



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

METODOLOGÍA SIMPLIFICADA PARA LA DETECCIÓN DE NECESIDADES DE MANTENIMIENTO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS

EMIL JORGE NAMUR YUNIS

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
HERNÁN E. DE SOLMINIHAC T.

Santiago de Chile, Julio, 2008

© 2008, Emil Jorge Namur Yunis



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

METODOLOGÍA SIMPLIFICADA PARA LA DETECCIÓN DE NECESIDADES DE MANTENIMIENTO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS

EMIL JORGE NAMUR YUNIS

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

HERNÁN DE SOLMINIHAC T.

MAURICIO SALGADO T.

GUILLERMO THENOUX Z.

ANDRÉS CAROCA B.

GONZALO PIZARRO P.

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Julio, 2008

A la Lala y el Tata, los que aplauden más
fuerte cada uno de mis logros.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por la gran cantidad de oportunidades que me ha brindado. Quiero agradecer también a mis papás y a mis hermanos, a ellos debo todos mis logros, este inclusive.

Agradezco a mi profesor supervisor, don Hernán de Solminihac, quien más que guiar el trabajo propiamente tal, me entregó las herramientas para hacer este pequeño aporte. Agradezco además a los miembros de mi comisión de Tesis, señores: Mauricio Salgado, Andrés Caroca, Guillermo Thenoux y Gonzalo Pizarro, gracias a ellos, este documento logró un mejor desarrollo.

Al mismo tiempo, agradezco al Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, especialmente a Selma Mella, Lidia Soto, Edith Garrido, Claudio Santos y William Márquez, la alegría con la que realizan su trabajo muchas veces fue vital en la realización de esta investigación. A Inés Chieyssal por su apoyo fundamental desde el decanato. Agradezco también a mis compañeros de Magíster por su valiosa ayuda y opinión en todo momento.

Además deseo reconocer el apoyo técnico brindado por APSA Ltda., especialmente a Cristián Villegas y Catalina Arancibia.

Finalmente, le agradezco a la Ker el cariño, preocupación y comprensión regalados en muchos de los pasos dados a lo largo de la Tesis.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE TABLAS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I Introducción.....	1
I.1 Antecedentes Generales	1
I.1.1 Gestión de Infraestructura Vial.....	1
I.1.2 Los Caminos No Pavimentados dentro de la Infraestructura Vial ..	1
I.1.3 Gestión de Caminos No Pavimentados.....	4
I.1.4 El IRI como medida de serviciabilidad y umbral de intervención.	10
I.2 Importancia de la investigación	15
I.3 Hipótesis.....	16
I.4 Objetivo de la Tesis.....	16
I.5 Metodología de trabajo	17
I.6 Estructura de la Tesis	19
I.7 Alcance del estudio	20
II Estimación del IRI a partir de los deterioros	21
II.1 Introducción	21
II.1.1 Antecedentes Generales.....	21
II.1.2 El IRI y su relación con los deterioros.....	23

II.2	Metodología de trabajo	26
II.3	Diseño experimental.....	27
II.3.1	Variable dependiente	27
II.3.2	Variables independientes y sus niveles.....	27
II.3.3	Espacio de inferencia.....	29
II.3.4	Cantidad de réplicas.....	29
II.3.5	Metodología de análisis de datos	29
II.3.6	Metodología de toma de datos	30
II.4	Toma de datos – Recolección de datos de terreno	32
II.5	Resultados de la metodología propuesta	34
II.6	Análisis de Datos.....	37
II.6.1	Creación de la base de datos	37
II.6.2	Verificación de las hipótesis para el análisis estadístico	38
II.6.3	Análisis estadístico de datos	38
II.6.4	Análisis posteriores.....	47
II.6.5	Interpretación de resultados, recomendaciones y conclusiones.....	50
III	Determinación de umbrales de intervención	55
III.1	Introducción	55
III.1.1	Antecedentes Generales.....	55
III.1.2	El IRI y la opinión de usuarios como umbral de intervención	58
III.1.3	¿Representa el IRI a los deterioros del camino?.....	59
III.1.4	Rugosidad umbral y rugosidad objetivo	60
III.1.5	El método DELPHI.....	61
III.2	Metodología de trabajo	64
III.3	Diseño experimental.....	65
III.3.1	Variables dependientes	65
III.3.2	Variables independientes y sus niveles.....	66
III.3.3	Espacio de inferencia.....	70
III.3.4	Cantidad de réplicas.....	70
III.3.5	Metodología de análisis de datos	70
III.3.6	Metodología de toma de datos	71
III.4	Toma de datos - Aplicación de la encuesta	75
III.5	Resultados de la metodología propuesta	75

III.6	Análisis de Datos.....	76
III.6.1	Creación de la base de datos	77
III.6.2	Verificación de las hipótesis para el análisis estadístico	77
III.6.3	Análisis estadístico	78
III.6.4	Análisis posteriores.....	79
III.6.5	Validación de los resultados obtenidos.....	80
III.6.6	Interpretación de resultados y conclusiones	83
IV	Detección de necesidades de mantención.....	87
IV.1	Introducción	87
IV.2	Proposición de la metodología	88
IV.3	Ejemplo de aplicación - Validación de la metodología	90
V	Conclusiones y recomendaciones	93
V.1	Conclusiones	93
V.2	Recomendaciones para la aplicación de la metodología propuesta	95
V.3	Futuras líneas de investigación	96
	BIBLIOGRAFIA	98
ANEXO A -	Actividades de mantención identificadas en el manual de carreteras	
	104	
ANEXO B -	Rangos de variación del IRI según el experimento IRRE	106
ANEXO C -	Estimación de la rugosidad, descripción de Archondo-Callao....	109
ANEXO D -	Descripción del rugosímetro utilizado.....	111
ANEXO E -	Ficha y resumen del Instructivo de Inspección Visual utilizados.	116
ANEXO F -	Resultados de la Inspección Visual y medición de IRI en los tramos	
	testigo 124	
ANEXO G -	Repetibilidad y Reproducibilidad del Rugosímetro utilizado	126
ANEXO H -	Encuesta de IRI _{umbral} e IRI _{objetivo}	140

ANEXO I -	Resultados y análisis estadístico de la encuesta piloto	146
ANEXO J -	Resultados y análisis exploratorio de la encuesta definitiva.....	152
ANEXO K -	Resultados y análisis estadístico de la encuesta definitiva	156
ANEXO L -	Alternativas de mantención propuestas según tipo de deterioro .	163
ANEXO M -	Ejemplo de aplicación de la metodología	165
ANEXO N -	Respuestas de los expertos utilizados para la validación de las ecuaciones de IRI umbral y objetivo	168

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I-1: Resumen del Inventario Vial 2006 (MOP, 2006)	3
Tabla I-2: Tipos de actividades de mantenimiento según el Manual de Carreteras.....	6
Tabla II-1: Nivel de variación de las variables independientes.	28
Tabla II-2: Rango de variación de los deterioros encontrados.....	36
Tabla II-3: ANOVA de la variable IRI con las 4 variables independientes.....	40
Tabla II-4: ANOVA de la variable IRI con las 2 variables más significativas.....	41
Tabla II-5: ANOVA para tramos de tierra y ripio.....	42
Tabla II-6: ANOVA para tramos de tierra y ripio con variable Dummie.....	43
Tabla II-7: ANOVA tierra.....	44
Tabla II-8: Stepwise para tramos de tierra	45
Tabla II-9: ANOVA para tramos de ripio	46
Tabla II-10: Stepwise ripio	47
Tabla III-1: Valores de rugosidad umbral propuestos por ROADDEX III.....	57
Tabla III-2: IRI umbral de intervención para pavimentos urbanos, caso chileno.....	59
Tabla III-3: Niveles de variación para el TMDA de los caminos no pavimentados.....	67
Tabla III-4: Niveles de variación del tránsito pesado en los caminos no pavimentados ..	68
Tabla III-5: Factorial completo para IRI objetivo.....	76
Tabla III-6: Factorial completo para IRI umbral.....	76
Tabla III-7: ANOVA inicial para IRI objetivo	78
Tabla III-8: ANOVA inicial para IRI umbral	78
Tabla III-9: Test-t de dos muestras y Test-t pareado para el IRI_{umbral}	81
Tabla III-10: Test-t de dos muestras y Test-t pareado para el IRI_{umbral}	82
Tabla IV-1: Frecuencia de inspección propuesta inicialmente (veces/año).....	89

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura I-1: modelo generalizado de Gestión de Caminos No Pavimentados.	5
Figura I-2: Esquema de la metodología de trabajo utilizada.....	17
Figura II-1: Metodología de trabajo para la determinación de la expresión de correlación IRI-deterioros	26
Figura II-2: Factorial de escenarios posibles.	28
Figura II-4: Instalación del Bump Integrator en el vehículo.....	30
Figura II-3: Identificación de la Unidad y Zona de muestreo de un tramo testigo.	31
Figura II-5: Distribución geográfica de los tramos testigo	33
Figura II-6: Medición de IRI, Bump Integrator montado en camioneta Hyundai H1.	34
Figura II-7: Inspección Visual, medición del ahuellamiento con regleta AASHTO.	34
Figura II-8: Cantidad total de réplicas para cada escenario.	35
Figura II-9: Factorial final del experimento.....	36
Figura II-10: Factorial relleno con IRI promedio según escenario.	38
Figura II-11: Análisis estadístico realizado a los tramos testigo.	39
Figura II-12: IRI_ajustado vs IRI real obtenido de la ecuación II-1. Ajuste por escenarios.	48
Figura II-13: IRI_ajustado vs IRI real obtenido de la ecuación II-5. Ajuste para tramos de tierra.....	49
Figura II-14: IRI_ajustado vs IRI real obtenido de la ecuación II-7. Ajuste para tramos de ripio.	50
Figura III-1: Metodología de trabajo para la determinación del IRI umbral e IRI objetivo	65
Figura III-1: Efecto del estado de la carretera sobre los costos de operación vehicular. .	68
Figura III-2 Composición de los caminos no pavimentados de la red vial nacional	69
Figura III-3: Factorial del experimento.....	70
Figura III-4: ejemplo del planteamiento del primer escenario.....	73

Figura III-5: Tipo de carpeta de rodadura por clase.....	73
Figura III-6: Comparación de IRI objetivo real versus ajustado.....	79
Figura III-7: Comparación de IRI umbral real versus ajustado	80
Figura III-8: Evaluación del IRI umbral de la Red Vial No Pavimentada.....	85
Figura III-9: Evaluación del IRI objetivo de la Red Vial No Pavimentada	85
Figura IV-1: Esquema general de la metodología propuesta	90
Figura IV-2: Diferencia IRI umbral con el IRI real e IRI estimado.....	92

RESUMEN

Una de las tareas de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV) y sus respectivas reparticiones regionales y provinciales corresponde a la determinación de los requerimientos de mantenimiento de los caminos administrados bajo la modalidad de Administración Directa. La mayor parte de los caminos administrados bajo esta modalidad corresponden a no pavimentados.

El modo actual de realizar dicha actividad, basado en el criterio de quien inspecciona, podría ser calificado de poco objetivo y con posibles vicios. Para eliminar estas falencias, el presente trabajo propone una metodología que permite detectar la necesidad de conservación en caminos no pavimentados de manera fácil y objetiva. Para esto, se propone el establecimiento de umbrales de rugosidad, debido a que ésta resume de buena forma el deterioro presente en este tipo de vías.

Los umbrales para distintos tipos de caminos, fueron determinados mediante una consulta a expertos de los sectores público, privado y académico. Ellos propusieron valores de IRI límite en función de las características que se les presentó para cada camino.

Por otra parte, para la medición de la rugosidad en caminos no pavimentados se recomienda la utilización de un rugosímetro tipo respuesta. Sin embargo, dado que en la actualidad no se dispone de una gran cantidad de estos equipos, se propone aprovechar los datos de inspección visual para la estimación del IRI. Por esta razón, se estudiaron correlaciones entre los principales deterioros de los caminos no pavimentados y el IRI, con datos obtenidos de tramos testigo.

Palabras Clave: caminos no pavimentados, mantenimiento, rugosidad, IRI, umbral, deterioro.

ABSTRACT

One of the tasks of the National Roads Office (DNV) and its respective regional and provincial secretary is to determinate the maintenance requirements of the roads administered under the modality of Direct Administration. Most of the roads administered under this modality are not paved.

The present way to determinate the maintenance requirements, based in the criterion from who inspect the roads, could be described as objective and with possible vices. In order to eliminate these anomalies, the present work proposes a methodology to detect the requirements of conservation for unpaved roads with an easy and objective manner. For this, the establishments of threshold roughnesses are proposed, because it summarizes adequately the present deterioration on this kind of roads.

The threshold roughnesses for different type of roads were determined with a survey to experts of the public, private and academic sectors. They proposed values of IRI limit based on the shown characteristics for each road.

On the other hand, for the measurement of the roughness in unpaved roads the use of a rough-meter response-type is recommended. Nevertheless, since at the present time there is not available a sufficient amount of this type of equipment, this investigation proposes to take advantage of the data obtained from the visual inspection for an estimation of IRI. Therefore, correlations between the main distresses of the unpaved roads and the IRI were studied, using collected data from test sections.

Keywords: unpaved road, maintenance, roughness, IRI, threshold, distress.

I INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes Generales

I.1.1 Gestión de Infraestructura Vial

“Se llama Infraestructura Vial a todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades al medioambiente y a su entorno” (de Solminihac, 2001). Por lo tanto, dentro de estos elementos se ubican las carreteras, puentes, túneles, pasarelas, enlaces, barreras de contención, etc. Uno de los principales elementos de la infraestructura vial corresponde a los caminos, ya que son éstos los que permiten el desplazamiento. Además, es en los caminos precisamente donde se genera la mayor necesidad de recursos debido a su alto costo de mantenimiento, además de constituir el principal factor influyente en el costo de los usuarios del camino (Odoki y Keralli, 2000).

La Gestión de Infraestructura Vial por lo tanto, se encarga de administrar los distintos elementos antes mencionados a través de la realización de actividades tales como conservación, rehabilitación o reconstrucción, con el objetivo de que la infraestructura siga prestando un servicio adecuado a través del tiempo, optimizando los recursos disponibles.

I.1.2 Los Caminos No Pavimentados dentro de la Infraestructura Vial

Existen diversas formas de clasificar los caminos (Baesso y Gonçalves, 2003):

- i) Según su administración: (a) nacionales, (b) municipales, (c) particulares.

- ii) Según su clasificación funcional: (a) arterias: destinada a favorecer la movilidad, (b) colectores: destinadas a dar movilidad y acceso, (c) locales: destinada a favorecer el acceso.
- iii) Según sus características físicas: (a) pavimentadas (b) no pavimentadas.
- iv) A nivel nacional, se suma una clasificación según su clase: (a) Clase A: Caminos Nacionales, (b) Clase B: Caminos Regionales Primarios, (c) Clase C: Caminos Regionales Secundarios, (d) Clase D: Caminos Comunales Primarios, (e) Clase E: Caminos Comunales Secundarios (MOP, 2005).

La principal clasificación utilizada en esta investigación será la que se realiza según el material que compone la carpeta de rodadura, estudiando los caminos no pavimentados. La mayor parte de los kilómetros de la red vial nacional corresponde a caminos sin pavimentar: según el Inventario de la Red Vial realizado el año 2006 por la Dirección de Vialidad, de los caminos que dependen de esta agencia, cerca de un 46% corresponde a caminos de ripio y un 26% a caminos de tierra, de un total de 80.695 kilómetros. (MOP, 2006).

En la Tabla I-1 se encuentra un resumen del Inventario de la Red Vial nacional (año 2006). En ella se observa que los caminos no pavimentados corresponden a cerca de 58.000 kilómetros. Esta magnitud no considera a los caminos administrados por el Servicio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU) o las municipalidades. En caso de considerar estos caminos, el tamaño de la red podría duplicarse (Bellolio, 2005). No obstante su longitud, podría pensarse que a los caminos no pavimentados no se les da real importancia para el país, es por eso que también repasaremos la importancia que reviste este tipo de caminos.

Tabla I-1: Resumen del Inventario Vial 2006 (MOP, 2006)

	Asfalto	Hormigón	Capa Protección	Granular Estabiliz.	Ripio	Tierra	Total
Clase A	5.468	918	10	120	1.550	28	8.093
Clase B	3.810	636	55	353	779	113	5.747
Clase C	3.741	347	279	500	3.487	826	9.181
Clase D	1.793	201	1.282	1.784	15.491	7.214	27.764
Clase E	248	42	652	666	15.547	12.754	29.909
	15.060	2.145	2.278	3.422	36.855	20.935	80.695

La importancia de los caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito¹ puede subdividirse principalmente en dos:

- i) Importancia social: asegurar un mínimo nivel de acceso a recursos y oportunidades a localidades más aisladas (Lebo y Schelling, 2001).
- ii) Importancia estratégica: dar conectividad al país de manera de poder contar con accesos de movilización, evacuación y ayuda a la mayor parte del territorio en caso de desastres y conflictos.

Debido entonces a su gran aporte en la composición de la red vial nacional y a su especial importancia para el país, se hace necesario realizar una adecuada administración de este tipo de caminos. Vale la pena aclarar que, no obstante el realce que se busca dar a los caminos no pavimentados en la presente investigación, la mayor cantidad de viajes se realiza en caminos de clases A y B, mayormente pavimentados. Esto ocurre debido a las características de “alta movilidad” que presentan, pese a que su extensión es menor.

Existen casos, tal como lo advierten Schliessler y Bull (1994) y Lebo y Schelling (2001) en que presiones de todo tipo terminan por otorgar estándares inadecuados a los caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito, aumentando con ellos los costos totales de

¹ Los caminos no pavimentados son, en la mayoría de los casos, caminos de bajo volumen de tránsito, pues un camino será económica y socialmente conveniente de ser pavimentado, toda vez que exceda cierto volumen diario de tránsito. A nivel nacional, el criterio para pavimentar un camino consiste en la superación de un umbral de TMDA de 300 vehículos diarios (Barrera et al., 2000).

administración y/o de los usuarios². Por lo tanto, debe existir un criterio que establezca de manera clara el estándar mínimo que debe cumplir un Camino No Pavimentado.

I.1.3 Gestión de Caminos No Pavimentados

En esta sección se realiza una breve descripción de la forma de hacer gestión en caminos no pavimentados tanto a nivel internacional como a nivel nacional

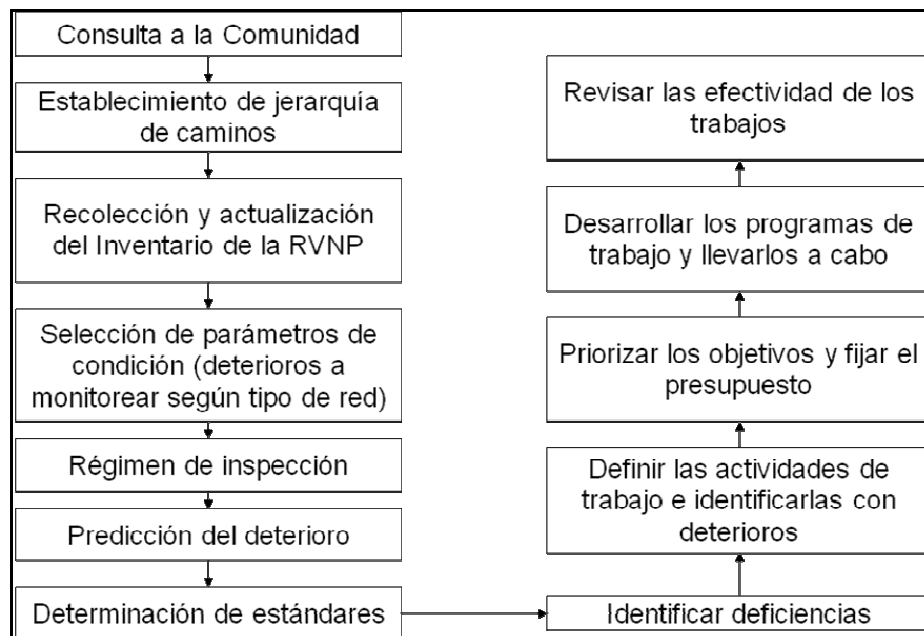
a) A nivel Internacional

Existe en la literatura internacional una gran cantidad de documentos que avalan el gran interés que despierta el tema de la gestión de caminos no pavimentados alrededor del mundo. Europa, Estados Unidos, Sudáfrica y Australia son los países que aportan la mayor parte de la literatura.

En países desarrollados la administración de los Caminos No Pavimentados es un tema largamente desarrollado por una gran variedad de autores. Si bien no existe consenso en la forma de hacer gestión, muchos de estos autores proponen formas de hacer gestión que suelen converger hacia un modelo generalizado con etapas definidas. Dicho modelo se presenta en la Figura I-1, y se recomienda que sea aplicado a nivel de agencias locales, más que a nivel de gobierno central (AUSTROADS, 2006).

² Caminos que no merecen grandes inversiones en mantenimiento son mantenidos con altos estándares, o caminos con grandes necesidades son mantenidos con bajos estándares.

Figura I-1: modelo generalizado de Gestión de Caminos No Pavimentados.



Fuente: Adaptado de Asset Management of Unsealed Roads (AUSTROADS, 2006). Nota: RVNP = Red Vial No Pavimentada

Como puede verse, es un sistema bastante completo, dentro del cual se contemplan muchas etapas que son deseables de realizar. Sin embargo que para llevarse a cabo, requieren de una estructura organizacional y una cantidad de recursos que no es usual disponer en países no desarrollados.

b) A nivel Nacional

A diferencia de los países desarrollados, a nivel nacional existe un solo referente documentado acerca de la forma de hacer gestión en caminos no pavimentados, el Manual de Carreteras. Parte importante de la gestión de mantenimiento la realizan las Direcciones Regionales de Vialidad y sus delegaciones provinciales, instancias en permanente coordinación con el nivel central. En la etapa de la planificación de la mantención ellas son responsables a nivel regional de (MOP, 2000):

i) Actualizar el Inventario de Caminos

- ii) Determinar los requerimientos o necesidades de mantenimiento a partir del inventario de caminos.
- iii) Acorde a las necesidades determinar y proponer el presupuesto anual de conservación.
- iv) Proponer el programa anual de conservación.
- v) Realizar la planificación y programación de terreno.

Para el caso de los caminos no pavimentados, estas actividades se realizan, por lo general, basándose en el criterio de quienes desempeñan los cargos en los cuales se toman las decisiones. Respecto al “programa anual de conservación”, las actividades de mantenimiento aplicables a los caminos no pavimentados se pueden dividir en tres tipos según la periodicidad y el origen de las acciones de conservación que son realizadas. En la Tabla I-2 se muestran dichas actividades.

Tabla I-2: Tipos de actividades de mantenimiento según el Manual de Carreteras³

Tipo	Definición	Alternativas para vías no pavimentadas
Conservación Rutinaria	Intervenciones relativamente frecuentes a lo largo de todo el año.	Reperfilados y bacheos
Conservación Periódica	Intervenciones que pueden programarse con alguna anticipación pues quedan determinadas por el volumen de tránsito y/o por el clima; normalmente son repetitivas y cíclicas.	Recebo
Restauración	Intervenciones destinadas a devolver a la obra deteriorada su condición inicial o reforzarla sin alterar la estructura subyacente, con el objetivo de evitar su destrucción, preservar la calidad de rodadura y asegurar la integridad estructural.	Tratamientos superficiales

Fuente: MOP, 2000

Las agencias viales (regionales o provinciales) pueden ejecutar las obras de mantenimiento (rutinaria, periódica o de restauración), mediante 6 modalidades, muchas

³ En el Anexo A se explican las actividades que, según el Manual de Carreteras se aplican a caminos no pavimentados en Chile.

de las cuales permiten exteriorizar las responsabilidades directas que ellas tienen sobre la gestión de las redes. Estas modalidades son:

- i) Administración directa: En esta forma de conservación se utiliza personal y equipo de la Dirección de Vialidad en tareas de mantenimiento de los caminos. Mayoritariamente se realizan operaciones de conservación rutinaria. Predominantemente opera sobre caminos de la red comunal y, por lo tanto, principalmente en caminos con carpeta de rodadura de ripio o tierra.
- ii) Contratos individuales de conservación: En esta modalidad se licita la conservación de un camino o tramo de él, para ser ejecutada por una empresa contratista, definiéndose el tipo de operaciones por realizar y las cantidades de obra de cada una de ellas. Normalmente en este tipo de contratos se incluyen, de manera importante, operaciones de conservación periódica.
- iii) Contratos de conservación global: En cada contrato se incluye una red de caminos, cuya longitud total alcanza, en general, entre 400 y 600 kms. Las operaciones, previamente definidas en cuanto a tipo y cantidades de obra por ejecutar, se contratan a serie de precios unitarios. El procedimiento se utiliza para que se realicen operaciones tanto rutinarias como periódicas y en caminos con diferentes tipos de carpeta de rodadura.
- iv) Contratos de conservación por nivel de servicio: Este tipo de contrato está orientado, preferentemente, a la red de caminos pavimentados; en ellos el Contratista está obligado a mantener, a suma alzada, una red definida de caminos dentro de ciertos niveles o estándares prefijados, los que son periódicamente verificados por la Dirección de Vialidad. Habitualmente incluyen operaciones de mantención rutinaria y periódica, además de ciertos trabajos de restauración y de reposición o

mejoramiento, los que se definen explícitamente, se cuantifican separadamente y se pagan a precios unitarios.

