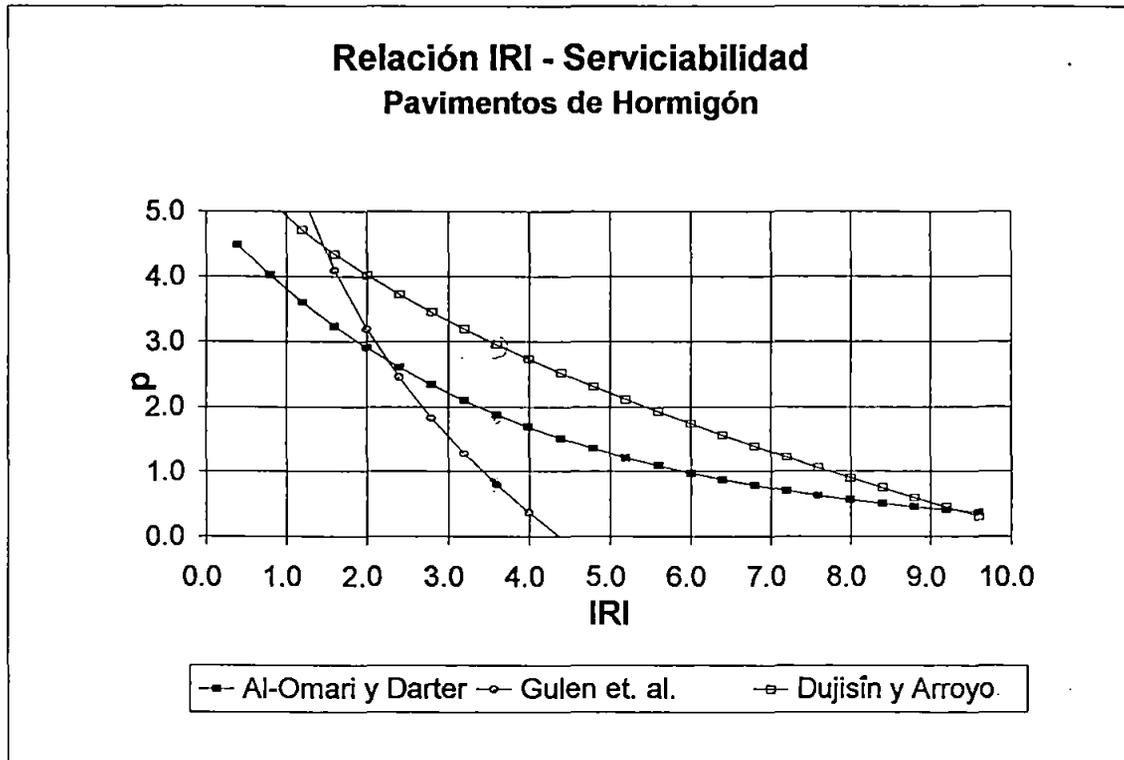
IRI	p	
	Asfalto	Hormigón
< 0.5	4.7	5.0
1.0	4.2	4.9
1.2	4.0	4.7
1.5	3.8	4.4
2.0	3.5	4.0
2.5	3.2	3.6
3.0	2.9	3.3
3.5	2.7	3.0
4.0	2.5	2.7
4.5	2.3	2.5
5.0	2.1	2.2

Figura 5
Relaciones p - IRI para Pavimentos Flexibles



IRI (m / Km)	Indice de Serviciabilidad "p"			
	HDM III	Al - Omari y Darter	S. Gulen et. al.	D. Dujisin A. Arroyo
1.0	4.2	3.9	4.8	4.2
1.5	3.8	3.5	3.7	3.8
2.0	3.5	3.1	2.9	3.5
2.5	3.2	2.7	2.3	3.2
3.0	2.9	2.4	1.8	2.9
3.5	2.6	2.2	1.3	2.7
4.0	2.4	1.9	1.0	2.5
4.5	2.2	1.7	0.6	2.3
5.0	2.0	1.5	0.4	2.1

Figura 6
Relaciones p - IRI para Pavimentos Rígidos



IRI (m / Km)	Indice de Serviciabilidad "p"			
	HDM III	Al - Omari y Darter	S. Gulen et. al.	D. Dujisin A. Arroyo
1.0	-	3.8	5.0	4.9
1.5	-	3.3	4.4	4.4
2.0	-	2.9	3.2	4.0
2.5	-	2.5	2.3	3.6
3.0	-	2.2	1.5	3.3
3.5	-	1.9	0.9	3.0
4.0	-	1.7	0.4	2.7
4.5	-	1.5	0.0	2.5
5.0	-	1.3	0.0	2.2