- v) **Concesión del mantenimiento:** Durante el periodo estipulado, el Concesionario se obliga a ejecutar todas las operaciones de mantenimiento que requiera la o las rutas incluidas en el contrato, para mantenerlas dentro de ciertos niveles o estándares prefijados y que son periódicamente verificados por la Dirección de Vialidad. También se incluye, normalmente, en algún momento dentro del plazo de vigencia del contrato, alguna construcción de vía(s) y/o ampliación y mejoramiento de las existentes. Se establecen Planes Anuales de Mantenimiento, los que deben confirmarse en forma previa al año que se inicia, y que deben ser presentados por el Concesionario a la Dirección de Vialidad para su aprobación.
- vi) **Conservación a través de Corporaciones Viales:** Las Corporaciones viales son entidades creadas con aportes del sector privado y organismos públicos regionales, con la finalidad de atender el mantenimiento de parte de la red comunal con claro impacto económico y/o social. La Dirección de Vialidad aporta maquinarias, asesoría y supervisión.

Las modalidades más utilizadas para la ejecución de las obras de mantenimiento en los caminos no pavimentados son los contratos por conservación global y la administración directa. En los contratos por administración global, se realiza un inventario de la red y se planifican las acciones rutinarias, periódicas y de emergencia, con el cual se establece un presupuesto estimativo del contrato, el que va ligado a un plan de actividades que deben ser realizadas por la empresa que se asigne el contrato. En la modalidad de administración directa, en cambio, es la propia agencia la que detecta necesidades de mantenimiento, y luego planifica y ejecuta las obras de mantención.

Para la planificación de las operaciones ejecutadas bajo la modalidad de administración directa, la capacidad técnica de la estructura organizacional de una agencia vial y los recursos necesarios para realizar una apropiada y completa gestión vial muchas veces no se encuentran disponibles. Esta situación produce ineficiencias en todo nivel de la gestión, incluida la conservación de la red. Por otra parte, se tiene que una agencia vial prefiere invertir los recursos económicos asignados a ella en la ejecución de proyectos nuevos, en detrimento de los trabajos de mantenimiento de la red actual ya que “se busca no gastar dinero en lo que no luce, como, por ejemplo, la mera conservación de lo ya existente” (Schliessler y Bull, 1994).

La unidad que controla, a nivel nacional, la gestión realizada por administración directa es el Subdepartamento de Conservación por Administración Directa, dependiente del Departamento de Conservación de la Dirección de Vialidad y es quien coordina con las Direcciones Regionales el mantenimiento realizado a la Red Vial Nacional.

A nivel nacional y regional, parte importante de la gestión de caminos pavimentados se realiza utilizando HDM-4. Ésta es una herramienta computacional que permite realizar evaluaciones técnico-económicas de redes viales con el objetivo de administrarlas.

En el caso específico de los caminos de grava y tierra se utiliza el Sistema de Administración del Mantenimiento, SAM (MOP, 2000). El SAM, implementado desde 1992 por la Dirección de Vialidad del MOP, es un sistema que permite controlar toda la gestión de la conservación por administración directa a nivel provincial, regional y nacional. De manera sencilla, el SAM puede ser definido como un conjunto de procedimientos técnicos y administrativos, cuyo principal objetivo es lograr una eficiente mantención de la red vial. En 1997 este sistema es plasmado en un software e implementado a nivel nacional. Las etapas del SAM son las siguientes (Almonacid y Gahona, 2002):

- i) Planificación general
- ii) Financiamiento

- iii) Planificación de terreno
- iv) Ejecución de las operaciones
- v) Control

Dentro de la fase de planificación general, se deben detectar los requerimientos específicos que tienen los caminos a nivel regional. Para ello, los caminos de la red son evaluados con notas de 1 a 5. Esta calificación es realizada por personal de terreno que, basándose en su criterio y experiencia, asigna una nota al camino.

Con esta nota, el tránsito (TMDA) y el tipo de camino, se determinan las necesidades anuales de conservación. Por esta razón, la nota que pone el evaluador y el criterio con que lo hace, son determinantes en el presupuesto a presentar para la etapa de financiamiento y en las etapas posteriores (MOP, 2000).

Es por esto que, enmarcado dentro del sistema actualmente en uso a nivel nacional, se propone establecer una metodología simple, pero menos subjetiva para determinar las necesidades de mantenimiento de un camino no pavimentado.

I.1.4 El IRI como medida de serviciabilidad y umbral de intervención.

En esta sección se explica por qué se utiliza el IRI como umbral de intervención en caminos no pavimentados, citando algunas definiciones y aclarando algunos conceptos.

- a) Serviciabilidad y Rugosidad

La serviciabilidad es la capacidad de una sección específica de pavimento para servir al tráfico en determinadas condiciones (Hudson, Haas y Uddin, 1997), o dicho de otra manera, es la forma en que los usuarios perciben el nivel de servicio del pavimento (de Solminihaq, 2001). Por lo tanto, es el usuario quien debe otorgar cierto grado de serviciabilidad a cada sección del camino. Esto último implicaría cierta subjetividad en la medición de la serviciabilidad, pues depende del criterio de cada usuario el nivel de

servicio que este percibe. Para tratar de hacer objetiva la medición de esta propiedad en caminos pavimentados, existen algunas metodologías que buscan cierta repetibilidad en la calificación de la serviciabilidad. Algunas de estas metodologías son (de Solminihaç, 2001):

- i) PSR: Escala de notas de 0 a 5 de peor a mejor, en donde cada intervalo unitario representa ciertas características del camino en cuanto a velocidad y confort en la conducción y superficie deteriorada. La nota de una sección determinada es estimada por el promedio de notas asignadas por un panel de expertos que circula por un conjunto de tramos y le asigna una nota a cada tramo según las características propias de cada uno. Dicho promedio se llama *Present Serviceability Rating*, ó PSR.
- ii) PSI: Se correlacionan las medidas de PSR con algunos deterioros presentes en los caminos (varianza de la pendiente longitudinal, ahuellamiento, superficie agrietada, longitud total de grietas y superficie bacheada), de forma tal de poder estimar la nota que le pondría un panel de expertos a un camino con cierto nivel de deterioro. A esta estimación del PSR se le llamó *Present Serviceability Index*, o PSI.

La varianza de la pendiente longitudinal es lo que comúnmente se denomina rugosidad, la que es definida por de Solminihaç (2001) como “las irregularidades presentes en la superficie de un camino que empeoran la calidad del rodado, la seguridad y los costos de operación” de los usuarios que transitan por él. En las ecuaciones de correlación para el PSI, descritas anteriormente, la rugosidad es el deterioro que tiene mayor peso relativo, por lo que puede ser considerado un buen estimador de la serviciabilidad del pavimento. Para el caso específico de vías no pavimentadas, existe otro deterioro que afecta la serviciabilidad y es el polvo generado producto de la circulación de vehículos. Sin

embargo, éste deterioro es un problema que debe ser considerado de manera separada a la calidad misma de la rodadura.

b) El Índice de Rugosidad Internacional (IRI)

Para medir la rugosidad en pavimentos se han desarrollado variadas metodologías en muchos países, utilizando para ello una amplia gama de equipos. La singularidad de cada una de ellas, hace que la comparación de resultados obtenidos con metodologías distintas sea difícil. Para que las medidas de la rugosidad fueran comparables, el Banco Mundial desarrolló el experimento IRRE (*Internacional Road Roughness Experiment*), en el cual se estableció una correlación y los estándares de calibración para las mediciones de rugosidad de los pavimentos con distintos equipos (Sayers, Gillespie y Queiroz, 1986).

El objetivo principal de dicho experimento consistió en la obtención de un índice de rugosidad que tuviera las siguientes características: (a) Estable en el tiempo. (b) Transportable: medible con el equipamiento disponible en la mayoría de los países, incluyendo los países en desarrollo, en donde las tecnologías son más limitadas. (c) Válido: reproducible con varios tipos de equipos a través del mundo en todo tipo de superficies. (d) Relevante: indicativo de la condición de la vía, toda vez que afecta a los costos y el confort y la seguridad de los usuarios.

A este índice de rugosidad obtenido se le llamó *International Roughness Index* (IRI). A continuación se desarrollaron ecuaciones de correlación entre las medidas de los diversos instrumentos disponibles a nivel mundial y el IRI, para facilitar el intercambio de información relacionado con la rugosidad.

El IRI es definido como una escala para la medición de la rugosidad basada en la respuesta que tiene un vehículo a la rugosidad superficial de un camino. El valor queda determinado por una medida del perfil del camino, “procesando éste valor a través de un algoritmo que simula la forma en que un vehículo de referencia puede responder a la

medida de rugosidad ingresada, y acumulando la distancia que recorrería la suspensión de dicho vehículo” (Gillespie, 1992, p. 6). Esta acumulación del viaje que hace la suspensión correspondería a la sumatoria de todas las deformaciones verticales de la superficie presentes en un kilómetro de camino. El resultado de dicha sumatoria se expresa en metros por kilómetro (m/km)⁴.

Sayers, Gillespie y Queiroz (1986) clasificaron en 4 clases los distintos métodos que podían ser utilizados en la medición del IRI tomando en consideración qué tan directamente sus medidas corresponden al IRI que a su vez afecta a los requisitos de calibración y la precisión asociados a su uso, a saber⁵:

- i) Clase 1 – Perfiles de precisión: Se mide el perfil longitudinal de la huella, tomando 4 o más mediciones por metro. Tiene los mejores niveles de precisión. Reproducibilidad de 0,3 a 0,5 m/km.
- ii) Clase 2 – Otros métodos perfilométricos: se utilizan perfiles de precisión, pero con menos mediciones por metro o con perfilómetros a mayor velocidad de operación.
- iii) Clase 3 – Estimación del IRI a partir de ecuaciones de correlación: Incluye todos los instrumentos de medición de rugosidad capaces de generar un número de rugosidad razonablemente correlacionado con el IRI. Estos requieren ser calibrados utilizando aparatos clase 1 o 2. Reproducibilidad de 0,5 m/km a 1,0 m/km.
- iv) Clase 4 – Calificación subjetiva y mediciones no calibradas: Evaluaciones subjetivas a partir del paso por la vía o de una inspección visual realizada. También se incluye la medición de la rugosidad con instrumentos no calibrados. Precisión no menor a 2 m/km.

⁴ Para mayor información acerca del cálculo del IRI referirse a Sayers et al. 1986

⁵ Para mayor información referirse a Sayers et al. 1986, capítulo 4: *Selection of an International Roughness Index*.

A partir de esta experiencia del Banco Mundial, la utilización del IRI como indicador del grado de serviciabilidad de una vía ha tomado cada vez más fuerza, hasta convertirse en el principal indicador de la rugosidad de caminos y carreteras.

La importancia del IRI radica también en que es un buen indicador de la condición del camino ya que sintetiza de buena forma los deterioros mayores que sufre un pavimento (García, 1993; Al-Omari y Darter, 1995; Dewan y Smith, 2002), además de ser el mayor determinante de los costos de usuario de una vía (Archondo-Callao, 2004). Además de la importancia que tiene el establecimiento de una rugosidad umbral, por cuanto permite otorgar ciertos estándares de confort a los usuarios y al mismo tiempo disminuir los costos de operación vehicular, existen otras dos razones por las cuales las agencias debieran preocuparse por controlar y mantener niveles de rugosidad controlados:

- La rugosidad es uno de los elementos más determinantes en la seguridad de una vía, junto con la geometría y la adecuada señalización (Caldwell y Wilson, 1996)
- El hecho de conducir sobre caminos muy rugosos produce el efecto conocido como *whole-body-vibration* (WBV), de características adversas para el cuerpo humano (Granlund, J., 2000)

Con respecto a los órdenes de magnitud de la medida de IRI, a diferencia de los caminos pavimentados, en los no pavimentados se tiene un rango mayor de magnitudes de IRI⁶, producto de que los niveles de deterioro permisibles para los primeros son mucho más estrictos que para los segundos (Sayers et al., 1986), principalmente porque la causa que motivó su pavimentación fue el alto tránsito presente. Por lo tanto, se requerirán métodos de medición más precisos para los caminos pavimentados que para los no pavimentados.

⁶ En el Anexo B se muestra la descripción de la rugosidad que realiza Sayers para caminos pavimentados y no pavimentados.

Por todo lo explicado en la presente sección, se puede decir que el IRI es un buen índice que indica tanto la condición de deterioro de un camino no pavimentado como el nivel de serviciabilidad, el método para obtenerlo no requiere de tener gran precisión y su medición es importante.

Por otra parte, se cuenta con antecedentes tales como un estudio realizado por Al-Omari y Darter (1995) dedicado a determinar el efecto de los tipos de deterioro de los pavimentos en el valor de IRI registrado y la rehabilitación. En él se indica que grandes magnitudes de deterioro presente en un camino están altamente correlacionadas con el IRI registrado. Al mismo tiempo, el estudio determina una expresión matemática (de alta correlación) entre el IRI y el PSR (determinado por un panel de expertos). También correlaciona al PSR con las necesidades de reparación determinada por los usuarios. Por lo tanto, lo que se realiza es una correlación entre los deterioros y las necesidades de reparación de un camino⁷. Es precisamente lo anterior lo que se intentará realizar con la presente investigación, pero con dos diferencias sustanciales: (i) el trabajo se enfocará en caminos no pavimentados y (ii) se utilizará una metodología más sencilla.

I.2 Importancia de la investigación

Las mediciones de IRI con equipos de clase 1 a 3 pueden resultar muy rápidas y certeras, sin embargo, no todas las agencias tienen estos instrumentos. De hecho, el Laboratorio Nacional de Vialidad del MOP, en Chile, cuenta tan solo con 2 rugosímetros tipo respuesta (Medidor de Irregularidad Superficial, MIS-4, correspondiente a un rugosímetro clase 3), con los cuales anualmente se realizan mediciones en aproximadamente 15.000 km. de la red vial nacional, lo que provoca que no exista la capacidad técnica de poder realizar mediciones regularmente en los 60.000 km. de caminos no pavimentados. Además, al obtener el IRI mediante una evaluación subjetiva tradicional (clase 4), se está dependiendo del criterio de un evaluador, pudiendo ser este

⁷ En la introducción del capítulo 2 se encuentra mayor detalle de la investigación referida

muy variable. Por lo anterior es que resulta útil una metodología alternativa que permita, con instrumentos simples, estimar el IRI de una manera lo menos subjetiva posible.

Con una medición o estimación del IRI se pueden detectar necesidades de acciones de conservación sobre la carpeta, mediante el establecimiento de umbrales de conservación según las características de los caminos, con el objetivo de dar a cada camino el estándar que se merece.

Esto último es la importancia principal de la investigación: poder contar con una herramienta que permita asegurar un estándar mínimo a los caminos no pavimentados, o al menos, que se tenga claro cual es la rugosidad objetivo de los caminos componentes de la red vial no pavimentada.

I.3 Hipótesis

Es posible obtener una metodología simple que permita estimar el IRI a partir de los deterioros presentes en un tramo de un camino y poder utilizar esta cifra para determinar la necesidad de realizar actividades de conservación, mediante el establecimiento de umbrales de intervención para cada tipo de vía no pavimentada.

I.4 Objetivo de la Tesis

De acuerdo con la hipótesis propuesta, el objetivo general de esta investigación consiste en obtener dicha metodología de estimación de IRI con el objeto de determinar las necesidades conservación en caminos no pavimentados.

Para cumplir el objetivo general, es necesario dar cumplimiento a los siguientes objetivos específicos:

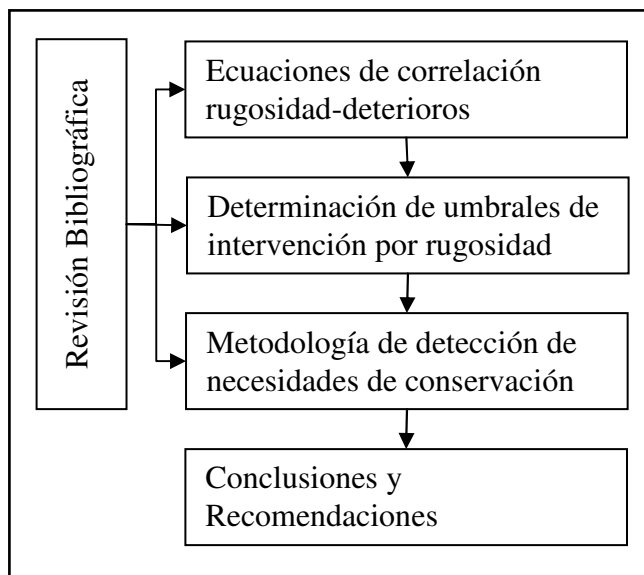
- i) Obtener ecuaciones de correlación entre los deterioros y el IRI de un tramo de camino.

- ii) Obtener umbrales de intervención según categorías de caminos existentes, basado en la rugosidad.

I.5 Metodología de trabajo

La metodología para llevar a cabo la investigación fue dividida en 5 partes: primero se realizó una revisión bibliográfica, luego se determinaron las ecuaciones de correlación entre los deterioros y el IRI de un camino, a continuación se establecieron los umbrales de intervención. Con los resultados obtenidos en las etapas anteriores se desarrolló una metodología sencilla para la detección de necesidades de conservación y finalmente se escribieron las conclusiones y recomendaciones producto del trabajo realizado. La Figura I-2 muestra un esquema con la secuencia de la metodología de trabajo.

Figura I-2: Esquema de la metodología de trabajo utilizada



a) Revisión bibliográfica

Se realizó una profunda revisión bibliográfica, la cual se continuó realizando mientras duró la investigación dado que fue necesario incluir aspectos que no se tenían

considerados en un principio. Luego la investigación se dividió en dos partes: la primera en que se desarrolló las ecuaciones de correlación de los deterioros con la rugosidad (IRI), y la segunda, en la cual se definieron los umbrales de intervención.

b) Ecuaciones de correlación:

Se realizó una campaña de obtención de datos de terreno consistente en:

- i) Inspección visual de deterioros propios de los caminos (baches, calaminas, ahuellamiento, erosión, material suelto, etc.)
- ii) Medición de IRI (utilizando rugosímetro tipo respuesta)
- iii) Obtención de otros datos que pudieron resultar relevantes (ancho calzada, calidad del drenaje, etc.)

Luego, siguió una etapa de análisis previo de los datos de terreno, para verificar que eran consistentes, para luego, eliminar series de datos y/o realizar una segunda toma de datos en terreno. Dicha información se procesó y analizó estadísticamente, de manera de poder establecer una expresión matemática para ligar a los deterioros con el IRI.

c) Umbrales de intervención

Se diseñó un experimento acorde con recomendaciones encontradas en tesis anteriores y documentos de estadística. Se confeccionó una encuesta tipo y se seleccionó a los posibles encuestados.

A continuación se aplicó la encuesta a los expertos y se realizó un análisis previo de los resultados de las encuestas, con el fin de eliminar datos inconsistentes.

Se realizó un análisis estadístico de los datos considerados y luego se determinaron los umbrales según tipo de camino.

d) Metodología para la detección de necesidades

Se elaboró una metodología simple que, reuniendo los resultados de las etapas anteriores, permitiera detectar necesidades de conservación en tramos de caminos no pavimentados. El principio de esta metodología consistía en comparar la rugosidad observada en los caminos y con la rugosidad esperada en ellos.

e) Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente, fueron elaboradas las conclusiones respecto al trabajo realizado, además de recomendaciones para la aplicación de la metodología y para el mejoramiento de ésta.

I.6 Estructura de la Tesis

En este primer capítulo se define el marco teórico bajo el cual se ha desarrollado la presente investigación, además se ha mencionado cuales serán los objetivos de la misma. El segundo capítulo está dedicado a definir una metodología simple que permita estimar la rugosidad a partir de los deterioros de un camino no pavimentado, además de la aplicación de ésta para la determinación de una ecuación de correlación entre dichos deterioros y el IRI. En el tercer capítulo se detalla la metodología a utilizar para la obtención de umbrales de intervención para caminos no pavimentados, junto con la aplicación de dicha metodología y los umbrales encontrados para la realidad nacional. El cuarto capítulo recoge el resultado de los capítulos 2 y 3, de manera de sintetizarlos y utilizarlos para la proposición de una “Metodología simplificada para la detección de necesidades de mantenimiento en caminos no pavimentados”, además se describe un caso de la aplicación de esta metodología. Finalmente en el quinto capítulo se realizan las conclusiones generales del estudio, así como algunas recomendaciones para la aplicación de la metodología propuesta.

I.7 Alcance del estudio

Las ecuaciones de correlación entre los deterioros y el IRI solo tienen validez en rangos de deterioro bajo y regular, dado que fue difícil encontrar tramos con muchos deterioros con alto grado de severidad. Las ecuaciones que relacionan la rugosidad umbral con las características de los caminos son válidas sólo para caminos con bajo volumen de tránsito. En los respectivos capítulos se define qué se entiende por bajo volumen de tránsito y por deterioro bajo y regular.

II ESTIMACIÓN DEL IRI A PARTIR DE LOS DETERIOROS

II.1 Introducción

Para la estimación de la rugosidad en caminos no pavimentados se determinó una ecuación que de correlación del IRI con los deterioros. Esto se realizó debido a que existe evidencia de que ciertos deterioros afectan la calidad de rodadura en los caminos no pavimentados, además de la existencia de algunas expresiones lineales de correlación entre el IRI y ciertos deterioros en caminos pavimentados. En la presente sección introductoria se justifican estas aseveraciones además de profundizar sobre estos tópicos.

II.1.1 Antecedentes Generales

Son conocidas dos formas de estimar el IRI, en donde la rugosidad puede ser obtenida mediante:

- i) Una evaluación a grandes rasgos de los deterioros (Sayers et al., 1986)
- ii) Una estimación de la velocidad de circulación de los vehículos que transitan por el camino (Watanadata et al., 1987)

Tal como lo menciona Archondo-Callao (1999), estos dos métodos tienen dos grandes defectos que se listan a continuación:

- i) La evaluación a grandes rasgos de los deterioros tiene una precisión de un 30% a un 40% (errores entre 2 y 6 m/km) según si el observador es experimentado o novato.
- ii) Si la velocidad de circulación está gobernada por otros factores como la curvatura horizontal, vertical, potencia del motor u otros factores externos a la rugosidad del camino, el método que utiliza esta medida, queda invalidado.

En el Anexo C se encuentra la descripción que hace Archondo-Callao sobre ambos métodos, notar la inmensa subjetividad propia de ambos métodos. Por lo tanto, se hace necesario estimar de una manera alternativa el IRI de un camino no pavimentado que sea independiente de las características geométricas del camino y que ofrezca errores típicos menores al 30%-40%.

Tomando en cuenta que en la mayor parte de los caminos no pavimentados no se realizan mediciones de IRI constantemente, debido a la carencia de equipos especializados y considerando que recientemente el MOP ha desarrollado una metodología de inspección visual con el objetivo de realizar dicho ejercicio para este tipo de caminos (MOP, 2008), el presente capítulo estará dedicado a determinar una expresión que permita aprovechar los resultados de la inspección visual para la estimación del IRI con el objetivo de utilizar este valor como un indicador de las necesidades de conservación del mismo.

Por lo tanto, para la estimación del IRI a partir de los deterioros presentes en un camino no pavimentado, será necesario encontrar una expresión de correlación entre ellos. En este capítulo se desarrolla una expresión que correlaciona de la mejor forma posible algunos de los deterioros de un camino con la rugosidad (IRI), basándose en la experiencia internacional previa para el caso de caminos pavimentados.

Vale la pena recalcar que independientemente de los fines de este estudio, la conveniencia de realizar una inspección visual radica en que el tipo de intervención que se le practique a un camino dependerá del origen del deterioro. Esto implica que si bien se tiene solo un par de alternativas de conservación, puede ser necesario un tipo de tratamiento de mayor nivel (como una estabilización) en casos en que cierto tipo de deterioro sea persistente. Tal como puede verse en el Anexo A, el Manual de Carreteras recomienda realizar determinada actividad de acuerdo al deterioro que se quiera subsanar.

II.1.2 El IRI y su relación con los deterioros

Tal como se mencionó en el subcapítulo de introducción, existen algunas investigaciones dedicadas a obtener correlaciones entre el IRI y los deterioros de los caminos pavimentados (tanto rígidos como flexibles) y que servirán para orientar la búsqueda de la correlación a obtener en el presente estudio:

- i) Al-Omari y Darter (1995): El experimento consistió en construir secciones de pavimentos rígidos y flexibles, que tuvieran distintos niveles de deterioro (desde muy leves hasta muy severos) y con distintas combinaciones de estos. Luego a dichas secciones se les midió el IRI, utilizándose este valor para obtener el PSR de la sección a través de una expresión desarrollada anteriormente:

$$PSR = 5 \cdot e^{(-0,0026 \cdot IRI)}$$

A continuación se desarrolló un modelo para estimar el PSR a partir de los deterioros presentes. Para los pavimentos flexibles, la ecuación encontrada fue la siguiente ($R^2 = 92\%$):

$$PSR = 4,95 - 0,685 \cdot D - 0,334 \cdot P - 0,051 \cdot C - 0,211 \cdot RD$$

Donde: D = número de depresiones cada 50m.

P = baches cada 50m.

C = grietas transversales cada 50m.

RD = profundidad de ahuellamiento en mm.

Para los pavimentos rígidos, la ecuación encontrada fue la siguiente ($R^2 = 91\%$):

$$PSR = 4,114 - 0,01083 \cdot S - 0,00949 \cdot TC - 0,22667 \cdot F$$

Donde: S = Desconche de la junta de alta severidad

TC = grietas transversales de alta severidad

F = Escalonamiento de la junta en mm.

- ii) Dewan y Smith (2002): El experimento consistió en medir 45 variables predictoras del IRI en 39 tramos. Dichas 45 variables fueron 21 modos de deterioro (7 tipos de deterioro con 3 niveles de severidad), 21 valores deducibles de cada uno de estos tipos de deterioro, el PCI, y dos valores deducidos dependientes de las cargas. A continuación se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, mediante el cual se determinó que el IRI podía ser explicado en un 81% por el agrietamiento tipo piel de cocodrilo, agrietamiento en bloques, grietas longitudinales y transversales, baches de baja severidad, desgaste de la superficie, PCI y los valores deducidos dependientes de las cargas, con un R^2 igual a 81%.
- iii) Lin et al. (2003): El experimento consistió en utilizar redes neuronales para obtener la correlación existente entre el IRI y cada uno de los tipos de deterioro presentes en 100 secciones de 1km cada una (tanto inspección como medición de IRI se realizó en el kilómetro completo). Se encontró que los baches severos, los baches para ductos, los parches y el ahuellamiento tienen la mayor correlación con el IRI. Los agujeros causados por humanos, el stripping y las calaminas tienen menos correlación con el IRI. Y el agrietamiento, el agrietamiento de fatiga y la exudación tienen la menor correlación. Todas las regresiones dieron R^2 entre 50% y 95%, presentado ajustes lineales.

Como se puede apreciar, los modelos antes descritos presentan buenos ajustes en general y son obtenidos con expresiones lineales. Por esta razón y dado que no se han encontrado investigaciones que cubran este tema en cuanto a los caminos no pavimentados, para el caso del presente estudio se probará la existencia de una relación lineal entre el IRI y los deterioros.

Respecto a las vías no pavimentadas, existe una gran gama de deterioros encontrados en los caminos no pavimentados: ahuellamiento, baches, calaminas, drenaje, bombeo deficiente, erosión y polvo (Eaton y Beaucham, 1992; García, 1993; Jones y Paige-Green, 2000; Giummarra, 2003; The World Bank, 2005).

Si bien no se encontraron estudios directamente dirigidos a establecer una expresión entre el IRI y estos deterioros en caminos no pavimentados, se encontraron algunos documentos que aportan valiosa información al respecto:

- i) De acuerdo a la experiencia acumulada por el Banco Mundial (The World Bank, 2005) este indica que la rugosidad es función de los baches, las calaminas y las piedras incrustadas.
- ii) Por otra parte, Jones y Paige-Green (2000) mencionan que aquellos deterioros que afectan la calidad de rodadura, y por consiguiente la rugosidad, son: ahuellamiento, baches, calaminas, erosión, material suelto (piedras sueltas, ϕ menor a 26 mm.) y material grueso (piedras incrustadas, ϕ mayor a 37.5 mm.).
- iii) Un estudio de la Universidad de Chile (García, 1993) encontró, para caminos no pavimentados, cierta relación entre la calificación asociada a una inspección visual y la calificación asociada a la rugosidad medida en este. El experimento consistió en la inspección visual y medición de la rugosidad de 31 tramos testigo de tierra y ripio. A dichos tramos se les evaluó subjetivamente 5 tipos de deterioro (ahuellamiento, corrugación, deterioro del perfil, grietas de erosión y baches) en cuanto a su severidad y extensión, obteniéndose un puntaje total que resume la condición en que se encuentra el tramo. Posteriormente a cada tramo se le midió la rugosidad con el rugosímetro NAASRA. Si bien el estudio indica cierta relación entre la condición producto de una inspección visual y la condición basada en

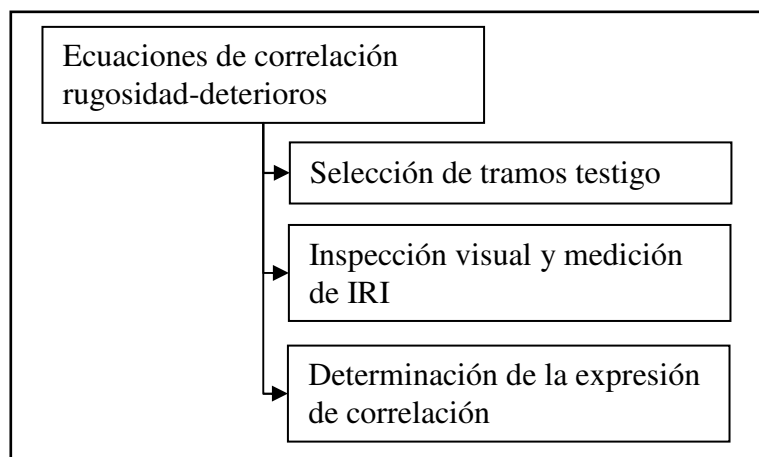
el IRI, éste no es concluyente en cuanto a la relación directa que tienen el IRI y los deterioros detectados en la inspección visual (no se determina una ecuación de correlación entre ambas).

Tomando en consideración los estudios anteriores, se observa que existe consenso en que los principales deterioros que afectan la rodadura son: ahuellamiento, baches, calaminas, erosión y material grueso. Por lo tanto, serán estos los deterioros a considerar en este estudio.

II.2 Metodología de trabajo

Para encontrar la correlación entre los deterioros y el IRI se utilizó la siguiente metodología: Primero se seleccionaron algunos tramos testigo. Luego fueron inspeccionados visualmente, y se les midió el IRI. Finalmente se determinó una expresión para la correlación entre ambas medidas. En la Figura II-1 se esquematiza la metodología de trabajo.

Figura II-1: Metodología de trabajo para la determinación de la expresión de correlación IRI-deterioros



II.3 Diseño experimental

El diseño experimental se realizó siguiendo la metodología presentada en el documento “Metodología estadística para el estudio y evaluación de aspectos técnicos en la construcción” (de Solminihac, 1987). En el documento se describen los ítems a definir para obtener un adecuado diseño experimental. Según este, el diseño consta de la definición de: la variable dependiente, las variables independientes y sus niveles, el espacio de inferencia, la cantidad de réplicas, la metodología de análisis de datos, la metodología de toma de datos. En las siguientes secciones se presenta el diseño experimental para encontrar la(s) expresión(es) que correlacionen al IRI con los deterioros.

II.3.1 Variable dependiente

La variable dependiente corresponde a la rugosidad de un camino que tiene distintos tipos de deterioro. Esta medida se utiliza como una cuantificación del nivel de serviciabilidad de una vía.

II.3.2 Variables independientes y sus niveles

Para la definición de las variables independientes fue necesario realizar una revisión bibliográfica, de esta forma se determinaron los deterioros a medir para intentar explicar la variable dependiente. Tal como se mencionó anteriormente, las variables independientes consideradas fueron: ahuellamiento, baches, calaminas, erosión y material grueso.

Para la definición de los niveles de variación, se realizó una adaptación de los criterios planteados por Jones y Paige-Green (2000), Eaton y Beaucham (1992) y Roohanirad (2000), estableciéndose los niveles de variación que se presentan en la Tabla II-1.

Tabla II-1: Nivel de variación de las variables independientes.

Deterioro	Nivel		
	Bajo	Medio	Alto
Ahuellamiento (profundidad en cm.)	< 2	2 - 4	> 4
Baches (profundidad en cm.)	< 2	2 - 5	> 5
Calaminas (profundidad en cm.)	< 2	2 - 5	> 5
Erosión (profundidad en cm.)	< 1	1 - 5	> 5
Material suelto (diámetro medio cm.)	< 2	2 - 4	> 4

Como producto de esta sección se obtiene el factorial de escenarios posibles, detallado en la Figura II-2. Este factorial debió poderse completar, en la medida de lo posible, con las mediciones a efectuadas en terreno.

Figura II-2: Factorial de escenarios posibles.

Ahuellamiento			Bajo			Medio			Alto		
Material Grueso			Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Erosión	Calaminas	Baches									
Bajo	Bajo	Bajo									
		Medio									
		Alto									
	Medio	Bajo									
		Medio									
		Alto									
	Alto	Bajo									
		Medio									
		Alto									
Medio	Bajo	Bajo									
		Medio									
		Alto									
	Medio	Bajo									
		Medio									
		Alto									
	Alto	Bajo									
		Medio									
		Alto									
Alto	Bajo	Bajo									
		Medio									
		Alto									
	Medio	Bajo									
		Medio									
		Alto									
	Alto	Bajo									
		Medio									
		Alto									

II.3.3 Espacio de inferencia

El espacio de inferencia está restringido por la diversidad de escenarios encontrados en los caminos inspeccionados. Dado que se tienen recursos restringidos, sólo fue inspeccionada una cantidad limitada de caminos, restringiendo al mismo tiempo la cantidad de escenarios a incluir en el estudio y por lo tanto, el espacio de aplicabilidad de los resultados del estudio. Como se puede ver en la Figura II-2, se tiene un total de 243 (3 elevado a 5) escenarios posibles, sin embargo no se dispuso de los recursos necesarios para efectuar tal cantidad de mediciones en tramos testigo.

II.3.4 Cantidad de réplicas

Tal como se recomienda en la literatura, es conveniente contar al menos con 2 ó 3 réplicas por escenario. Sin embargo, además de la restricción de recursos, se tiene otra limitante: debido a que no se cuenta con información de los deterioros en la fase previa a la inspección, solo una vez inspeccionado el camino es posible determinar a cual escenario corresponde cada camino, provocando que algunos escenarios tengan excesiva cantidad de datos (más de 3), en desmedro de los que tienen 1 o ningún dato.

II.3.5 Metodología de análisis de datos

Para el análisis de datos se realizó un ANOVA con todas las filas de datos registrados, sin ser agrupados. Además, se realizó un Análisis de Varianza del tipo Modelo Lineal General (ANOVA tipo GLM) con los datos agrupados según escenarios. Además se realizaron Análisis de Regresión con el objetivo de establecer relaciones funcionales entre los deterioros y la rugosidad del camino.

II.3.6 Metodología de toma de datos

La medición de IRI se realizó con el Equipo *Bump Integrator*, un rugosímetro Clase III. En palabras simples, el equipo consiste en un cable que une el piso de la carrocería de un vehículo con el sistema de suspensión del mismo. Este cable se enrolla y desenrolla con ayuda de un resorte rotacional, con los “saltos” que experimenta el sistema de amortiguación. Estas variaciones angulares del resorte rotacional son acumuladas en la aplicación computacional del Equipo y son interpretadas por este como las variaciones verticales del sistema de amortiguación. El programa entrega una medida de “cuentas por kilómetro”. Posteriormente, mediante una ecuación de regresión calibrada, estas cuentas son convertidas a unidades de “metros por kilómetro”, es decir, IRI (DCL, 2001). Este equipo se ha utilizado ampliamente alrededor del mundo, contando actualmente con 200 sistemas en uso en más de 50 países. En la Figura II-3 se muestra la forma en que se instala el rugosímetro *Bump Integrator* en el vehículo de medición. En el Anexo D se realiza una breve descripción acerca del funcionamiento del rugosímetro.

Figura II-3: Instalación del Bump Integrator en el vehículo

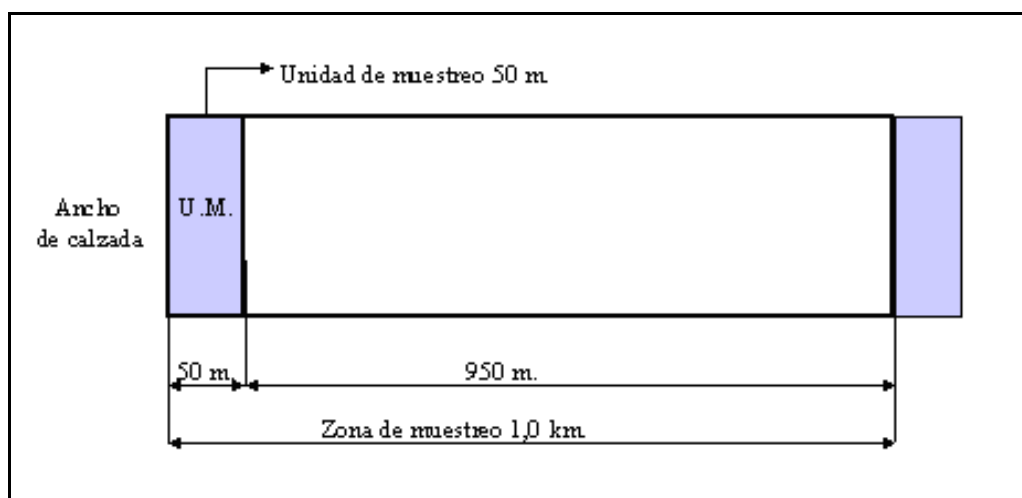


Fuente: Bennet, 2001

Por otra parte, la medición de los deterioros fue llevada a cabo utilizando como base la “Metodología de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados” desarrollada por la Dirección de Vialidad mediante un estudio básico (MOP, 2008). La presente investigación representa el primer uso práctico que tiene esta Metodología, cuyas principales herramientas son un Instructivo y una Ficha de Inspección Visual. En el Anexo E se encuentra tanto un resumen del instructivo utilizado como la ficha de inspección mencionada. El objetivo de dicha metodología es cuantificar los deterioros y otras características básicas de los caminos no pavimentados mediante la inspección visual de unidades muestrales representativas, para identificar el nivel de deterioro y soportar la toma de decisiones de mantenimiento de la infraestructura vial.

Luego, la medición en cada tramo testigo consistió en registrar los deterioros presentes en los primeros 50 metros del tramo (Unidad de muestreo) siguiendo la metodología de Inspección Visual señalada. A continuación se realizó la medición del IRI, con el equipo *Bump Integrator*, a lo largo de todo el tramo testigo (Zona de muestreo). En la Figura II-4 se muestra un esquema que identifica ambos conceptos.

Figura II-4: Identificación de la Unidad y Zona de muestreo de un tramo testigo.



Fuente: MOP, 2008.

II.4 Toma de datos – Recolección de datos de terreno

La toma de datos se realizó en dos rondas, realizando simultáneamente la medición de IRI y la inspección visual en cada una de ellas. En la primera ronda, realizada en enero de 2008, se registraron 45 tramos testigo tanto de tierra como de ripio, entre las regiones III y VIII. En la segunda ronda, realizada en mayo de 2008, se registraron otros 16 tramos testigo, ubicados exclusivamente en la Región Metropolitana. En dicha inspección se intentó cubrir aquellos escenarios que no fueron cubiertos en la primera ronda (los de mayor deterioro). En la Figura II-6 y la Figura II-7 se muestran fotografías de las mediciones realizadas. En las siguientes secciones los resultados de ambas rondas se presentan en conjunto. En la Figura II-5 se muestra un mapa con la distribución geográfica de los tramos testigo.

Figura II-5: Distribución geográfica de los tramos testigo

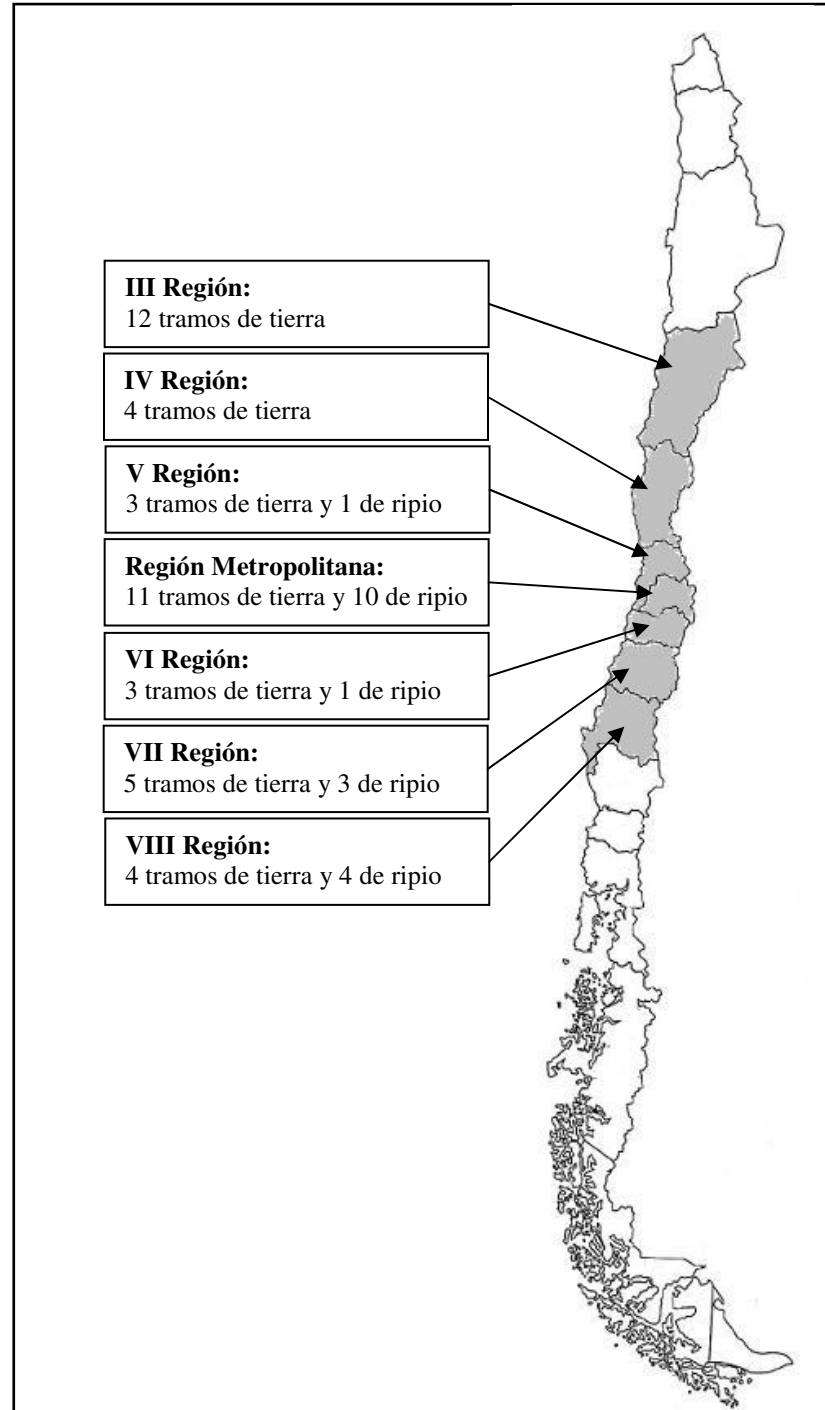


Figura II-6: Medición de IRI, Bump Integrator montado en camioneta Hyundai H1.



Figura II-7: Inspección Visual, medición del ahuellamiento con regleta AASHTO.



II.5 Resultados de la metodología propuesta

Durante las dos campañas se realizaron 61 registros de tramos testigo. Con las 61 mediciones realizadas en el mejor de los casos se podría haber completado un cuarto de los escenarios propuestos como posibles (243). Sin embargo, en la práctica fueron cubiertos sólo 23 de ellos (10%). Esta es la principal limitación de la investigación. La

matriz factorial presentada en la Figura II-8 ilustra la cantidad total de réplicas para cada escenario.

Figura II-8: Cantidad total de réplicas para cada escenario.

Ahuellamiento			B			M			A		
Material. Grueso			B	M	A	B	M	A	B	M	A
Erosión	Calaminas	Baches									
B	B	B	7	4	5	6	1	1			
		M	1	2	4		2	1			
		A									2
	M	B	5	4	3	3		2			
		M		2	2			1			
		A									
	A	B									
		M									
		A									
M	B	B					1				
		M						1			
		A			1						
	M	B									
		M									
		A									
	A	B									
		M									
		A									
A	B	B									
		M									
		A									
	M	B									
		M									
		A									
	A	B									
		M									
		A									

Se puede observar que gran parte de las celdas del factorial se encuentran vacías, lo que corresponde a la misma limitante que advirtieron Dewan y Smith (2002) en su investigación para caminos pavimentados. En su trabajo, se encontraron con que los caminos de su trabajo no permitían llenar el universo de escenarios posibles. Por el contrario, Al-Omari y Darter (1995), de los 81 escenarios que determinaron como posibles, tuvieron datos de IRI para los 81. Esto último debido a que tuvieron la oportunidad de poder construir las 81 secciones de pavimento necesarias (cada sección medía 50 metros, lo que implicó la construcción de más de 4 km de tramos construidos).

Los escenarios representados por los tramos testigo fueron principalmente con bajo nivel de deterioro. De esta forma, se puede decir que el espacio de inferencia del presente

capítulo se extiende a caminos que tienen deterioros menores a los presentados en la Tabla II-2.

Tabla II-2: Rango de variación de los deterioros encontrados

Deterioro	Valor máximo
Ahuellamiento (profundidad en cm.)	7
Baches (profundidad en cm.)	8
Calaminas (profundidad en cm.)	3,5
Erosión (profundidad en cm.)	4
Material suelto (diámetro medio cm.)	60

Para evitar un desbalance extremo en los análisis posteriores, se decidió eliminar la variable “erosión”, así como el nivel “alto” para las variables “calaminas” y “ahuellamiento”, concentrándose el estudio en el sector superior izquierdo del factorial inicial. De esta forma el nuevo factorial quedó de la forma en que se ilustra en la Figura II-9.

Figura II-9: Factorial final del experimento.

Ahuellamiento		B			M		
Material. Grueso		B	M	A	B	M	A
Calaminas	Baches						
B	B	7	4	5	6	2	1
	M	1	2	4		2	2
	A			1			2
M	B	5	4	3	3		2
	M		2	2			1
	A						

De esta manera se obtiene un total de 36 escenarios posibles de los cuales pudieron ser cubiertos 21 de ellos (58% de cobertura).

El detalle de las mediciones de todos los deterioros encontrados y de las mediciones de IRI para el tramo completo y para la Unidad Muestral (U.M.) se encuentra en el Anexo F.

II.6 Análisis de Datos

Para el análisis de los datos, se utilizó la metodología presentada por de Solminihaç (1987). El análisis consta de cinco pasos: creación de una base de datos, verificar que las hipótesis para el análisis estadístico se cumplen (normalidad y homogeneidad de varianzas), realizar un análisis de varianza, realizar análisis posteriores (promedios, regresiones, etc.) e interpretar los resultados. Cada uno de los pasos seguidos se detalla en las secciones posteriores.

II.6.1 Creación de la base de datos

Para realizar el análisis estadístico sin agrupar los datos por escenarios (análisis individual), se generó una base de datos con los resultados de la inspección visual y de la medición de IRI. Este registro sirvió para tener comodidad en el manejo de los datos para el análisis estadístico. Por cuestión de espacio, la base de datos completa se presenta en formato de planilla de cálculo en el Anexo F. Respecto de la medición del IRI, se anotó en la base de datos no solo el IRI del tramo completo, en general de 1 kilómetro, sino que también el IRI de la Unidad Muestral (primeros 50 metros).

Para realizar el análisis estadístico con los datos agrupados por escenario (análisis con escenarios), fue necesario promediar los valores obtenidos de las distintas réplicas con que contaba cada uno. En la Figura II-10 se presenta el factorial final relleno con el IRI promedio de todas las réplicas correspondientes a cada escenario.

Figura II-10: Factorial relleno con IRI promedio según escenario.

Ahuellamiento		B			M		
Material. Grueso		B	M	A	B	M	A
Calaminas	Baches						
B	B	5,6	7,4	10,9	7,4	5,8	7,4
	M	5,3	6,7	11,1		9,4	8,0
	A			14,4			21,5
M	B	8,8	9,4	8,1	12,6		11,9
	M		10,0	9,7			6,2
	A						

Se observa, a simple vista, que el aumento en el nivel de deterioro no siempre produce el resultado esperado, es decir, efectos negativos en el IRI del tramo. Este fenómeno se verá con mayor detalle y se cuantificará en la sección de Análisis de Varianza y de Regresión.

II.6.2 Verificación de las hipótesis para el análisis estadístico

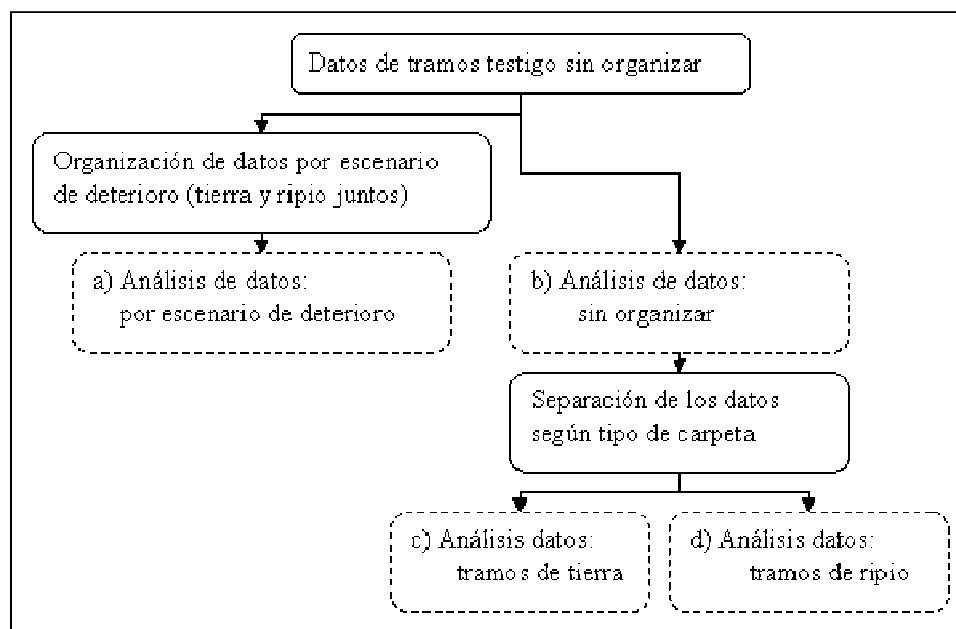
Tal como se ha mencionado anteriormente, muchos de los tramos mostraban algunos deterioros con severidad nula. Por este motivo, al ser sometidas las variables a los test de Normalidad de Ryan-Joiner (similar a Shapiro-Wilk) y Anderson-Darling (Minitab Inc., 2005) resultó que a muchas de las variables independientes les fue rechazada la hipótesis de distribución normal. Se intentó corregir el problema realizando transformaciones a los datos, sin embargo, por la característica del problema esto no fue logrado. Al respecto, para los análisis posteriores fueron eliminadas las variables relacionadas con la erosión, debido a que solo en 3 de los 61 tramos testigo fue registrado dicho deterioro.

II.6.3 Análisis estadístico de datos

Tal como se mencionó anteriormente, el análisis estadístico de los datos fue realizado de dos formas diferentes: “análisis con los datos organizados según los escenarios propuestos” y “sin los datos organizados por escenario”. Al mismo tiempo, este último análisis se realizó separando los análisis de los tramos de tierra de los de ripio, y no

haciendo esto. La Figura II-11 explica de mejor forma el detalle de los análisis realizados.

Figura II-11: Análisis estadístico realizado a los tramos testigo.



Para realizar los análisis estadísticos de los 61 datos de tramos testigo se utilizó el programa estadístico MINITAB (Minitab Inc., 2003). En adelante, se hará referencia a las abreviaturas de los deterioros de la misma forma en que aparecen en la base de datos:

- Ahue_prof = profundidad media del ahuellamiento [cm]
- Bach_prof = profundidad media de los baches [cm]
- Bach_diam = diámetro medio de los baches [cm]
- Bach_num = cantidad estimada de baches dentro de la U.M.
- Cala_prof = profundidad media de la calamina [cm]
- Matg_tama = tamaño medio del material grueso suelto en la U.M. [cm]
- Eros_prof = profundidad media de la erosión de todo el tramo [cm]
- Eros_anch = ancho medio de la erosión de todo el tramo [cm]
- IRI = IRI del tramo completo (1 km.)

a) Análisis de datos por escenario de deterioro

No se realizó una separación entre los tramos de tierra y los de ripio, ya que la matriz factorial quedaba muy incompleta en ambos casos. Por esta razón, se realizó un ANOVA para el factorial completo, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla II-3. Allí se puede observar que las variables que mejor explican el IRI del tramo son la profundidad media de los baches y la profundidad media de las calaminas (menor valor-p).

Luego, fueron eliminadas las variables con poca significancia⁸, es decir, tamaño del material grueso y profundidad media del ahuellamiento, realizándose nuevamente un ANOVA, el cual se muestra en la Tabla II-4.

Tabla II-3: ANOVA de la variable IRI con las 4 variables independientes

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Ahue_prof	1	5,913	3,425	3,425	0,56	0,467
Matg_tama	2	40,144	3,349	1,674	0,27	0,765
Cala_prof	1	0,309	14,499	14,499	2,36	0,147
Bach_prof	2	138,942	138,942	69,471	11,32	0,001
Error	14	85,930	85,930	6,138		
Total	20	271,238				
S = 2,47747 R-Sq = 68,32% R-Sq(adj) = 54,74%						

⁸ El nivel de significancia utilizado para todos los análisis estadísticos realizados en el presente capítulo fue de $\alpha = 0,15$.

Tabla II-4: ANOVA de la variable IRI con las 2 variables más significativas

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Cala_prof	1	0,409	15,632	15,632	2,83	0,111
Bach_prof	2	177,070	177,070	88,535	16,05	0,000
Error	17	93,759	93,759	5,515		
Total	20	271,238				
S = 2,34845 R-Sq = 65,43% R-Sq(adj) = 59,33%						

El modelo de regresión lineal propuesto con este último Análisis de Varianza aparece en la Ecuación II-1. Esta ecuación de regresión tiene un coeficiente de determinación un poco mayor y un error típico un poco menor que el modelo con las 4 variables, por lo tanto es el modelo de mejor ajuste según estos criterios utilizados.

$$\text{IRI} = 12,05 - 0,92 \text{ Cala_prof_B} + 6,82 \text{ Bach_prof_A} - 3,30 \text{ Bach_prof_B}$$

$$\text{Ecuación II-1 (R}^2_{\text{ajust}} = 59,3\% ; \text{error típico} = 2,35)$$

Donde: Cala_prof_B = 1 si el nivel de calamina es bajo y 0 en otro caso

Bach_prof_A = 1 si el nivel de la profundidad de baches es alto y 0 en otro caso

Bach_prof_B = 1 si el nivel de la profundidad de baches es bajo y 0 en otro caso

b) Análisis de datos sin organizar por escenarios

Para la clasificación de los caminos por escenario, se realizó considerando las 5 variables tomadas de la literatura, sin embargo, en la práctica, para evaluar el nivel de deterioro de los baches, no sólo se consideró la profundidad, sino que también el ancho promedio y la cantidad de ellos que había en la Unidad Muestral. En la presente sección se incluyen estas dos variables no consideradas anteriormente, además de una tercera que corresponde al efecto conjunto de las tres medidas realizadas a los baches, formulada como el producto de “ancho * profundidad * número”. A continuación se muestran los análisis estadísticos efectuados:

Análisis estadístico de tramos de tierra y ripio: Se realizó un ANOVA con los datos de tramos de tierra y ripio, juntos, el cual se muestra en la Tabla II-5. El modelo de regresión lineal propuesto con este Análisis de Varianza se muestra en la Ecuación II-2.

Tabla II-5: ANOVA para tramos de tierra y ripio

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,3980	0,8951	8,26	0,000
Cala_prof	0,3844	0,3850	1,00	0,323
Ahue_prof	0,0415	0,3462	0,12	0,905
Matg_tama	0,07324	0,05326	1,38	0,175
Bach_num	-0,14394	0,06704	-2,15	0,036
Bach_diam	0,04640	0,02837	1,64	0,108
Bach_prof	-1,0875	0,7455	-1,46	0,150
Bach_mult	9,896	2,802	3,53	0,001
S = 2,99539 R-Sq = 43,3% R-Sq(adj) = 35,9%				

$$\text{IRI} = 7,40 + 0,384 \text{ Cala_prof} + 0,041 \text{ Ahue_prof} + 0,073 \text{ Matg_tama} - 0,144 \text{ Bach_num} + 0,0464 \text{ Bach_diam} - 1,09 \text{ Bach_prof} + 9,90 \text{ Bach_mult}$$

$$\text{Ecuación II-2 } (R^2_{\text{ajust}} = 35,9\% ; \text{ error típico} = 3,00)$$

Debido a la mala bondad del ajuste, se tenían dudas acerca de la conveniencia de separar los análisis pertenecientes a los tramos de ripio de los de tierra. Para comprobar la significancia de la variable “Tipo de material” se incluyó una variable “Dummie” que la identificara (de abreviatura Rpio_Tier) y se realizó un ANOVA, mostrado en la Tabla II-6. El modelo de regresión lineal propuesto en este Análisis de Varianza se muestra en la Ecuación II-3.

Tabla II-6: ANOVA para tramos de tierra y ripio con variable Dummie.

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6,4965	0,9034	7,19	0,000
Cala_prof	0,5940	0,3704	1,60	0,115
Ahue_prof	-0,0833	0,3292	-0,25	0,801
Matg_tama	0,08216	0,05027	1,63	0,108
Bach_num	-0,15533	0,06328	-2,45	0,017
Bach_diam	0,05859	0,02708	2,16	0,035
Bach_prof	-1,4740	0,7158	-2,06	0,045
Bach_mult	11,686	2,717	4,30	0,000
Rpio_Tier	2,2846	0,8218	2,78	0,008
S = 2,82163 R-Sq = 50,7% R-Sq(adj) = 43,1%				

$$\text{IRI} = 6,50 + 0,594 \text{ Cala_prof} - 0,083 \text{ Ahue_prof} + 0,0822 \text{ Matg_tama} - 0,155 \text{ Bach_num} + 0,0586 \text{ Bach_diam} - 1,47 \text{ Bach_prof} + 11,7 \text{ Bach_mult} + 2,28 \text{ Rpio_Tier}$$

$$\text{Ecuación II-3 } (R^2_{\text{ajust}} = 43,1\% ; \text{ error típico} = 2,82)$$

Además de observarse que el coeficiente de determinación (R^2) aumenta, puede observarse que la segunda variable más significativa es la que mide el tipo de material de la carpeta de rodadura. Por esta razón, en los análisis posteriores el tratamiento se realizará por separado. Hasta el momento, resulta evidente que el modelo por escenarios logra un mejor ajuste estadístico que este último modelo individual, sin embargo habrá que ver lo que ocurre cuando se separan las ecuaciones según tipo de carpeta (tierra y ripio) y se eliminen las variables que no son significativas.

c) Análisis estadístico de tramos de tierra.

Se realizó una ANOVA con los datos de tramos de tierra ($N = 42$), el que se presenta en la Tabla II-7. El modelo de regresión lineal propuesto en este Análisis de Varianza se muestra en la Ecuación II-4.

Tabla II-7: ANOVA tierra

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4,5208	0,8157	5,54	0,000
Cala_prof	1,3469	0,3590	3,75	0,001
Ahue_prof	0,7788	0,3080	2,53	0,016
Matg_tama	0,02710	0,04101	0,66	0,513
Bach_num	-0,11254	0,05742	-1,96	0,058
Bach_diam	0,02745	0,02275	1,21	0,236
Bach_prof	-0,3666	0,6231	-0,59	0,560
Bach_mult	7,973	2,357	3,38	0,002
S = 2,13125 R-Sq = 74,7% R-Sq(adj) = 69,5%				

$$\text{IRI} = 4,52 + 1,35 \text{ Cala_prof} + 0,779 \text{ Ahue_prof} + 0,0271 \text{ Matg_tama} - 0,113 \text{ Bach_num} + 0,0274 \text{ Bach_diam} - 0,367 \text{ Bach_prof} + 7,97 \text{ Bach_mult}$$

$$\text{Ecuación II-4 (R}^2_{\text{ajust}} = 69,5\% ; \text{error típico} = 2,13)$$

Esta expresión tiene un R^2 relativamente bueno, sin embargo, en esta ecuación “sobran” muchos términos que no son significativos. Para escoger correctamente cuales de las variables deben ser incluidas en el modelo y cuales no deben serlo, se realizaron análisis de regresión del tipo “Selección gradual hacia delante y atrás”⁹ (con un nivel de significancia de 0,15), el cual puede verse en la Tabla II-1. De este análisis se obtuvo que el modelo final, alcanzado en tres pasos, es el mostrado en la Ecuación II-5. Para el caso de caminos de tierra, este modelo tiene un mejor ajuste que cualquiera de los modelos presentados con anterioridad. ($R^2 = 69,24\%$, $S = 2,14$). El modelo de regresión lineal propuesto en este Análisis de Varianza se muestra en la Ecuación II-5. Además, la significancia del modelo final fue corroborada con el test-F, arrojando un valor de 31,76, siendo muy superiores al valor $F_{(3, 38, 0,01)}$ crítico de 4,31.

⁹ Con la función *Stepwise Forward and Backward Selection* del programa Minitab.

Tabla II-8: Stepwise para tramos de tierra

Step	1	2	3
Constant	7,429	5,036	4,144
Bach_mult	6,7	8,5	6,6
T-Value	6,04	8,15	5,99
P-Value	0,000	0,000	0,000
Cala_prof		1,56	1,51
T-Value		4,05	4,38
P-Value		0,000	0,000
Ahue_prof			0,92
T-Value			3,33
P-Value			0,002
S	2,83	2,40	2,14
R-Sq	47,69	63,17	71,49
R-Sq(adj)	46,38	61,28	69,24
Mallows C-p	32,4	13,6	4,4

$$\text{IRI} = 4,144 + 6,60 \text{ Bach_mult} + 1,51 \text{ Cala_prof} + 0,92 \text{ Ahue_prof}$$

$$\text{Ecuación II-5 } (R^2_{\text{ajust}} = 69,2\% ; \text{ error típico} = 2,14)$$

d) Análisis estadístico de tramos de ripio

Se realizó un ANOVA con los datos de tramos de ripio (N = 19). El que se presenta en la Tabla II-9. El modelo asociado a dicho análisis se presenta en la Ecuación II-6.

Tabla II-9: ANOVA para tramos de ripio

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9,641	1,742	5,54	0,000
Cala_prof	-0,4745	0,6047	-0,78	0,449
Ahue_prof	-1,0221	0,6032	-1,69	0,118
Matg_tama	0,4276	0,1614	2,65	0,023
Bach_num	-0,2663	0,2106	-1,26	0,232
Bach_diam	0,09541	0,05529	1,73	0,112
Bach_prof	-2,078	1,472	-1,41	0,186
Bach_mult	19,85	19,33	1,03	0,327
S = 2,10656 R-Sq = 77,3% R-Sq(adj) = 62,9%				

$$\text{IRI} = 9,64 - 0,475 \text{ Cala_prof} - 1,02 \text{ Ahue_prof} + 0,428 \text{ Matg_tama} - 0,266 \text{ Bach_num} + 0,0954 \text{ Bach_diam} - 2,08 \text{ Bach_prof} + 19,8 \text{ Bach_mult}$$

$$\text{Ecuación II-6 (R}^2_{\text{ajust}} = 62,9\% ; \text{ error típico} = 2,11)$$

En el ANOVA puede verse que al modelo de la Ecuación II-6 le “sobran” muchos términos que no son significativos. Para escoger correctamente cuales de las variables deben ser incluidas en el modelo y cuales no deben serlo, se realizó un análisis de regresión del tipo “Selección gradual hacia delante y atrás”¹⁰ (manteniendo el nivel de significancia, $\alpha = 0,15$), el cual puede verse en la Tabla II-10.

¹⁰ Con la función *Stepwise Forward and Backward Selection* del programa Minitab.

Tabla II-10: Stepwise ripio

Step	1
Constant	6,970
Matg_tama	0,60
T-Value	5,13
P-Value	0,000
S	2,23
R-Sq	60,75
R-Sq(adj)	58,44
Mallows C-p	4,1

De este análisis se obtuvo que el modelo final, alcanzado en un paso, es el mostrado en la Ecuación II-7. Este modelo tiene mejor ajuste que cualquiera de los modelos presentados con anterioridad para el caso de caminos de ripio. Además, la significancia del modelo final fue corroborada con el test-F, arrojando un valor de 26,31, siendo muy superiores al valor $F_{(1, 17, 0,01)}$ crítico de 8,40.

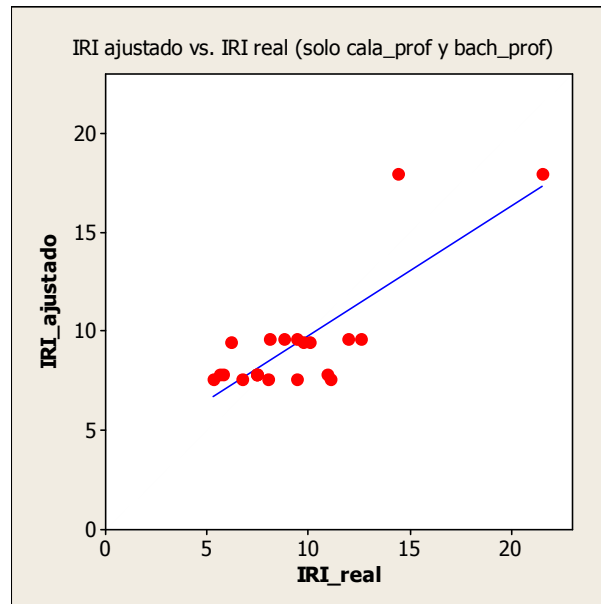
$$\text{IRI} = 6,970 + 0,60 \text{ Matg_tama}$$

$$\text{Ecuación II-7 } (R^2_{\text{ajust}} = 58,4\% ; \text{ error típico} = 2,23)$$

II.6.4 Análisis posteriores

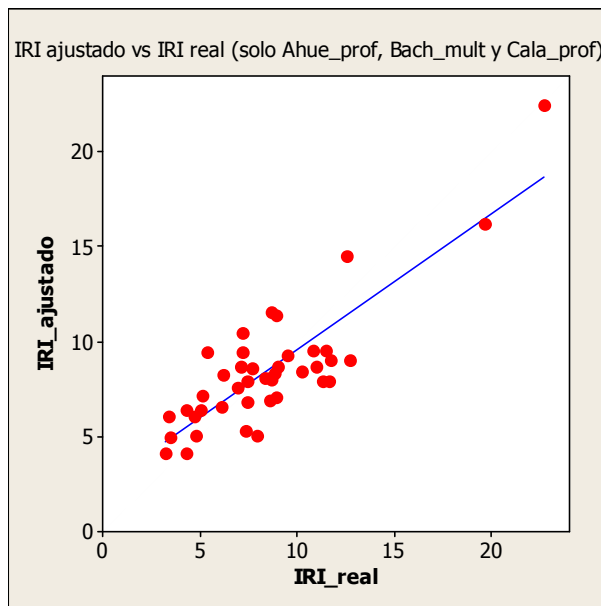
Además de realizar los respectivos Análisis de Varianza y de Regresión, es conveniente también realizar un análisis de las representaciones gráficas de las expresiones encontradas. En las siguientes figuras se muestran gráficos de dispersión, para comprar los valores de IRI ajustados obtenidos con las expresiones encontradas, versus el IRI real medido en los tramos.

Figura II-12: IRI_ajustado vs IRI real obtenido de la ecuación II-1. Ajuste por escenarios.



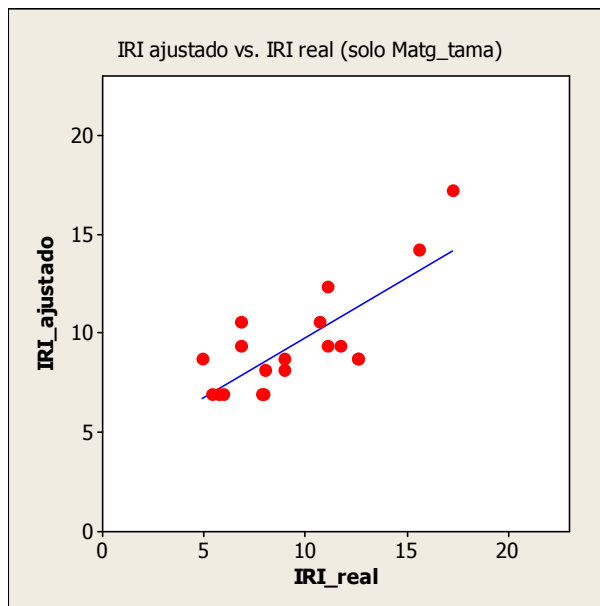
Podemos ver en la Figura II-12 que existen tres líneas, que parecen rectas horizontales, de IRI_ajustado obtenidos, una en torno a los 8 m/km., otra de valores cercanos a 10 m/km y otra banda en la vecindad de 18 m/km. Esto podría indicar que por las características con que fue concebido el modelo, no se identifican bien los deterioros que son importantes, así como también podría indicar que al agrupar los tramos en escenarios, formando bloques, se pierde información que es valiosa para explicar la rugosidad del camino. Por ejemplo, si la predicción del IRI es muy sensible a la profundidad de las calaminas, se comete un gran error al considerar a todos aquellos tramos que tienen calamina de profundidad menor a 2 cm. como un solo bloque.

Figura II-13: IRI_ajustado vs IRI real obtenido de la ecuación II-5. Ajuste para tramos de tierra.



En la Figura II-13 (caso de los tramos de tierra) y la Figura II-14 (caso de los tramos de ripio) se observa que existe una mejor relación aparente entre el IRI_real y el IRI_ajustado que en el caso por escenarios. Si bien existe cierta dispersión de los datos, se observa que la mayoría de los puntos habita en una cercana vecindad a la recta de regresión lineal. Además, si se extrapola la recta de regresión hasta el eje de las abscisas, se puede ver que ésta intercepta en un punto cercano al origen (algo deseable).

Figura II-14: IRI_ajustado vs IRI real obtenido de la ecuación II-7. Ajuste para tramos de ripio.



II.6.5 Interpretación de resultados, recomendaciones y conclusiones

Del análisis estadístico realizado a los datos de tramos testigo obtenidos en terreno, se puede indicar que existe una significativa correlación entre algunos deterioros presentes en la unidad de muestreo de un tramo y el IRI medido en el tramo completo. Las ecuaciones finales propuesta son las siguientes:

Ripio: $IRI = 6,970 + 0,60 \text{ Matg_tama}$

Tierra: $IRI = 4,144 + 6,60 \text{ Bach_mult} + 1,51 \text{ Cala_prof} + 0,92 \text{ Ahue_prof}$

El IRI estimado mediante el análisis de regresión realizado con los datos organizados por escenarios mostró un ajuste regular ($R^2 \approx 60\%$ y $S = 2,35$) siendo las variables significativas la profundidad del ahuellamiento y de los baches.

El IRI estimado con los datos de deterioro de los tramos de tierra tienen un buen ajuste a los datos reales ($R^2 \approx 70\%$ y $S = 2,14$). Sin embargo, para poder explicar completamente

el IRI puede decirse que falta considerar algunas variables que no fueron registradas. Quizás faltó registrar con mayor detalle los deterioros presentes, como por ejemplo el ancho de las calaminas o el patrón de repetición de éstas. También puede deberse a otros deterioros que simplemente no fueron considerados.

La ecuación correspondiente a los tramos de ripio indica que sólo la variable relativa al “tamaño del material grueso” es significativa en el modelo (con un $R^2 \approx 60\%$ y $S = 2,23$). Por lo tanto, evidentemente existen variables que ayudarían a explicar la variabilidad del IRI estimado y que no fueron consideradas en la Inspección Visual.

A juzgar por los parámetros estadísticos como el coeficiente de determinación y el error típico, y por el análisis gráfico los modelos separados para tierra y ripio (Figura II-13 y Figura II-14) marcan una mejor tendencia que el modelo presentado en el gráfico para tierra y ripio juntos (Figura II-12). Por lo tanto, se eligen los modelos individuales para la estimación del IRI, escogiéndose como ecuaciones de correlación entre los deterioros y el IRI la Ecuación II-5 para los caminos de tierra y la Ecuación II-7 para los caminos de ripio, con los límites de validez mostrados en la Tabla II-2.

Tal como se mencionó anteriormente, estos desajustes entre el IRI estimado y el IRI real pueden darse producto de la exclusión de algunas variables y deterioros que no fueron medidos. Al respecto, se recomienda que en futuros estudios se incorporen otras variables que puedan explicar el IRI como por ejemplo el ancho de las calaminas y el ahuellamiento. Además, la medición de la rugosidad puede verse afectada por otro tipo de deterioros como hundimientos o depresiones de dimensiones más grandes que las que puedan reconocerse mediante un examen fuera del vehículo, por lo que no serían detectadas mediante una inspección visual.

Por otra parte existe otra consideración que puede hacerse, consistente en la diferencia entre la zona donde se realizó la inspección (unidad muestral del tramo - 50 primeros metros) con la zona donde se midió el IRI (todo el tramo - 1 kilómetro). Respecto a este punto, puede decirse que las correlaciones obtenidas con IRI_UM como variable

dependiente en los análisis estadísticos fueron similares a las obtenidas con IRI_tramo. Por lo tanto se prefirió trabajar con la variable IRI_tramo para que la ecuación obtenida se corresponda con el objetivo del experimento que es la inspección de una parte del tramo, para estimar el IRI del tramo completo¹¹.

Otra posible causa de las diferencias entre el IRI real y el IRI ajustado, se asocia con las características propias de los sistemas de Inspección Visual y de medición de IRI utilizados en el estudio, a saber:

- a) Inspección Visual: Debido a que ésta fue realizada por primera vez con la metodología MOP (MOP, 2008), se pueden hacer algunas observaciones y recomendaciones para su futura aplicación. Por ejemplo, hubo dificultad para percibir los baches en algunas horas en que el Sol está cerca del cenit, por lo que hay que tener cuidado a estas horas para realizar dichas mediciones. Esto ocurrió también con la medición de calaminas de tamaño pequeño, pues no existe el suficiente contraste para que el ojo humano reconozca dichos deterioros a simple vista. La inspección visual tiene una importante componente humana, por lo que el encargado de la inspección deberá ejecutarla con criterio al elegir los deterioros representativos a medir y ser muy juicioso al momento de identificar los deterioros. Por esta razón, una inspección que logre un 100% de precisión, será muy difícil de lograr, sin embargo, mediante una capacitación y constante revisión de criterios se pueden lograr resultados adecuados.
- b) Medición IRI: Respecto a la medición del IRI se puede decir que el principal aspecto a considerar como fuente de error es el tema de la repetibilidad y reproducibilidad del equipo *Bump Integrator*. Para evaluar ambas

¹¹ Con los rendimientos obtenidos en esta primera utilización de la metodología MOP se hace impracticable la inspección de todo el tramo para obtener el IRI de todo el tramo. Implicaría aumentar

propiedades y cuantificar su efecto en la medición del IRI se realizó un pequeño experimento, que se describe en el Anexo G. La repetibilidad se refiere al error propio del experimento, es decir, a las diferencias entre mediciones consecutivas sin ningún cambio en las condiciones. La reproducibilidad, en este caso, se refiere a las diferencias producidas debido a medir el IRI en un sentido o en otro. Ambas propiedades pueden afectar de manera significativa los resultados de la medición del IRI. La principal conclusión de este mini-experimento fue que la repetibilidad del equipo en caminos no pavimentados es de aproximadamente 0,4 m/km y la reproducibilidad, de 0,4 m/km. Por lo tanto el efecto conjunto de ambas fuentes de error es de 0,6 m/km. Esto indica que el error interno de las mediciones constituye un aporte menor en el error de la determinación de las expresiones (aproximadamente un 30% del error total de ambas expresiones).

Además, en los tramos con gran magnitud de deterioros, donde fueron registradas rugosidades (IRI) superiores a 20 m/km., la velocidad de medición no pudo ser ni siquiera cercana a las velocidades de calibración (30 km/h ó 50 km/h), sino que se tuvieron que adoptar velocidades de entre 5 y 15 km/h, tal como se indica en el manual del equipo, esto puede traer como consecuencia que las mediciones no reflejen en un 100% la rugosidad del camino. Otro aspecto a considerar respecto a la calibración consiste en que ésta se realizó para rugosidades entre 3 y 12 m/km, por lo que las ecuaciones de ajuste entre el IRI y las cuentas del rugosímetro (BI) podrían mejorar. En este sentido se recomienda que cuando el equipo *Bump Integrator* vaya a ser utilizado en caminos no pavimentados, este sea calibrado en tramos más rugosos.

En resumen, si bien los ajustes estadísticos no son perfectos, no hay que perder de vista que el sentido que tiene la estimación del IRI es el de entregar orientaciones acerca de la necesidad de mantenimiento que tiene un tramo. Por esta razón no interesa obtener un $IRI_{estimado}$ muy preciso, sino más bien poder identificar si la magnitud del $IRI_{estimado}$ es superior o inferior a un IRI_{umbral} . Pese a esto, se recomienda realizar el mismo ejercicio realizado en esta investigación, pero con una mayor cantidad de tramos

- i) Para aumentar la variabilidad en los niveles de deterioro registrados y así intentar mejorar los ajustes estadísticos de las ecuaciones obtenidas.
- ii) Para aumentar el rango de validez de las ecuaciones que sean obtenidas.

III DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE INTERVENCIÓN

III.1 Introducción

III.1.1 Antecedentes Generales

“Establecer umbrales de actuación consiste en definir los límites a partir de los cuales se debe materializar alguna acción de conservación” (de Solminihaç, 2001). Esta sección apunta precisamente a eso: encontrar los umbrales de rugosidad con los cuales los caminos debiesen ser intervenidos ya sea con una acción rutinaria como el reperfilado o una acción periódica como el recebo.

Gaete (1994), indica que para la obtención de umbrales de intervención para pavimentos asfálticos se pueden utilizar alguna de las siguientes metodologías:

- iii) Realización de evaluaciones económicas (que utilizan modelos de deterioro y costos de operación vehicular) que permitan identificar el umbral de intervención económicamente óptimo.
- iv) Recopilación bibliográfica de los límites de deterioro utilizados en otros países.

Sin embargo, para los caminos no pavimentados, la primera metodología se descarta, ya que los modelos de deterioro contenidos en HDM-4 presentan altos errores para condiciones base y requieren ser calibrados para otro tipo de condiciones (Van Zyl, Henderson y Uys, 2007; MOP, 2008). Dicha calibración requiere un largo período de tiempo para poder realizarse¹². Por lo tanto mal podrían utilizarse estos modelos para hallar un umbral de intervención óptimo. Además, si se considera que los caminos no

¹² Más de 2 años, ya que no existe información disponible en la actualidad que permita aplicar metodologías más cortas para la calibración

pavimentados por lo general presentan bajo volumen de tránsito (MOP, 2006), la realización de evaluaciones económicas bajo presupuesto restringido traerá como conclusión que la mejor opción es mantener este tipo de caminos en pésimas condiciones de rugosidad¹³(MOP, 2008).

Al mismo tiempo, la literatura internacional es relativamente extensa para entregar algunos límites para la intervención de caminos pavimentados, sin embargo para los no pavimentados las recomendaciones no abundan. La excepción la constituye Suecia donde, hasta 2001, se establecían estándares de calidad que debían cumplir los caminos no pavimentados según su clase. Los caminos se clasifican según el tránsito, cumpliendo con estándares relativos a la rugosidad del camino y la existencia de material suelto (levantamiento de polvo y árido suelto). Sin embargo, no existía una cuantificación de estos deterioros sino que se realizaba una descripción cualitativa y subjetiva de ellos (Alzubaidi, 2001). Más recientemente, este país junto a otros ha conformado el grupo denominado Países de la Periferia Nórdica de Europa (Escocia, Noruega, Suecia y Finlandia) para desarrollar un proyecto denominado ROADDEX (versiones I, II y III), el cual contempla la realización de estudios en caminos no pavimentados. Estos estudios dan paso a documentos, muchos de los cuales están relacionados con los caminos no pavimentados de bajo volumen de tránsito. Uno de estos documentos, relacionado con el impacto socioeconómico de la condición de los caminos de bajo volumen de tránsito (Johansson, 2006), indica algunos valores de rugosidad como umbral de intervención para caminos de grava. Dichos valores se encuentran en la . Estos valores fueron sugeridos por un experto finlandés¹⁴, y si bien se proponen en los proyectos ROADDEX II

¹³ En resumen, en el documento se plantea lo siguiente:

El mayor beneficio económico se obtiene aplicando solo reperfilados, exceptuando en tramos donde el tránsito es muy superior (para TMDA mayor a 300).

El mejor rendimiento económico de la inversión se obtiene aplicando solo 2 reperfilados por año (para TMDA menor a 300).

¹⁴ Los valores sugeridos por A. Lampinen, vía correo electrónico a los autores del documento, son entregados en unidades de aceleración, pues en los países de la región se utilizan acelerómetros para medir la rugosidad. Dichas unidades en que se entrega la rugosidad difiere a la unidad que se utiliza con mayor aceptación en Chile (m/km). Se intentó consultar al autor respecto a un posible cambio de unidades, pero

y III, éstos aun no han sido probados. Por lo mismo, el documento referido advierte que los valores deben ser calibrados a la realidad.

Tabla III-1: Valores de rugosidad umbral propuestos por ROADDEX III

Tipo de prioridad	Rugosidad umbral (m/s^2)
Baja	10 a 15
Estándar	6 a 10
Elevada	3 a 6
Alta	3

Fuente: Johansson, 2006.

Es importante mencionar que los antecedentes internacionales son solo un referente, pues para la fijación de umbrales, tanto la realidad como la experiencia nacional son fundamentales. Además, variados autores mencionan que la opinión del usuario es un importante parámetro para la determinación del estado y la necesidad de realizar acciones de conservación. Para este caso, dichos usuarios, deben ser aquellos que utilicen la red vial nacional.

Por lo tanto, ninguna de las dos metodologías indicadas por Gaete (1994) para caminos pavimentados se adecua a la realidad de los caminos no pavimentados. Es por esto que se propone determinar un umbral de intervención correspondiente a un IRI límite máximo que debe cumplir el camino, basado en la opinión de expertos que tengan determinado conocimiento de la realidad nacional (tecnológica, climática, presupuestaria, etc.).

no fue posible. Las unidades que utiliza el equipo MIS-4 en Chile también corresponden a aceleración, sin embargo no se corresponden en cuanto a órdenes de magnitud con las mostradas en la Tabla III-1.

III.1.2 El IRI y la opinión de usuarios como umbral de intervención

El IRI es propuesto como umbral de intervención en múltiples documentos, debido a que representa de muy buena forma la percepción del usuario y los deterioros presentes en el camino.

Para caminos pavimentados, por ejemplo, Al-Omari y Darter (1995) proponen ciertos umbrales de IRI obtenidos a partir de la correlación con el PSR. También Loizos y Plati (2002) proponen algunos umbrales de IRI para caminos pavimentados basados en la opinión de usuarios. Por otra parte Lee, Chatti y Baladi (2002) determinaron niveles de IRI óptimos basados en mediciones de deterioro trienales (cada tres años) que determinan el mejor momento para la realización del mantenimiento, para minimizar los daños ocasionados en el pavimento.

Para caminos no pavimentados, por otra parte, Alzubaidi (2001) menciona que la rugosidad es utilizada como uno de los dos umbrales de intervención, pero sin brindar límites numéricos, sino solo de forma cualitativa. En el mismo documento, el autor utiliza un panel de usuarios para determinar un umbral de intervención. Un PSR igual a 2,56, para caminos pavimentados, fue determinado como aceptable por el 50% de los usuarios. Una metodología inversa se utiliza en un estudio local (De Solminihac, Salsilli, Köhler y Bengoa, 2003) en donde se hace pasar a un panel de expertos por determinados pavimentos urbanos e interurbanos a los que se les conoce la rugosidad (IRI). Luego al panel se le pregunta por la aceptabilidad de los tramos, obteniéndose valores de IRI para los cuales al menos el 50% del panel lo encuentra aceptable, determinándose de esta forma cuales son los valores de IRI umbral para vías pavimentadas. El resultado de la investigación concluye en los resultados mostrados en la Tabla III-2.

Tabla III-2: IRI umbral de intervención para pavimentos urbanos, caso chileno.

Tipo de Vía	Tipo de Pavimento	Rugosidad umbral (m/km)
Urbana	Hormigón	8,1
	Asfalto	5,9
Expresas	Hormigón	6,6
	Asfalto	4,8

Fuente: De Solminihac et al., 2003.

Johansson (2006) menciona que los niveles de intervención pueden ser definidos de varias formas: especificando niveles de defectos presentes en el camino, especificando algún tipo de nivel de confort del usuario como la rugosidad, o mediante una combinación de ambas.

Por lo tanto, puede decirse que el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) es propuesto como umbral de intervención por múltiples autores. Será entonces el objeto de este capítulo el cuantificar mediante una consulta a usuarios de la Red Vial Nacional (con cierta experiencia) los valores de IRI umbral asociados a distintos tipos de caminos.

III.1.3 ¿Representa el IRI a los deterioros del camino?

Al-Omari y Darter (1995), así como Loizos y Plati (2002) proponen que para caminos pavimentados, existe una gran cantidad de deterioros como el desprendimiento de áridos y la fisuración de borde (D-cracking) que, al presentarse en menor grado de severidad, no afectan al perfil longitudinal (IRI). Estos y otros deterioros comienzan a afectar al IRI cuando la severidad ya es mayor. Por lo tanto, si el pavimento no es intervenido sino hasta cuando ya esté muy rugoso (alto IRI), los costos de rehabilitación pueden ser bastante altos. Es por esto que, concluyen, no se puede tomar solo al IRI como umbral de intervención, sino que es conveniente fijar otros umbrales basados en otros deterioros.

Sin embargo, para el caso de los caminos no pavimentados, estos deterioros que actúan en forma silenciosa (ya que no afectan la percepción del usuario ni al IRI) no se presentan. Deterioros poco perceptibles para el usuario como la fisuración, agrietamiento, afloramiento, desgranamiento, exudación, etc., no son propios de los caminos de grava o tierra. Por el contrario, los deterioros típicos que se describen en los manuales como ahuellamiento, baches, calaminas, etc., salvo aquellos que tienen que ver con el drenaje, afectan de manera evidente la percepción del usuario¹⁵. Por lo tanto, la condición funcional resulta estar muy ligada a la condición estructural (o incluso general) del camino, y por tanto, relacionada directamente con el umbral de intervención. En la misma dirección apunta el Banco Mundial, al considerar al IRI como uno de los dos umbrales¹⁶ que utiliza el modelo HDM para determinar la necesidad de intervención en caminos no pavimentados (Odoki y Keralli, 2000).

Además de todos estos planteamientos internacionales, en el capítulo 2 del presente documento se muestran relaciones funcionales con buen ajuste estadístico entre el IRI y los deterioros que afectan a los caminos no pavimentados.

Por lo tanto, para el caso de los caminos no pavimentados, la determinación de un umbral de intervención basado en el IRI resulta práctica y representativa de los deterioros existentes en la superficie de rodadura¹⁷.

III.1.4 Rugosidad umbral y rugosidad objetivo

Tal como propone de Solminihac (2001), al hablar de carreteras existen dos tipos de umbrales: el umbral de alerta y el umbral de intervención óptima. Para el caso del presente estudio, sólo se buscará el umbral de intervención óptima. Esto debido a que

¹⁵ Esto también puede verse en el presente estudio, puesto que la ecuación de relación entre IRI y deterioros así lo demuestra.

¹⁶ El otro umbral corresponde a la pérdida de grava.

con el nivel de información que se tiene para los caminos no pavimentados (TMDA poco exacto y precipitaciones muy variables año tras año) el hecho de establecer un umbral de alerta puede inducir a tomar malas decisiones.

Además de la rugosidad umbral, se propone encontrar la rugosidad que debiera mantener en promedio el camino a lo largo de su vida útil (rugosidad objetivo), esto como una forma de orientar las actividades de mantención que deben ser realizadas.

Para hallar ambos valores (IRI umbral e IRI objetivo) se deberá emplear una metodología que permita recoger de manera simple y a bajo costo la opinión de algunos de quienes más sepan sobre caminos en Chile. Esta metodología se explica en la siguiente sección.

III.1.5 El método DELPHI

Para canalizar el aporte individual con el fin de obtener un resultado grupal común respecto a una materia, puede utilizarse una variedad de formas (comisiones, grupos de trabajo, entrevistas, etc.), sin embargo la más utilizada y estudiada corresponde a la técnica de discusión cara a cara (Landeta, 1999). Esta técnica consiste en citar a un grupo de conocedores del tema en cuestión a una reunión en la cual se discute el tema y se plantean las preguntas que quieren ser respondidas. Esta técnica tiene diversas desventajas para su aplicación, como lo son: imposibilidad de acomodar las agendas de todos los expertos (en general, personas muy ocupadas), alto costo de generar la reunión (i.e. lejanía geográfica de los participantes) efectos psicológicos de los participantes (temor a divergir de los que saben más o poseen mayores cargos), desvío del tema central en discusión, etc.

¹⁷ Se hace especial énfasis a que existen otros deterioros que están relacionados con el camino, y que no cubre el IRI, pues no corresponden a defectos de la superficie de rodadura, i.e.: señalética, barreras de contención, etc.

Existe un método que subsana gran parte de estos problemas, el Método Delphi. Este es uno de los métodos cualitativos de predicción más simple, que permite la obtención de información confiable para el sustento de la toma de decisiones sobre determinados temas que han sido poco estudiados o no tienen formas más científicas de medirse (Vélez, 2003).

El fin del método Delphi es lograr opiniones de consenso en un grupo de expertos sobre un problema en particular. La idea general es obtener la opinión de un grupo de expertos, mediante el uso de encuestas o cuestionarios que son respondidos de manera personal e independiente, manteniendo el anonimato.

Este método se encuadra dentro de los llamados “Métodos Cualitativos de Predicción”, siendo el más ampliamente utilizado de ellos. Puede ser utilizado no solo para la predicción sino también para otro tipo de estimaciones (Makridakis et al., 1978). El principal sustento para utilizar esta metodología en la determinación de los umbrales consiste en que el consenso, o la respuesta promedio, de un grupo de expertos puede ser una herramienta mucho más potente que la utilización del criterio de un solo individuo.

Este método ofrece algunas ventajas si se compara con otros métodos cualitativos para la obtención de información desconocida (Vélez, 2003):

- i) Elimina ciertos sesgos que se presentan cuando se acude a la opinión de un solo experto.
- ii) Reduce la posibilidad de que algunos miembros se acojan a la opinión de la mayoría.
- iii) Reduce factores psicológicos que son influyentes en los trabajos de comités tales como “efecto halo”, temor a divergir, etc.

Por otra parte, a este método se le realizan algunas críticas, a saber (Makridakis y Wheelwright, 1978):

- i) Resultados son muy sensibles a la ambigüedad del cuestionario.

- ii) Dificultad para evaluar el grado de conocimiento de los expertos.
- iii) Baja confiabilidad.

Sin embargo estas críticas pueden ser superadas realizando las siguientes consideraciones: la confiabilidad se puede medir con el grado de consenso y la precisión que se obtenga entre las respuestas a la misma pregunta de cada experto. La ambigüedad del cuestionario puede disminuir elaborando la encuesta con ayuda de algunos de quienes responderán la encuesta y mediante la aplicación de una encuesta piloto, de manera de poder corroborar la presencia de preguntas ambiguas en rondas previas a la aplicación final del cuestionario. Además, la dificultad para evaluar el grado de conocimiento puede ser sorteada mediante el establecimiento de criterios para nominar a los expertos y mediante la conformación de un panel multisectorial en donde se congreguen a expertos de variados ámbitos relacionados al tema en cuestión (expertos del sector público, privado y académico), de manera de matizar la opinión de expertos que ven el problema desde distintas perspectivas

Los pasos que se deben cumplir en la aplicación de un método Delphi son (adaptado de Vélez, 2003):

- i) Definir el problema.
- ii) Definir criterios que aseguren experticia y conformar el panel de expertos (mínimo 5 expertos).
- iii) Diseñar y aplicar el cuestionario piloto.
- iv) Análisis de la primera ronda de preguntas.
- v) Rediseñar y aplicar cuestionario final.
- vi) Análisis de la segunda ronda de preguntas.

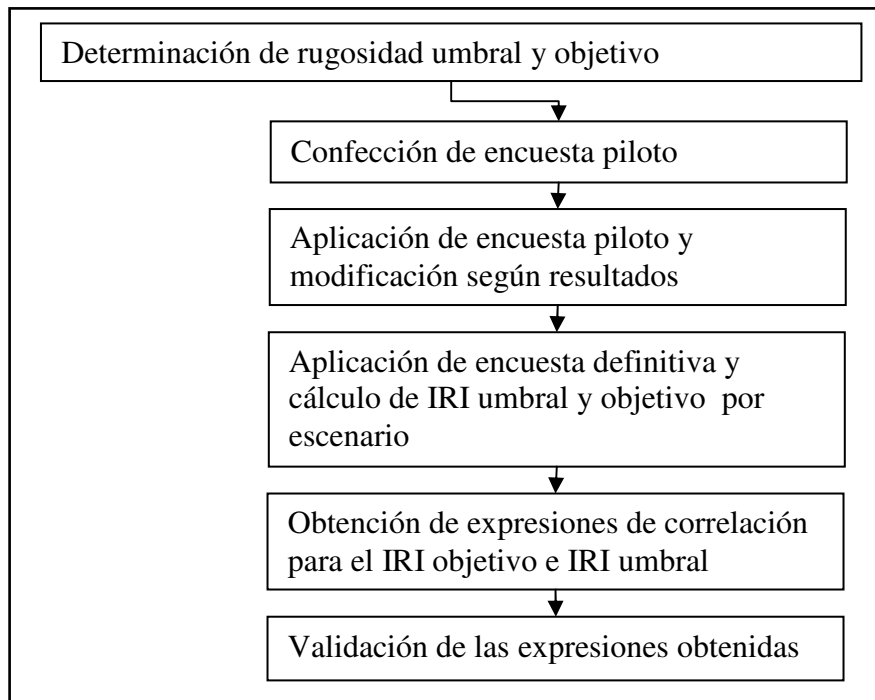
En la sección de “Definición de la metodología de toma de datos” se detalla el proceso seguido, paso por paso, de la aplicación que se le dio a la metodología Delphi en la presente investigación¹⁸.

III.2 Metodología de trabajo

Para determinar la rugosidad umbral y objetivo para caminos no pavimentados según la opinión de los expertos se utilizó la siguiente metodología: Primero se confeccionó la encuesta piloto. Luego se aplicó ésta a un panel piloto de expertos y se modificó de acuerdo a las recomendaciones de ellos. Estos resultados se utilizaron para calcular las expresiones para la correlación de las rugosidades umbral y objetivo con las características de los caminos. Finalmente, se realizó una validación de las expresiones obtenidas. En la Figura III-1 se esquematiza la metodología de trabajo.

¹⁸ Para mayor detalle sobre el método Delphi referirse a: Landeta, J. (1999). El método delphi : una técnica de previsión para la incertidumbre.

Figura III-1: Metodología de trabajo para la determinación del IRI umbral e IRI objetivo



III.3 Diseño experimental

El diseño experimental se realizó siguiendo la metodología presentada por de Solminihac (1987), en la que se describen los ítems a definir para obtener un adecuado diseño.

III.3.1 Variables dependientes

Las variables dependientes corresponden a:

- i) La rugosidad promedio (IRI objetivo) que debiera mantener un camino de determinadas características, a lo largo de su vida útil.
- ii) La rugosidad límite (IRI umbral), expresada como un IRI umbral, a la cual un conjunto de expertos considera que puede llegar un camino no pavimentado sin ser intervenido, dadas ciertas características de éste.

O dicho de otra forma, representa el límite mínimo de serviciabilidad en el que puede estar un camino no pavimentado.

III.3.2 Variables independientes y sus niveles

Para la definición de las variables independientes fue necesario realizar una revisión bibliográfica. De esta manera se pudieron incluir las variables que son consideradas relevantes por otros autores. Además, se incluyeron otros factores que pueden ser decisivos al momento de considerar la necesidad de intervención, pudiendo ser luego desestimadas en el análisis estadístico. Para determinar los niveles de variación de estos factores, se recurrió a la Sectorización 2006 realizada por la Dirección de Vialidad (DV, 2006), con la cual se determinaron los siguientes factores y sus respectivos niveles de variación:

a) Tránsito

Tal como menciona Giumarra (2003) en muchos países como EE.UU., Sudáfrica, Reino Unido y Australia, el Tránsito Medio Diario Anual (TMDA) es un factor ampliamente utilizado para determinar el estándar que debe cumplir un camino. En la Tabla III-3 se muestran los niveles de variación del TMDA para los caminos no pavimentados. Dada la alta variación se decidió utilizar los percentiles 10, 50 y 90 para la confección de los escenarios. Por lo tanto, los niveles del factor Composición TMDA son: 7, 40 y 300 vehículos diarios (este último correspondía a un 308 vehículos pero fue aproximado a 300).

Tabla III-3: Niveles de variación para el TMDA de los caminos no pavimentados.

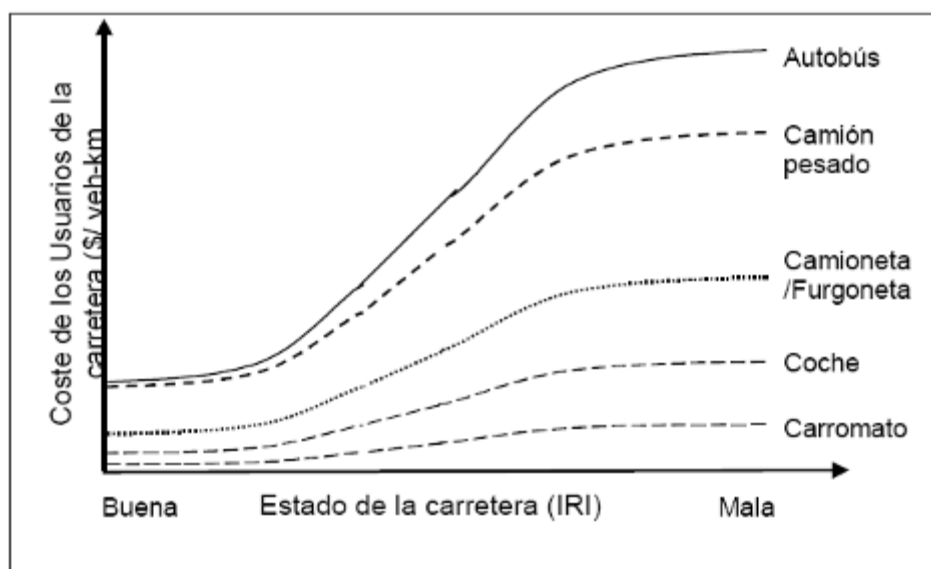
TMDA	Percentil
1	0%
7	10%
10	20%
20	30%
25	40%
40	50%
60	60%
100	70%
156	80%
309	90%
23065	100%

Fuente: Elaboración propia con datos de Sectorización 2006 (MOP, 2006).

b) Composición TMDA

La inclusión de este factor radica en la importancia que adquiere el IRI en los costos vehiculares del tránsito pesado. Como muestra la Figura III-2, extraída del Manual de modelo HDM-4 (Odoki y Keralli, 2000), mientras mayores son las dimensiones del vehículo, más sensibles son sus costos a los cambios de IRI para condiciones no extremas. Dada la escasa variación entre los percentiles 10 y 90, se decidió utilizar sólo estos valores para la confección de los escenarios. Por lo tanto, los niveles del factor Composición TMDA son: 20% y 40% (este último correspondía a un 37% pero fue aproximado a 40% por efectos de acentuar la diferencia entre ambos)

Figura III-2: Efecto del estado de la carretera sobre los costos de operación vehicular.



Fuente: Odoki, 2000

Tabla III-4: Niveles de variación del tránsito pesado en los caminos no pavimentados

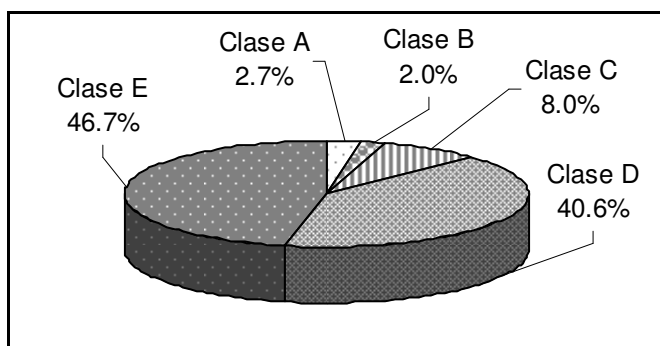
% TMDA Pesado	Percentil
0%	0%
20%	10%
23%	20%
26%	30%
27%	40%
30%	50%
32%	60%
32%	70%
34%	80%
37%	90%
86%	100%

Fuente: Elaboración propia con datos de Sectorización 2006 (MOP, 2006).

c) Clase

Junto con el tránsito, es citado en la mayor parte de los documentos. Además, resulta lógico que un camino de mayor importancia, tenga un mejor estándar que otro de menor importancia. Como se puede apreciar en la figura Figura III-3, la mayor parte de los caminos no pavimentados son, como era de esperar, de las clases D y E, es decir, son caminos comunales, tanto primarios como secundarios. Sin embargo, todas las clases fueron incluidas en el planteamiento de los escenarios.

Figura III-3 Composición de los caminos no pavimentados de la red vial nacional



Fuente: Elaboración propia con datos de la Sectorización 2006 (MOP, 2006)

Producto de la definición de los factores y sus niveles de variación, queda definido el factorial de escenarios del experimento. Dicho factorial, que se muestra en la Figura III-4, debe ser completado por cada experto para las dos variables dependientes pedidas: IRI umbral e IRI objetivo.

Figura III-4: Factorial del experimento

TMDA	%TMDA Pesado	Clase				
		A	B	C	D	E
7	20%					
	40%					
40	20%					
	40%					
300	20%					
	40%					

III.3.3 Espacio de inferencia

El espacio de inferencia, es decir, la aplicabilidad de los resultados obtenidos, corresponde a los caminos no pavimentados administrados bajo la modalidad de administración directa.

III.3.4 Cantidad de réplicas

La cantidad de réplicas para este caso, consiste en la cantidad de expertos por cada uno de los escenarios planteados. Esta cantidad será definida en la sección destinada a la definición del panel de expertos, dentro de la sección “Toma de datos”.

III.3.5 Metodología de análisis de datos

El análisis de los datos consistió en encontrar la media de las respuestas de IRI umbral, planteadas por los encuestados para cada escenario. Siendo eliminadas previamente las respuestas de aquellos encuestados que no fueron consistentes con las del resto del grupo. A continuación se realizaron análisis de varianza y de regresión con el objetivo de encontrar las expresiones que relacionen las características del camino con el IRI objetivo y el IRI umbral del mismo.

III.3.6 Metodología de toma de datos

La metodología de toma de datos, corresponde a la utilizada por el método Delphi. Los pasos para la obtención de los datos son (Vélez 2003; Landeta, 1999):

a) Definición del problema

El problema, tal como se ha mencionado con anterioridad, consiste en la determinación de rugosidades umbrales y rugosidades objetivos para los caminos no pavimentados mantenidos bajo administración directa.

b) Definición de criterios y conformación del panel

Los conocimientos fundamentales que deben tener los expertos que compongan el panel consisten básicamente en:

- Conocimiento básico acerca del nivel de calidad de los caminos no pavimentados a nivel nacional en la actualidad.
- Familiaridad con el concepto de rugosidad y niveles típicos de variación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

Para asegurar la variedad de tipos de experticia de las personas que conforman el panel, se consideraron expertos de tres sectores:

- Personal de la Dirección de Vialidad (sector público)
- Consultores y profesionales ligados al área de caminos (sector privado)
- Académicos y estudiantes de postgrado relacionados con la administración y construcción de pavimentos.

Debido a que la literatura recomienda que el panel esté conformado por más de 5 expertos y menos de 30 (Vélez, 2003; Astigarraga, 2005; Green et al., 2007), y a que las tasas de respuesta de estudios anteriores (Márquez, 2006) han sido cercanas al 60%, se optó por encuestar a más de 30 expertos, con el objetivo de poder contar con al menos

20 respuestas. La conformación variada del panel de expertos fue solo para tener heterogeneidad en el origen de ellos. Para la aplicación de la encuesta piloto se consideró un subconjunto de 8 expertos del panel final.

c) Diseño, aplicación y análisis del cuestionario piloto

Con el fin de que las preguntas planteadas condujeran a resultados apropiados, se diseñó un cuestionario piloto, el que posteriormente fue testeado en el subconjunto de 8 expertos antes mencionado.

Se tomaron algunos consejos para el desarrollo de la encuesta (Astigarraga, 2005):

- Cuestionarios deben facilitar la respuesta por parte de los consultados y no deben ser sujeto de interpretación.
- Preferir respuestas que puedan ser cuantificadas y ponderadas.
- Duración de la encuesta no mayor a 30 minutos.
- Acompañar el cuestionario con una nota explicativa del proyecto y condiciones prácticas (forma de completar la encuesta, modo de entrega, fecha tope, etc.).

El cuestionario consistió simplemente en la aleatorización de los escenarios planteados en la Figura III-4. El planteamiento de los escenarios en la encuesta se realizó tal como se muestra, a modo de ejemplo, en la Figura III-5. La encuesta contenía los 30 posibles escenarios listados de manera aleatoria.

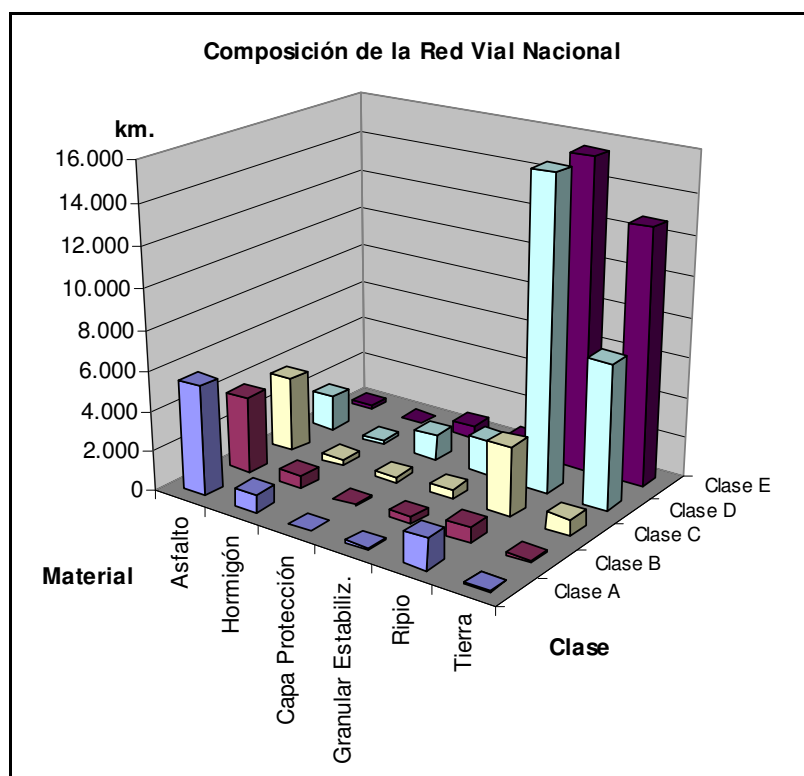
Antes de enviar la encuesta a todo el “panel piloto”, esta fue evaluada por dos de los expertos. Ellos recomendaron que se realizaran algunas definiciones y aclaraciones de conceptos, además de recomendar la inclusión de algunos ejemplos. La encuesta aplicada se encuentra en el Anexo H.

Figura III-5: ejemplo del planteamiento del primer escenario

Escenario	Características del camino			IRI objetivo	IRI umbral
	TMDA	TMDA pesado	Clase		
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]	[m/km]	[m/km]
1	300	20	B		

Los encuestados realizaron de manera personal algunas consultas, sobre todo relacionadas con los escenarios que presentaban caminos no pavimentados de clase “A” o “B”, algo que no les parecía posible a simple vista, pero que en la realidad constituyen más del 15% de ambas clases, tal como puede verse en la Figura III-6.

Figura III-6: Tipo de carpeta de rodadura por clase.



Fuente: Elaboración propia con datos de la Sectorización 2006 (MOP, 2006).

Se envió la encuesta piloto a los 8 miembros del “panel piloto” el día 7 de Mayo de 2008. Las respuestas fueron recibidas entre los días 9 y 19 de mayo. Los resultados obtenidos y el análisis estadístico desprendido de la encuesta piloto se encuentran en el Anexo I. Allí pueden observarse principalmente dos cosas:

- i) Debido a que el coeficiente de variación de cada uno de los escenarios ronda el 50%, puede decirse que existe cierta convergencia entre las respuestas de los encuestados para los escenarios planteados. Además puede decirse que existe cierta consistencia entre las respuestas de los encuestados, debido a que solo un experto excedió los límites de Chebychev propuestos para este experimento.
- ii) Se obtiene una alta correlación entre las características de los caminos y el IRI umbral e IRI objetivo (R^2 sobre 95%), por lo que se cumple el objetivo del experimento.

Considerando que la encuesta fue aplicada precisamente a quienes tienen un poco menos de experticia que el resto del panel (principalmente profesionales con 5 años de experiencia), se puede esperar que los resultados de la aplicación de la encuesta definitiva sean más consistentes y más homogéneos. Además, producto de la evaluación que se tuvo por parte de 2 de los expertos, previo a la etapa de la encuesta piloto, no fue necesario realizar ningún cambio a la forma en que se presentaba el problema, ya que este fue comprendido inmediatamente por los integrantes del panel piloto.

- d) Rediseño y aplicación del cuestionario final

Dados los resultados anteriores, no fue necesario rediseñar la encuesta, por lo que fue aplicada al panel de expertos seleccionado.

- e) Análisis de los resultados de la encuesta definitiva

Esta sección se abordará en el subcapítulo de “Análisis de datos”

III.4 Toma de datos - Aplicación de la encuesta

La toma de datos consistió en la aplicación de la encuesta definitiva a los 36 expertos personalmente y vía e-mail. La entrega de la encuesta comenzó el día 22 de Mayo de 2008, siendo confirmadas telefónicamente la mayoría de las entregas. Se pidió que éstas fueran contestadas en un plazo de 3 semanas a partir de la fecha de envío. Este plazo se estimó suficiente para que la encuesta fuera contestada con tranquilidad por cada uno de los encuestados. Las respuestas fueron recibidas, por los mismos medios utilizados para su entrega, entre los días 29 de Mayo y 17 de Junio de 2008. De los 36 expertos, 24 contestaron en la fecha pedida (tasa de respuesta $\approx 66,7\%$).

III.5 Resultados de la metodología propuesta

Los resultados de la aplicación de la encuesta definitiva se encuentran en el Anexo J. Como una forma de resumir estos resultados, se presenta la Tabla III-5 y la Tabla III-6, en ellas se muestra el promedio de rugosidad objetivo y rugosidad umbral, respectivamente, considerando a todos los encuestados para cada uno de los escenarios propuestos. Producto de los análisis estadísticos que se hacen más adelante, podrá observarse la forma en que estas tablas fueron modificadas. Se pueden observar a simple vista que existen marcadas diferencias al variar las variables “Clase” y “TMDA”, no existiendo un aporte notable de la variable “TMDA pesado” en la respuesta de los expertos. En la siguiente sección, así como en el Anexo K, se realizan los análisis estadísticos de dichas variables.

Tabla III-5: Factorial completo para IRI objetivo.

Resultados panel piloto: Media IRI objetivo según escenario						
TMDA	%TMDA Pesado	Clase				
		A	B	C	D	E
7	20%	6,2	6,9	7,4	8,4	8,7
	40%	6,4	6,9	7,6	8,5	8,7
40	20%	5,7	6,3	7,1	7,8	8,4
	40%	5,7	6,1	7,0	7,8	8,3
300	20%	4,9	5,3	6,1	6,8	7,4
	40%	4,6	5,2	6,0	6,8	7,3

Tabla III-6: Factorial completo para IRI umbral.

Resultados panel piloto: Media IRI umbral según escenario						
TMDA	%TMDA Pesado	Clase				
		A	B	C	D	E
7	20%	9,4	10,2	11,2	12,3	13,1
	40%	9,6	10,1	11,2	12,2	13,0
40	20%	8,8	9,5	10,5	11,6	12,5
	40%	8,8	9,1	10,2	11,5	12,1
300	20%	7,8	8,3	9,2	10,2	11,3
	40%	7,5	8,1	9,1	10,4	11,0

III.6 Análisis de Datos

Para el análisis de los datos, se utilizó la metodología presentada por de Solminihaç (1987). El análisis consta de cinco pasos: creación de una base de datos, verificar que las hipótesis para el análisis estadístico se cumplen (normalidad y homogeneidad de varianzas), realizar un análisis de varianza, realizar análisis posteriores (promedios, regresiones, etc.) e interpretar los resultados. Cada uno de los pasos seguidos se detalla en las secciones posteriores.

III.6.1 Creación de la base de datos

Se generó una base de datos con las respuestas de los expertos. Esta base sirvió para tener comodidad en el manejo de los datos para el análisis estadístico. El detalle de dicha base de datos se presenta en el Anexo K.

III.6.2 Verificación de las hipótesis para el análisis estadístico

El análisis realizado a los resultados de la encuesta definitiva consistió en verificar la homogeneidad y consistencia de las respuestas entregadas por los expertos en cada uno de los escenarios. Para evaluarlas, se utilizaron las siguientes pruebas en cada escenario:

- i) Consistencia 1: Aplicación del Teorema de Chebychev. El 95% de las respuestas debe ubicarse entre la media ± 2 desviaciones estándares (Newbold, 1997).
- ii) Consistencia 2: Aplicación del Test de Grubbs. G1 y G2 deben ser menores que los valores críticos de Grubbs, donde G1 es el valor absoluto de la diferencia entre la media y el valor más extremo, dividido por la desviación estándar y G2 es la diferencia entre el valor extremo mayor y el valor extremo menor, dividido por la desviación estándar (Burke, 1999).
- iii) Homogeneidad: Coeficiente de variación. La desviación estándar debe ser menor al 50% de la media (Landeta, 1999).

Las respuestas de aquellos expertos que en más del 20% de los escenarios no eran consistentes, o hacían que la muestra no fuera homogénea, fueron eliminadas. Luego de eliminadas las respuestas de el experto se volvían a realizar los test, para que, en caso de ser necesario, se volvieran a eliminar las respuestas de otro experto. Producto de este análisis fueron eliminadas las respuestas de 4 expertos para el caso de IRI objetivo e IRI umbral.

III.6.3 Análisis estadístico

Este análisis sirvió para determinar cuáles de los factores tienen significancia estadística en la estimación de la variable IRI umbral e IRI objetivo. El análisis estadístico incluyó la realización de ANOVA para ambas variables dependientes, con ayuda del software MINITAB® (Minitab Inc, 2005). El ANOVA inicial para la variable IRI objetivo e IRI umbral se muestra en la Tabla III-7 y en la Tabla III-8 respectivamente.

Tabla III-7: ANOVA inicial para IRI objetivo

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,7803	0,1146	76,60	0,000
TMDApesado	-0,004667	0,002932	-1,59	0,124
TMDA	-0,004239	0,000224	-18,94	0,000
ClaseN	-0,66333	0,02073	-31,99	0,000
S = 0,160607 R-Sq = 98,16% R-Sq(adj) = 97,94%				

Tabla III-8: ANOVA inicial para IRI umbral

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,5395	0,1847	73,30	0,000
TMDA	-0,004722	0,000361	-13,09	0,000
TMDApesado	-0,004000	0,004725	-0,85	0,405
ClaseN	-0,99333	0,03341	-29,73	0,000
S = 0,258822 R-Sq = 97,60% R-Sq(adj) = 97,32%				

En estas tablas se observa que la variable “TMDA pesado” es poco significativa en ambos modelos ($P > 0,05$ en ambos casos). Por esta razón, dicha variable fue extraída para la realización de un nuevo ANOVA, siendo obtenida la Ecuación III-1 y la Ecuación III-2. El error y el coeficiente de determinación de los nuevos modelos ajustados son de la misma magnitud en ambos casos. La significancia de ambos modelos finales fue corroborada con el test-F, arrojando valores de 1.308,0 y 1.066,4 respectivamente, siendo ambos muy superiores al valor $F_{(2, 27, 0,01)}$ crítico de 5,49.

$$\text{IRI_objetivo} = 8,640 - 0,00424 \text{ TMDA} - 0,6633 \text{ Clase}$$

$$\text{Ecuación III-1 } (R^2_{\text{ajust}} = 97,9\% ; \text{ error típico} = 0,16)$$

$$\text{IRI_umbral} = 13,420 - 0,00472 \text{ TMDA} - 0,993 \text{ Clase}$$

$$\text{Ecuación III-2 } (R^2_{\text{ajust}} = 97,3\% ; \text{ error típico} = 0,26)$$

El análisis de estadístico completo se encuentra en el Anexo K.

III.6.4 Análisis posteriores

Además de realizar los respectivos Análisis de Varianza y de Regresión, es conveniente también realizar un análisis de las representaciones gráficas de las expresiones encontradas. En las siguientes figuras se muestran gráficos de dispersión, para comparar los valores de IRI ajustados obtenidos con las expresiones encontradas, versus el IRI real asignado por los expertos.

Figura III-7: Comparación de IRI objetivo real versus ajustado

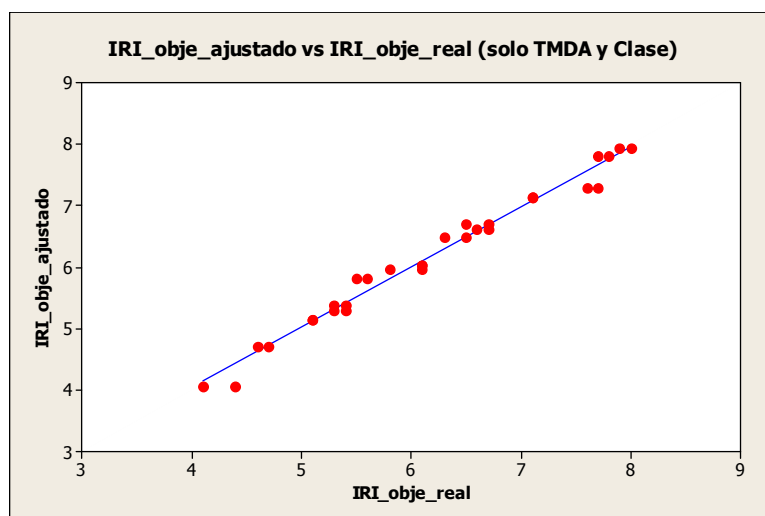
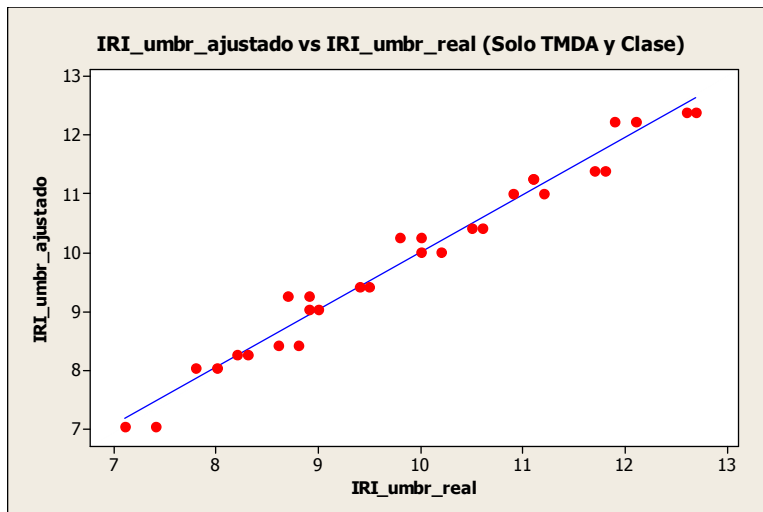


Figura III-8: Comparación de IRI umbral real versus ajustado



Podemos ver en la Figura III-7 y en la Figura III-8 muestran evidencia gráfica que tanto el IRI objetivo como el IRI umbral pueden ser determinados mediante modelos lineales descritos en la Ecuación III-1 y la Ecuación III-2.

III.6.5 Validación de los resultados obtenidos

Se intentó realizar la validación de los resultados obtenidos, mediante dos formas: una interna y otra externa.

a) Validación estadística de las ecuaciones obtenidas

Esta validación consistió en comprobar que los valores de IRI_{umbral} obtenidos mediante las ecuaciones propuestas son estadísticamente iguales a los obtenidos por un subconjunto de expertos ajenos a los considerados para la obtención de dichas ecuaciones. Para ello, se utilizaron las encuestas de 3 expertos que respondieron la encuesta con posterioridad al comienzo del análisis para la obtención de las ecuaciones.

Con estas encuestas se procedió a calcular el promedio por escenario de manera análoga a la fase anterior, es decir, en primer lugar se corroboró que las respuestas fueran

consistentes y homogéneas, siendo necesario excluir a uno de los expertos. A continuación, con los dos expertos restantes, se calculó el promedio de cada escenario. Por otra parte se calculó el IRI_{umbral} utilizando las ecuaciones presentadas anteriormente, para cada escenario. Para materializar la comparación, se realizó un “Test-t de dos muestras” y un “Test-t pareado” entre los valores obtenidos con la ecuación y los valores entregados por el nuevo mini-panel de expertos¹⁹. Los resultados estadísticos de estas pruebas se muestran en la Tabla III-9.

Tabla III-9: Test-t de dos muestras y Test-t pareado para el IRI_{umbral}

Test-t de 2 muestras para IRI_{umbral}		Test-t pareado para IRI_{umbral}	
Estimación de la diferencia	0,0867	Media de la diferencia	0,0867
Intervalo de la diferencia al 95% de confianza	(-1,019 ; 1,193)	Intervalo de la diferencia media al 95% de confianza	(-0,445 ; 0,618)
valor-t	0,160	valor-t	0,330
valor-p	0,875	valor-p	0,741

Los resultados del primer test-t (de dos muestras) indican que no hay diferencia significativa entre el promedio de los 30 IRI_{umbral} obtenidos con la ecuación y el promedio de los 30 IRI_{umbral} entregados por el mini-panel (valor-p muy superior a 0,05).

Los resultados del segundo test-t (pareado) indican que no hay diferencia significativa entre cada uno de los 30 IRI_{umbral} obtenido con la ecuación y cada uno de los 30 IRI_{umbral} entregados por el mini-panel (valor-p muy superior a 0,05).

Se repitió el mismo procedimiento para el caso del $IRI_{objetivo}$, obteniéndose los resultados que se muestran en la Tabla III-10.

¹⁹ Las respuestas de los expertos del mini-panel se muestran en el Anexo N

Tabla III-10: Test-t de dos muestras y Test-t pareado para el IRI_{umbral}

Test-t de 2 muestras para $IRI_{objetivo}$		Test-t pareado para $IRI_{objetivo}$	
Estimación de la diferencia	-0,640	Media de la diferencia	-0,640
Intervalo de la diferencia al 95% de confianza	(-1,286 ; 0,006)	Intervalo de la diferencia media al 95% de confianza	(-0,920 ; -0,360)
valor-t	-1,990	valor-t	-4,680
valor-p	0,052	valor-p	0,000

Los resultados del primer test-t (de dos muestras) indican que no hay diferencia significativa entre el promedio de los 30 $IRI_{objetivo}$ obtenidos con la ecuación y el promedio de los 30 $IRI_{objetivo}$ entregados por el mini-panel (valor-p levemente superior a 0,05).

Los resultados del segundo test-t (pareado) indican que existe una diferencia significativa entre cada uno de los 30 $IRI_{objetivo}$ obtenido con la ecuación y cada uno de los 30 $IRI_{objetivo}$ entregados por el mini-panel (valor-p inferior a 0,05). Si bien existe esta diferencia, se observa que el intervalo de confianza de la diferencia media (al 95%) está entre -0,92 y -0,36, es decir, existe diferencia, sin embargo no superaría a la unidad en cada uno de los escenarios (esto se traduce en una diferencia en la estimación del IRI objetivo menor a 1 m/km).

b) Comparación de los resultados con otras experiencias similares

Tal como se mencionó con anterioridad en el presente capítulo, existen precedentes de estudios similares en cuanto al establecimiento de IRI límite para el caso de caminos pavimentados, en Chile. Si los valores de IRI umbral obtenidos en el presente estudio son contrastados con los valores de “ IRI límite” obtenidos por de Solminihac et al. (2003) para vías pavimentadas, mostrados en la Tabla III-2, se puede notar que, tal como se esperaría, los valores para caminos pavimentados son algo menores que los

correspondientes para caminos no pavimentados (valores entre 5 y 8 m/km para los pavimentados y valores entre 7 y 13 m/km para los no pavimentados).

Además, existen valores de rugosidad umbral propuestos por Lampinen (Johanson, 2006) para el caso de caminos de grava de los países de la periferia nórdica europea. No fue posible relacionar estos valores con los obtenidos en la presente investigación ya que no fue encontrada una expresión que correlacione la rugosidad en unidades de aceleración con la una medida en metros por kilómetro²⁰.

III.6.6 Interpretación de resultados y conclusiones

Los análisis estadísticos realizados indican que existe una relación lineal entre las características TMDA y Clase con respecto al IRI umbral y al IRI objetivo propuestos por el panel de expertos. Se observó que la variable “TMDA pesado” no fue incluida en el modelo debido a que era poco significativa para explicar tanto el IRI umbral como el IRI objetivo. Por lo tanto, las ecuaciones finales mostradas serán la Ecuación III-1 y la Ecuación III-2, válidas para evaluar caminos de todas las clases y con tránsitos de entre 7 y 300 vehículos.

Al ser comparados los valores de IRI umbral con los datos de los Anexos B y C se observan dos cosas:

- Todos los valores de IRI umbral obtenidos son mucho menores que los valores máximos de rugosidad encontrados en el experimento IRRE (Sayers et al., 1986).
- Ninguno de los valores de IRI umbral propuestos, para ningún tipo de camino, sobrepasa un IRI de 13 m/km. De cumplirse estos umbrales,

²⁰ No fue posible disponer de expresiones de correlación entre las unidades de aceleración (m/s^2) y unidades de IRI (m/km), pese a realizar las consultas pertinentes al autor del capítulo del mencionado proyecto ROADDEX y a personal del Laboratorio Nacional de Vialidad.

permitiría velocidades de circulación superiores a 50 km/h para todo tipo de vehículos en caminos rectos y planos.

De los cerca de 58.000 kilómetros de caminos no pavimentados, cerca de 10.000 de ellos no tienen información del tránsito que circula por ellos. De los restantes que cuentan con información completa, se escogieron aquellos que tenían tránsito inferior a 500 veh/día y se les evaluó el IRI umbral y el IRI objetivo según las expresiones encontradas en el presente estudio. Los resultados de ese proceso se encuentran en la Figura III-9 y la Figura III-10. De ellas se pueden hacer múltiples observaciones:

- Se esperaría que la distribución fuera sigmoideal, pero existen muchos caminos clase D y E, por lo que a una gran proporción de los caminos se les asigna los menos exigentes IRI umbral e IRI objetivo.
- A más de dos tercios de los tramos se les asigna un IRI umbral superior a los 11 m/km. Dicho umbral es superado por el IRI de apenas 6 de los tramos testigo del capítulo anterior.
- Al 100% de los tramos se les asigna un IRI objetivo menor a 8 m/km. Dicho objetivo es algo menor que el IRI promedio de los tramos testigo (8,9 m/km), por lo que puede decirse que la situación de los tramos testigo no es tan crítica con respecto a la rugosidad que los expertos esperan encontrar en ellos.

Las ecuaciones obtenidas con la metodología propuesta entregan valores consecuentes con la realidad nacional de caminos no pavimentados y acordes a las recomendaciones para caminos pavimentados.

Figura III-9: Evaluación del IRI umbral de la Red Vial No Pavimentada

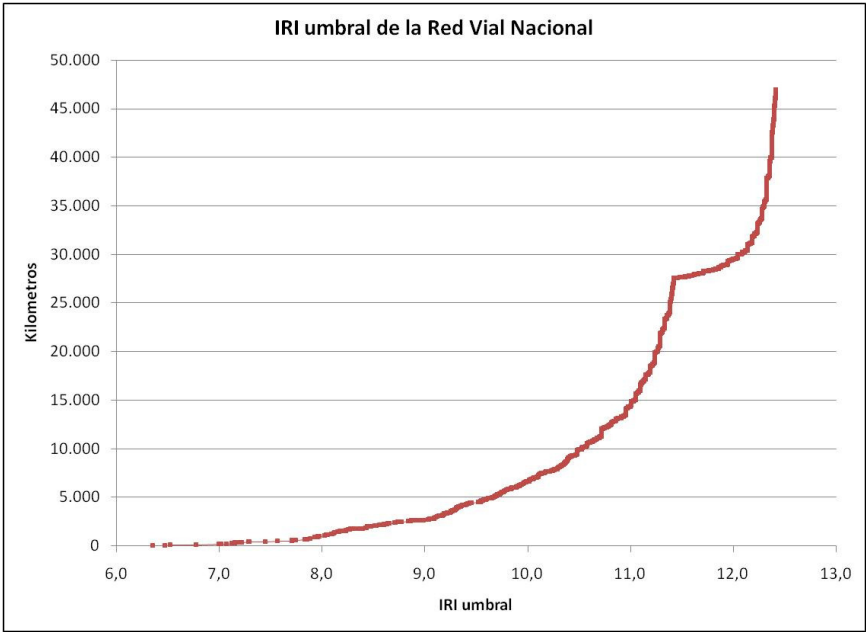
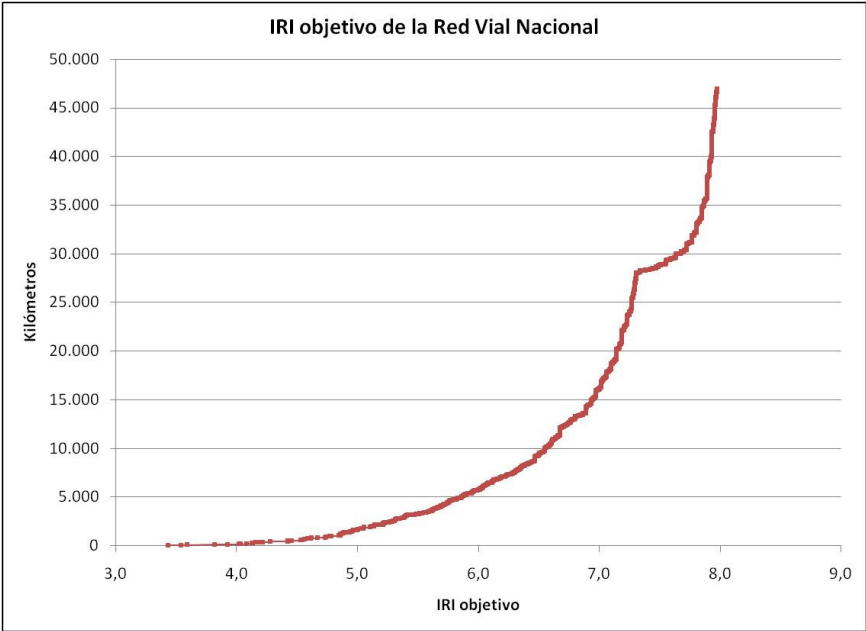


Figura III-10: Evaluación del IRI objetivo de la Red Vial No Pavimentada



En la Figura III-9 , así como en la Figura III-10, se observa un punto singular en torno al kilómetro 30.000, en donde se observa un quiebre en la curva conformada por el IRI umbral e IRI objetivo respectivamente. Esto corresponde a un salto por culpa de un cambio en la clase de los caminos. En realidad existen 4 puntos de quiebre en cada curva, sólo que el cambio entre la clase D y la clase E es el más evidente. Esto ocurre porque la variable “Clase” es discreta (toma valores de 1, 2, 3, 4 ó 5).

Los valores de IRI umbral pueden ser utilizados como datos de entrada en la definición de acciones de conservación “por respuesta” al realizar evaluaciones técnico-económicas con el modelo HDM-4.

Los valores de IRI objetivo pueden ser utilizados como medida de preselección de las alternativas comparables, en una evaluación técnico-económica utilizando HDM-4.

IV DETECCIÓN DE NECESIDADES DE MANTENCIÓN

IV.1 Introducción

En Gestión de Infraestructura, la conservación o mantención es entendida como el conjunto de actividades requeridas para mantener un componente, sistema o cualquier activo de infraestructura funcionando tal como fue originalmente diseñado y construido para hacerlo (Hudson et al., 1997). Sin embargo, muchos de los caminos no pavimentados y específicamente aquellos de tierra, no fueron diseñados ni construidos. Por lo tanto, el objetivo de la conservación, entonces, será el de mantenerlos funcionando según un estándar mínimo a cumplir. Estos estándares fueron objeto de estudio de la presente investigación.

En el Anexo A se muestran las 4 actividades de mantención consideradas por el Manual de Carreteras (MOP, 2000) a ejecutarse en los caminos no pavimentados tanto de tierra como de grava. Puede verse que las posibles operaciones a ejecutar son limitadas. Para detectar la necesidad de aplicar alguna de estas operaciones en un tramo particular, en el presente capítulo se conceptualiza una metodología sencilla que toma los dos elementos desarrollados anteriormente:

- i) Las ecuaciones para estimar el IRI a partir de la inspección visual realizada.
- ii) Las ecuaciones para determinar el IRI umbral e IRI objetivo para distintos tipos de caminos.

Por un lado se obtuvo que la condición de serviciabilidad de un camino (IRI) puede ser estimada con mediana exactitud a partir de los deterioros presentes en el camino. Por otro lado se obtuvieron ecuaciones que relacionan las características de tránsito y clase con la condición de serviciabilidad que debe mantener el mismo.

IV.2 Proposición de la metodología

Para la detección de necesidades de mantención y su priorización, se propone utilizar una lógica de comparación entre “lo que hay” y “lo que debería haber”²¹. Eaton y Beaucham (1992), por ejemplo, proponen umbrales mínimos para la condición de un camino de grava en función del tránsito que tiene, asignando mayor prioridad a aquellos caminos que tengan una mayor diferencia entre su condición actual y la condición exigida.

En el presente trabajo, esta comparación se traduce en la diferencia “ $IRI_{\text{estimado}} - IRI_{\text{umbral}}$ ”, entonces el tramo requerirá ser mantenido, si esta diferencia es mayor a cero. Los caminos que deben ser mantenidos ingresan a un listado de tramos candidatos. En caso que en un futuro se extienda la medición de IRI a los caminos no pavimentados, se propone reemplazar el valor de IRI_{estimado} por el valor de IRI_{medido} . Sin embargo, en este último caso, se propone continuar con la inspección visual con el objetivo de calibrar las ecuaciones entregadas en el presente estudio. Luego de elaborada la nómina de tramos candidatos, estos se listan en orden decreciente de acuerdo a la diferencia que existe entre el $IRI_{\text{estimado/medido}}$ y el IRI_{umbral} . De esta forma, la lista será encabezada por aquellos tramos que estén en peores condiciones con respecto a como deberían estar, y por lo tanto, aquellos que tienen una mayor necesidad de ser intervenidos. Pese a que no es el objetivo del presente estudio el recomendar una operación determinada que deba ejecutarse en los tramos que requieren mantención, se pueden entregar ciertas directrices recogidas de la literatura (Anexo L), orientadas principalmente a realizar reperfilados de mayor envergadura cuando los deterioros sean mayores (incluyendo compactación posterior), en casos donde el deterioro no se mejora con un simple reperfilado, aplicar un recebo granular y en casos que existan deterioros persistentes, aplicar tratamientos mayores como la estabilización química que ayudan en la eliminación de calaminas y polvo (Bellolio, 2005).

²¹ Tal como lo proponen Eaton y Beaucham (1992)

Es pertinente a esta última etapa la aplicación del criterio de los encargados del mantenimiento, al determinar cuál será la solución a tomar. En la Figura IV-1 se muestra un diagrama de la metodología propuesta.

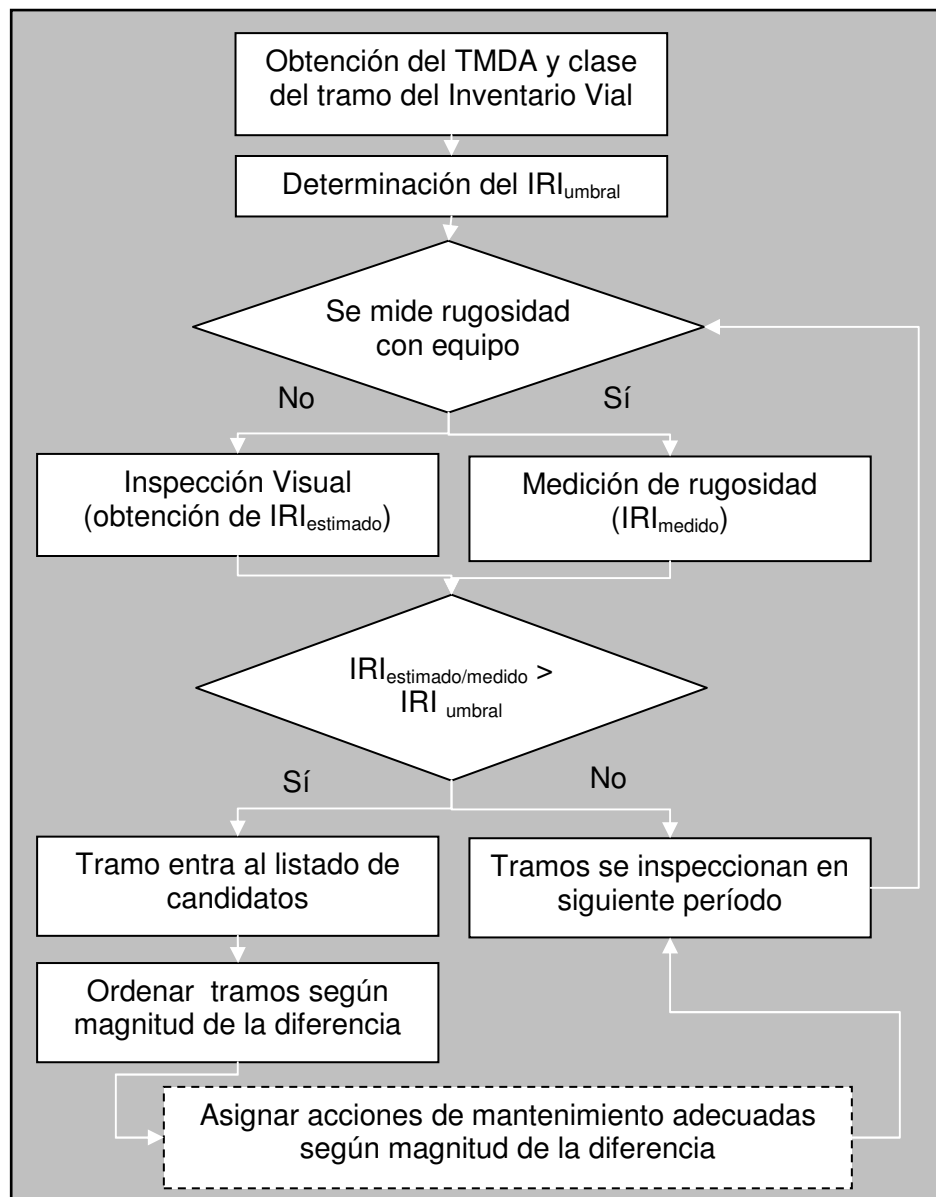
Tal como lo recomienda la literatura (Eaton y Beaucham, 1992), el procedimiento para detectar acciones de conservación debiera repetirse entre 1 a 4 veces cada año, intensificando la inspección en tramos donde el tránsito y el clima evidencien un cambio más rápido en la condición de los caminos. Respecto a este punto, se puede elaborar una matriz con la frecuencia de inspección recomendada según las características del camino, como se hace en la Tabla IV-1²².

Tabla IV-1: Frecuencia de inspección propuesta inicialmente (veces/año)

CLIMA	TMDA		
	Bajo	Medio	Alto
Seco	1	1	2
Humedo	2	3	3
Lluvioso	3	4	4

²² La frecuencia de inspección debe ser fijada con antelación y debe ser ajustada según la variación real que tenga la condición de cada camino en el tiempo.

Figura IV-1: Esquema general de la metodología propuesta



IV.3 Ejemplo de aplicación - Validación de la metodología

Como una forma de validar la metodología propuesta, en el Anexo M se muestra el resultado de la aplicación de ésta al conjunto de tramos testigo utilizados en el capítulo II. En primer lugar se obtuvieron del inventario vial los datos de “Clase” y “TMDA” de

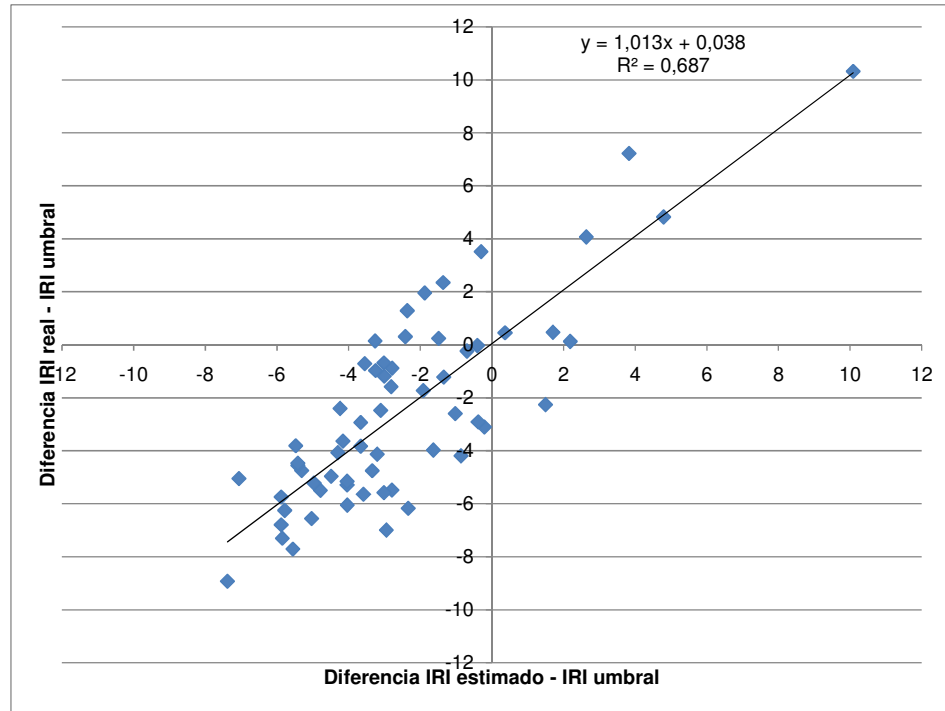
cada uno de los tramos. Ambos valores se utilizaron en la determinación del IRI umbral, para lo cual se utilizaron las expresiones para tierra y ripio encontradas. A continuación se toman los datos de la inspección realizada y se estima el IRI del tramo con la ecuación encontrada. Luego se listaron los tramos en orden decreciente con respecto a la diferencia entre el IRI estimado y el IRI umbral. En el listado se puede apreciar que existen 8 tramos que deben ser intervenidos, ya que superan los umbrales propuestos. También se puede observar que existe otra cantidad importante de tramos, en los que si bien el IRI estimado se mantiene por debajo del umbral propuesto, la diferencia es muy pequeña (diferencia entre 0 y 1,5 m/km.), por lo que podrían ser integrados al listado de tramos candidatos. Por lo tanto, en una siguiente etapa, falta decidir cual de las operaciones se llevará a cabo en los tramos seleccionados, asociándole un costo a cada una de ellas.

En la última columna de la Tabla del Anexo M puede verse que al utilizar el IRI medido en vez del IRI estimado para la detección de necesidades, la lista de tramos candidatos debe modificarse levemente: sale un tramo e ingresan 5. Esto puede verse en la

Figura IV-2, en donde se grafica la diferencia de “IRI real menos IRI umbral” versus la diferencia de “IRI estimado menos IRI umbral”. Lo ideal sería que según ambos criterios la diferencia tuviera el mismo signo, es decir, que los puntos se ubicaran todos en el primer o en el tercer cuadrante. Se observa que la gran mayoría de los puntos se ubican en ambos cuadrantes²³. Esto muestra la aplicabilidad que tiene la metodología propuesta.

²³ Específicamente en el primer cuadrante, figuran aquellos tramos que, utilizándose el IRI real o el IRI estimado como criterio de comparación, deben ser intervenidos.

Figura IV-2: Diferencia IRI umbral con el IRI real e IRI estimado



V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V.1 Conclusiones

a) Conclusiones generales:

- La enorme variedad de los materiales componentes de los caminos no pavimentados y la gran heterogeneidad de las características de los materiales incluso dentro de un mismo tramo, además de la dificultad técnica y económica de contar con variables de entrada precisas (como el tránsito o la pluviometría mensual), hacen que el enfoque propuesto para administrar los caminos no pavimentados esté centrado en una respuesta a la condición del camino, más que en una modelación y una planificación a largo plazo de las actividades a ejecutar, como se realiza con los caminos pavimentados. Es por esta razón que se sugiere la realización de inspecciones con determinada frecuencia para verificar el cumplimiento de los umbrales.
- Se cumplió el objetivo general propuesto inicialmente, debido a que se desarrolló una metodología sencilla y objetiva que permite detectar y priorizar la necesidad de conservación en caminos no pavimentados, a partir de una inspección visual. La aplicación de esta metodología constituye una base para la toma de decisiones en la administración de los caminos no pavimentados. Esta metodología está basada en múltiples análisis estadísticos de variables registradas en terreno y obtenidas a partir del conocimiento y experiencia de las personas que más saben sobre pavimentos y caminos en Chile.
- El procedimiento utilizado para determinar la metodología propuesta es claro y puede repetirse y readecuarse en cualquiera de sus partes, en caso necesario (cambio de metodología de inspección, composición de otro panel de expertos, utilización de rugosímetro alternativo como el MIS-4, etc.).

- Vale la pena destacar que la presente investigación no pretendía obtener un sistema de gestión, pues, como puede verse en el capítulo I, hacen falta muchos elementos, solo pretendía servir de apoyo al sistema actual de administración del mantenimiento (SAM) utilizado por la Dirección de Vialidad, en cuanto a superar la falencia que presentaba al realizar la detección de necesidades de conservación.

b) Conclusiones respecto de las expresiones de correlación IRI-deterioros:

- Los datos de inspección visual utilizados para el desarrollo de las ecuaciones para la estimación del IRI fueron recolectados utilizando la Metodología de Inspección Visual (MOP, 2008) recientemente desarrollada por la Dirección de Vialidad del MOP, por lo que se adecua a la realidad nacional. La medición de IRI con el equipo Bump Integrator fue realizada siguiendo el manual del usuario (Bennet, 2001). En cuanto a la experiencia misma de la utilización del Bump Integrator para la medición de rugosidad en caminos no pavimentados se pudo comprobar que tiene un correcto desempeño, lográndose repetibilidades adecuadas a lo que se espera para un rugosímetro tipo respuesta (en medición cada 100 metros, repetibilidad media de 0,9 m/km y en medición cada 1.000 metros, repetibilidad de 0,4 m/km). Además es un equipo muy versátil, que puede realizar mediciones a velocidades desde 15 km/h hasta más de 80 km/h, dependiendo de las velocidades para las que se realizó la calibración del equipo. Se recomienda la utilización de este equipo a una velocidad de 30 km/h, ya que esta velocidad permite realizar mediciones en caminos muy deteriorados, en donde adoptar velocidades superiores son peligrosas para la integridad del vehículo y sus ocupantes.
- Los análisis estadísticos realizados para el desarrollo de las ecuaciones que relacionan el IRI con los deterioros dan cuenta de la existencia de una correlación significativa (60% ripio y 70% tierra), sin embargo esta puede ser mejorada, aplicando la metodología propuesta a una mayor cantidad de tramos testigo.

- En caso de disponer de equipos de medición de IRI, se recomienda realizar de todas formas la inspección visual en aquellos tramos que se incorporen a la lista de tramos candidatos. Esto último es necesario para poder determinar la actividad de mantención a ejecutar. En este sentido, puede caerse en la tentación de no realizar inspección visual, sin embargo, por lo menos debe tenerse una idea de cuál es el principal deterioro que está afectando la rugosidad del tramo.

c) Conclusiones respecto a la determinación de rugosidades umbral y objetivo:

- Los datos de opinión de expertos utilizados para la determinación de las rugosidades umbral y objetivo, fueron tomados utilizando recomendaciones de publicaciones actuales relativas al tema (Landeta, 1999; Vélez, 2003; Márquez, 2006), obteniéndose datos homogéneos y consistentes de acuerdo a dichas publicaciones.
- Los análisis estadísticos realizados para determinar las ecuaciones que relacionan el IRI objetivo e IRI umbral con las características del tramo dan cuenta de una alta correlación (97% IRI umbral y 98% IRI objetivo) entre ellas. Respecto a las variables consideradas para la confección de los escenarios, fue importante notar que el porcentaje de tránsito pesado no es determinante, según la opinión de los expertos, en la determinación de la rugosidad umbral ni objetivo.

V.2 Recomendaciones para la aplicación de la metodología propuesta

- Se recomienda realizar una aplicación piloto de la metodología propuesta, seleccionando un grupo de provincias con una red de caminos no pavimentados de tamaño medio, e implementar en ellas esta metodología. Luego asignarles un presupuesto para llevar a cabo la implementación y posteriormente evaluar la experiencia, sobre todo en lo relativo a los costos y plazos requeridos para llevar a cabo la inspección, así como para evaluar los costos necesarios para mantener la red en las condiciones objetivo propuesta por los expertos.

- También se recomienda almacenar la rugosidad (estimada o medida) en los distintos períodos de inspección, con el objetivo de asociar la condición promedio que tienen los tramos de la red a lo largo de su vida útil con los montos de inversión requeridos para mantener el camino en esa condición (esto es, tener un indicador de eficiencia). Este dato puede ser muy útil a la hora de realizar el traspaso de una red administrada bajo la modalidad de administración directa a una del tipo conservación global.
- Puesto que la idea de la inspección es detectar las necesidades de conservación, se recomienda eliminar ciertos vicios como realizar la inspección a penas se terminan los trabajos de conservación.
- A medida que la Dirección Nacional de Vialidad implemente la Metodología de Inspección Visual, se recomienda realizar mediciones de IRI en algunos tramos luego de realizada la inspección y así tener más tramos con los cuales hacer la correlación IRI-deterioros.
- Hay que recordar que se ha propuesto solo la detección de necesidades de mantención para la superficie de rodadura de los caminos, no así la de los elementos de seguridad y señalización. Para éstos se debe hallar otro tipo de políticas de mantención sistemática, o bien homologarlo con respecto al utilizado en vías pavimentadas, pues constituyen parte importante del nivel de servicio ofrecido al usuario.

V.3 Futuras líneas de investigación

- Como futura línea de investigación se propone realizar un seguimiento a la rugosidad de los caminos no pavimentados, sobre todo para averiguar la efectividad de las actividades de conservación en cuanto al aumento en el nivel de serviciabilidad de los usuarios. De esta manera se puede determinar la actividad que mejor logra un objetivo de rugosidad en determinadas circunstancias de deterioro, tránsito, clima, etc.

- Otra futura investigación a realizar consiste en la evaluación de la rugosidad remanente que los caminos tienen luego de que son realizadas las operaciones sobre ellos. Esto porque actualmente no se cuenta con un criterio de aceptación de los trabajos realizados en caminos no pavimentados.
- Otra línea de investigación que surge a propósito del presente trabajo, corresponde a la necesidad de establecer una metodología para la detección de necesidades de conservación para caminos con algún tipo de estabilización y a los contemplados dentro del proyecto “Caminos Básicos 5.000” del MOP. En este mismo sentido, se podrían establecer umbrales de intervención para caminos no pavimentados que cumplen fines específicos como son los caminos utilizados en industrias mineras o forestales.

BIBLIOGRAFIA

AASHTO (1993). *AASHTO guide for design of pavement structures*. Washington D. C., EE.UU., AASHTO.

Almonacid, M. y Gahona, C. (2002). Sistema de Administración del Mantenimiento. En Dirección de Vialidad (Ed.), *6º Congreso Internacional PROVIAL*. Chillán, Chile: Dirección de Vialidad.

Al-Omari, B. y Darter, M. (1995). Effect of Pavement Deterioration Types on IRI and Rehabilitation. *Transportation Research Record*, 1505. 57-65

Alzubaidi, H., (2001). On rating of gravel roads, Royal Institute of Technology, Department of Infrastructure. Stockholm, Suecia.

Archondo-Callao, R. (2004). *RED: Software User Guide & Case Studies*. Washington, EE.UU.: The World Bank.

Archondo-Callao, R. (1999). *Unpaved Roads' Roughness Estimation by Subjective Evaluation*. *Infrastructure Notes N° RT-2*. Washington, D.C., EE.UU.: The World Bank.

Astigarraga, E. (2005). *El método Delphi*. San Sebastián, España: Universidad de Deusto.

Austroroads (2006). *Asset Management of Unsealed Roads: Literatura Review, LGA Survey and Workshop (2000-2002)*. Sydney, Australia: Autor.

Baesso, D., y Gonçalves, F. (2003). *Caminos rurales – técnicas adecuadas de mantenimiento*. Santa Catarina, Brasil: [s.n].

Barrera, E., Hidalgo, P., de Solminiach, H., (2004). *Recomendaciones para el uso de HDM-4 en Chile*. Santiago, Chile: [s.n].

- Bellolio, J.P., (2005). *Metodología para la medición del polvo generado por vehículos en caminos no pavimentados*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Bennet, C. (2001). *ROMDAS: Data Collection System User's Guide (Version 5.4.a)*. Motueka, Nueva Zelanda: Data Collection Ltd.
- Burke, S. (1999). Missing values, outliers, robust statistics and non-parametric methods [version electrónica]. *LC*GC Europe Online Supplement*. 19–24.
- Caldwell, R. y Wilson, E. (1996). *Variable Safety Improvements for Unpaved Roads*. Wyoming, EE.UU.: University of Wyoming.
- De Solminihac, H. (1987). Metodología estadística para el estudio y evaluación de aspectos técnicos en la construcción. *Revista de Ingeniería de Construcción*, Vol 2 (1). 21-33.
- De Solminihac, H. Salsilli, R., Köhler, E. y Bengoa, E. (2003). Analysis of pavement serviceability for the AASHTO design method: the chilean case. *The Arabian Journal for Science and Engineering*. Vol 28 (2B), 143-160.
- Dewan S. y Smith, R. (2002). Estimating International Roughness Index from Pavement Distresses to Calculate Vehicle Operating Costs for the San Francisco Bay Area. *Transportation Research Record*, 1816 (1), 65-72.
- Eaton, R. y Beaucham, R. (1992). *Unsurfaced Road Maintenance Management*. Virginia, EE.UU.: CRREL.
- Gaete, R. (1994). *Análisis técnico y económico de acciones de conservación en pavimentos asfálticos*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

García, J. (1993). *Estudio del comportamiento de caminos no pavimentados de la zona central de Chile*. Tesis de maestría, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Gillespie, T., (1992). Everything you always wanted to know about the IRI, but were afraid to ask!. (sin Ed.), *4th Annual Road Profile Users Group Meeting*. Nebraska, EE.UU.

Giummarra, G. (2003). Establishment of a Road Classification System and Geometric Design and Maintenance Standards for Low-Volume Roads. *Transportation Research Record* No. 1819 (1), 132-140.

Granlund, J. (2000). *Whole-body vibration when riding on rough roads*. Borlänge, Suecia: Swedish National Road Administration.

Green, K., Armstrong, J. y Graefe, A. (2007). Methods to Elicit Forecasts from Groups: Delphi and Prediction Markets Compared. *The International Journal of Applied Forecasting*, N° de Otoño de 2007.

Hudson, W.R., Haas, R., Uddin, W., (1997). *Infrastructure Management*. Nueva York, EE.UU.: Mc Graw Hill.

Johansson, S. (2006). *Socio-economic impacts of road conditions on low volume roads: Results of literatura studies, interviews and calculations with a model and some proposals for road management policies*. Lulea, Suecia: ROADDEX.

Jones, D., Paige-Green, P. (2000). *Draft TMH12 - Pavement Management Systems: Standard Visual Assessment, Manual for Unsealed Roads*. Pretoria, Sudáfrica: Committee of Land Transport Officials.

Landeta, J. (1999). *El método delphi : una técnica de previsión para la incertidumbre*. Barcelona, España: Ariel.

Lebo, J. y Schelling, D. (2001). *Design and Appraisal of Rural Transport Infrastructure: Ensuring Basic Access for Rural Communities*. Washington, D.C., EE.UU.: World Bank.

Lee, D., Chatti, K. y Baladi, G (2002). Use of Distress and Ride Quality Data to Determine Roughness Thresholds for Smoothing Pavements as a Preventive Maintenance Action. *Transportation Research Record*, 1816 (1), 43-55.

Lin, J., Yau, J., Hsiao, L. (2003). Correlation analysis between International Roughness Index (IRI) and Pavement Distress by Neural Network. Chungli, Taiwan. Presentado en 82th TRB, Washington, D.C., EE.UU.

Loizos A. y Plati C. (2002). Road Roughness Measured by Profilograph in Relation to Users's Perception and the Need for Repair: A Case Study. En CD. *International Conference on Pavement Evaluation*, Roanoke, Virginia, EE.UU.

Makridakis, S. y Wheelwright, S. (1978). *Forecasting: Methods and Applications*. New York, EE.UU.: John Wiley and Sons.

Márquez, J. (2006). *Desarrollo de una metodología para determinar el estado de pavimentos y bermas*. Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

MetAs & Metrólogos Asociados (2003). Aplicación metrológica de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad [versión electrónica]. *La Guía MetAs*, 3 (11), 1-4.

Minitab Inc. (2005). Minitab (14.20). [Programa de computador]. EE.UU.: Minitab Inc.

Minitab Inc. (2003). *Meet MINITAB*. EE.UU.: Minitab Inc.

Montgomery , D., Runger., G. (2003). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 1a. ed.). New York, EE.UU.: John Wiley and Sons.

MOP (2000). *Manual de Carreteras, Volumen 7: Mantenimiento Vial*. Santiago, Chile: Autor.

MOP (2005). *Valor del patrimonio vial de la red vial nacional*. Santiago, Chile: Autor.

MOP (2006). *Sectorización 2006* [Base de datos electrónica]. Santiago, Chile: Autor.

MOP (2007). *Red Vial Nacional: Dimensionamiento y Características*. Santiago, Chile: Autor.

MOP. (2008). *Estudio Básico: Modelos de Deterioro de Caminos No Pavimentados*. Santiago, Chile: Autor.

Newbold, P. (1997). *Estadística para los negocios y la economía* (4ª ed.). Madrid, España: Prentice-Hall.

Odoki, J. y Keralli, H. (2000). *HDM-4, Volumen 4: Analytical Framework and Model Descriptions*, EE.UU.: PIARC – World Bank.

Pradena M., y Wolf, E. (2006). Ejecución y control de la conservación en caminos sin pavimento mediante nivel de servicio. *Revista de la Construcción*, 5 (1), 21-29.

Roohanirad, A. (2000). *Infrastructure Asset Management Need Study Guide - TransEducation Program*. Iowa, EE.UU.: [s.n].

Sayers, M., Gillespie, T., y Queiroz, C. (1986). *The International Road Roughness Experiment*. Washington, EE.UU.: The World Bank.

Schliessler, A. y Bull, A. (2004). *Caminos: un nuevo enfoque para la gestión y conservación de redes viales*. Santiago, Chile: CEPAL.

The World Bank (2005). *Surfacing Alternatives for Unsealed Rural Roads*. Washington, EE.UU.: Autor.

Thenoux, G. y Halles, F. (2002). Metodología simplificada de priorización de conservación de pavimentos a nivel de red. En Dirección de Vialidad (Ed.), *6º Congreso Internacional PROVIAL*. Chillán, Chile: Dirección de Vialidad.

Van Zyl, G., Henderson, M. y Uys, R. (2007). Applicability of Existing Gravel-Road Deterioration Models Questioned. *Journal of the Transportation Research Board*, 1989 (1), 217-225.

Vélez, I., (2003). *El Método Delphi*. Bogotá, Colombia: Facultad de Ingeniería Industrial Politécnico Grancolombiano.

Watanatada, T.; Clell, H. y William, P. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1, Description of the HDM-III Model*. Washington D.C., EE.UU.: The World Bank.

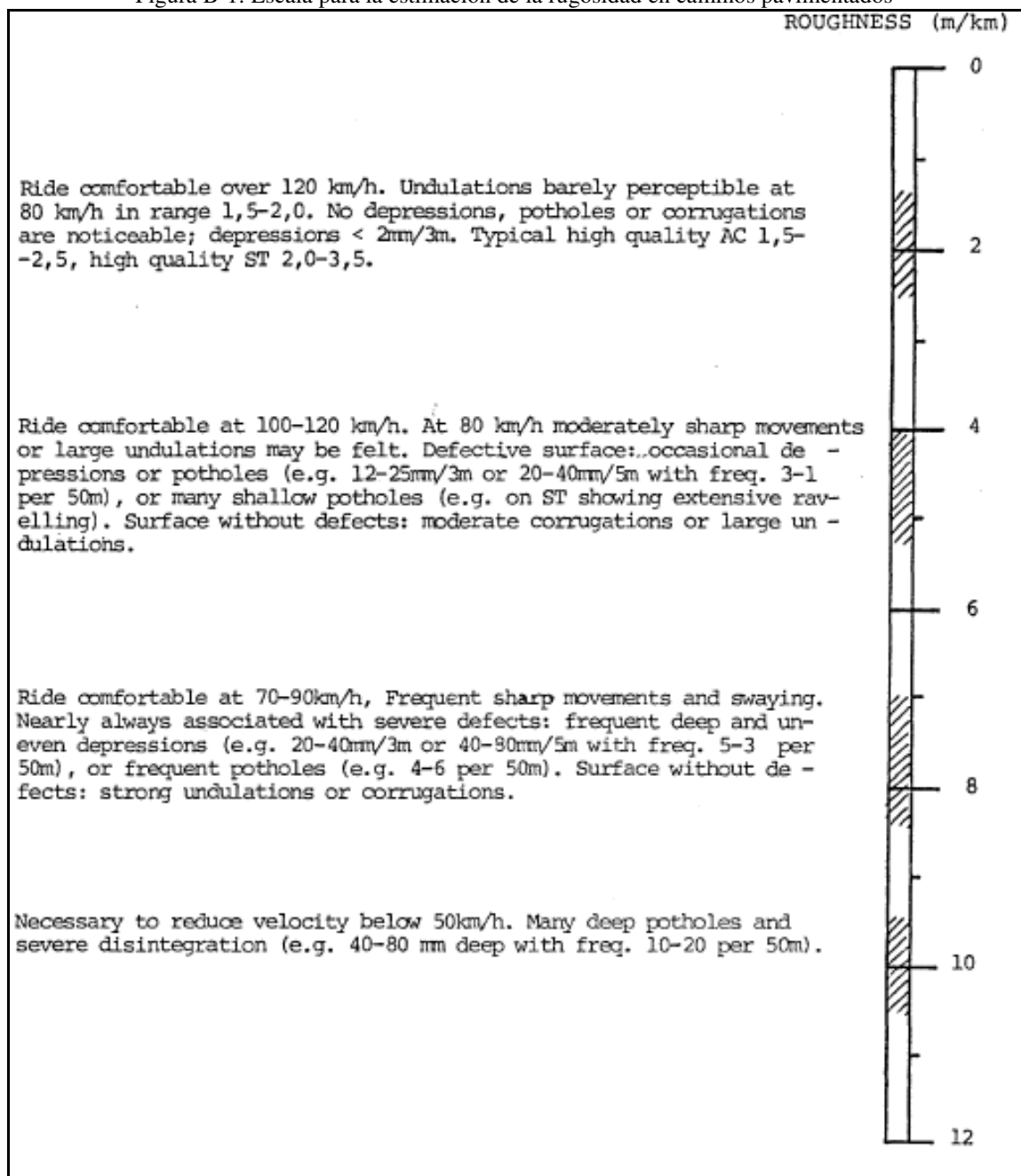
**ANEXO A - ACTIVIDADES DE MANTENCIÓN IDENTIFICADAS EN EL
MANUAL DE CARRETERAS**

Según el Manual de Carreteras (MOP, 2000) existen 4 actividades de mantenimiento aplicables a los caminos no pavimentados, estas son:

- i) **Reperfilado:** Consiste en reconformar la plataforma del camino a una situación similar a las condiciones de diseño, eliminando ahuellamientos, calaminas y acumulación de material y emparejando baches. Para esta actividad es indispensable el uso de la motoniveladora. En caso de ser necesario, previo al paso de la motoniveladora se puede contemplar un escarificado y riego de las zonas consolidadas. También puede ser especificada una compactación posterior al paso de la motoniveladora en caso de caminos de grava y/o maicillo.
- ii) **Reparación de áreas inestables:** Comprende la reparación de áreas de una calzada no pavimentada que son inestables producto de factores ajenos a la carpeta de rodadura. Esta actividad implica la reposición de estos estratos, como pueden ser la subrasante o un terraplén en el cual se sustenta un camino, así como la colocación de geotextiles en caso de ser necesario.
- iii) **Bacheo de carpetas granulares:** Esta actividad implica el relleno de los baches puntuales o zonas de baches que puedan existir en carpetas de ripio, sin la existencia de otros deterioros.
- iv) **Recebo de carpetas granulares:** Esta operación está compuesta por los trabajos necesarios para reconformar la plataforma de los caminos de carpetas granulares, adicionando el material que se pudo haber perdido por las precipitaciones y el paso del tránsito.

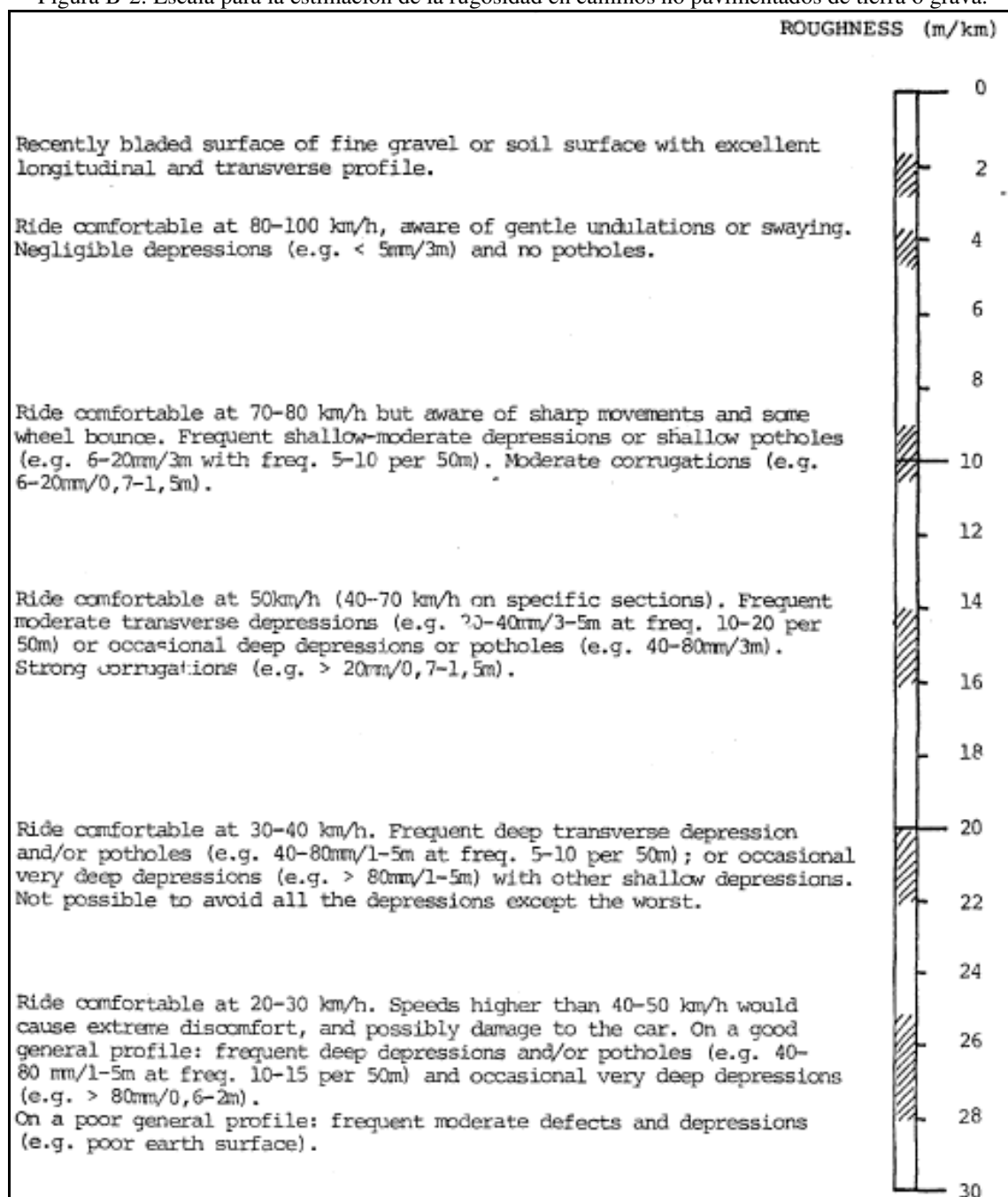
**ANEXO B - RANGOS DE VARIACIÓN DEL IRI SEGÚN EL EXPERIMENTO
IRRE**

Figura B-1: Escala para la estimación de la rugosidad en caminos pavimentados



Fuente: Sayers et al., 1986.

Figura B-2: Escala para la estimación de la rugosidad en caminos no pavimentados de tierra o grava.



Fuente: Sayers et al., 1986.

**ANEXO C - ESTIMACIÓN DE LA RUGOSIDAD, DESCRIPCIÓN DE
ARCHONDO-CALLAO.**

Tabla C-1: Estimación de la rugosidad según observación general de los deterioros.

Descripción del camino	Rango de rugosidad (IRI)
Superficies recién perfiladas de grava fina o superficies con excelente perfil longitudinal y transversal (usualmente se encuentran en pequeños tramos).	1,5 a 2,5
Recorrido confortable a 80 o 100 km/h, con suaves ondulaciones. Depresiones insignificantes y ausencia de baches.	3,5 a 4,5
Recorrido confortable a 70 o 80 km/h, pero con algunas movimientos de la rueda. Frecuentes depresiones pequeñas a moderadas y baches pequeños (6-30mm/m con frecuencia de 5-10 cada 50m.)	7,5 a 9,0
Recorrido confortable a 50 km/h (ó 40-70 km/h en secciones específicas). Frecuentes depresiones trasversales moderadas (20-40mm/3m-5m con frecuencia de 10-20 cada 50m.) u ocasionales baches o depresiones profundos (40-80mm/3m con frecuencia menor a 5 cada 50m.). Fuertes calaminas (mayores a 30mm/0,7-1,5m).	11,5 a 13,0
Recorrido confortable a 30-40 km/h. Frecuentes baches y/o depresiones profundos (40-80mm/1,5m con frecuencias de 5-10 cada 50m); u ocasionales depresiones muy profundas (80mm/1-5m con frecuencias menores que 5 cada 50m) con otras depresiones suaves. No es posible evitar todas las depresiones, salvo las peores.	16,0 a 17,5
Recorrido confortable a 20-30 km/h. Velocidades superiores a 40-50 km/h pueden causar incomodidad extrema y posibles daños al vehículo. En un buen perfil general: frecuentes baches y/o depresiones (40-80mm/1,5m con frecuencias de 10-15 cada 50m) y ocasionales depresiones muy profundas (mayores que 80mm/0,6-2m). En un pobre perfil general: frecuentes defectos y depresiones (pobre superficie de tierra).	20,0 a 22,0

Fuente: Traducido de Archondo-Callao, 2003.

Tabla C-2: Estimación de la rugosidad según la velocidad de circulación promedio de los vehículos.

Velocidad máxima en función de la rugosidad (km/h)							Rugosidad media (IRI)
Autos	Utilitarios	Buses	Camiones Livianos	Camiones Pesados	Camiones Articulado	Velocidad media	
106	105	105	105	94	84	100	6
80	78	78	78	71	63	75	8
64	63	63	63	57	50	60	10
53	52	52	52	47	42	50	12
46	45	45	45	40	36	43	14
40	39	39	39	35	31	37	16
35	35	35	35	31	28	33	18
32	31	31	31	28	25	30	20

Fuente: Traducido de Archondo-Callao, 2003.

ANEXO D - DESCRIPCIÓN DEL RUGOSÍMETRO UTILIZADO

Funcionamiento del rugosímetro

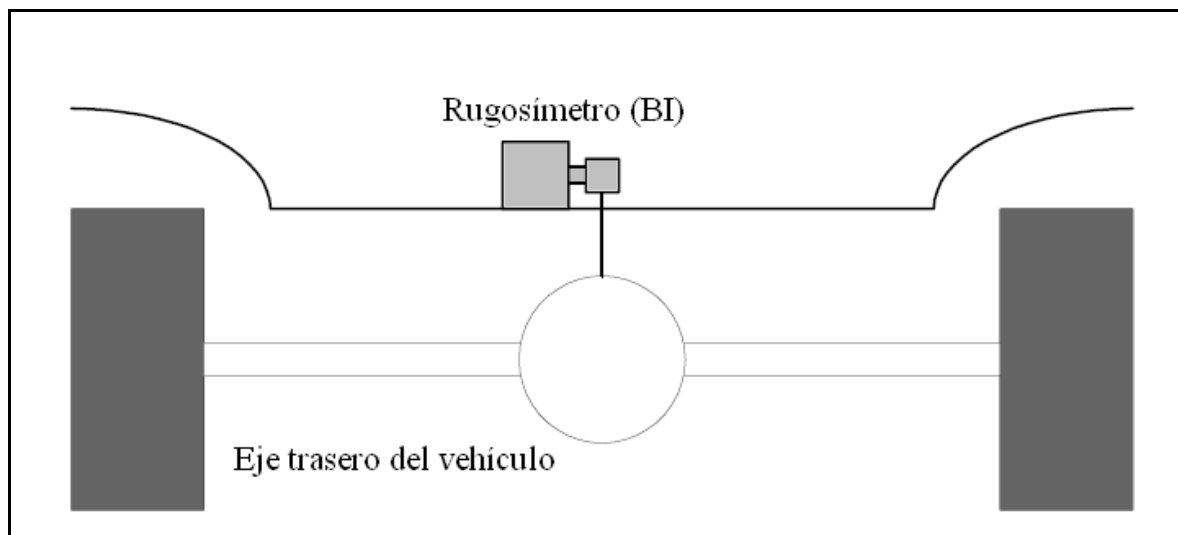
El equipo *Bump Integrator* (BI), para la medición de rugosidad de los caminos, corresponde a un rugosímetro tipo respuesta (Clase III). Es un instrumento mecánico que mide el desplazamiento relativo entre la suspensión del vehículo y el piso del mismo. Los datos de rugosidad emanados del BI pueden ser convertidos en un Índice de Rugosidad calibrado (como el IRI) a través de ecuaciones de rugosidad suministradas por el usuario (obtenidas en el proceso de calibración).

El BI debe ser instalado en la parte trasera del vehículo, sobre el eje de suspensión trasera. El instrumento es instalado en el piso del vehículo y un cable de acero que atraviesa el piso une el instrumento con la suspensión. Existen diferentes configuraciones para montar el BI en un vehículo:

- i) Si el vehículo tiene un eje trasero sólido, el BI es instalado en el centro del diferencial. De esa forma se obtiene la medida denominada “rugosidad de medio carro”.
- ii) Si el vehículo posee suspensión trasera independiente se recomienda la instalación de dos unidades de BI, una para cada huella. Cada unidad obtiene una medida denominada “rugosidad de un cuarto de carro”, con el promedio aritmético de ambas, se obtiene la medida buscada.
- iii) Si el vehículo posee suspensión trasera independiente, la utilización de una sola unidad de BI es posible, pero no recomendada.

Dadas las características del vehículo disponible para la presente investigación, la configuración utilizada fue la primera. Se puede observar el esquema de montaje en la Figura D-1.

Figura D-1: Instalación del *Bump Integrator* en el vehículo, vista trasera.



Fuente: Bennet, 2001.

Figura D-2: Instalación del rugosímetro en el piso del vehículo.



Fuente: Bennet, 2001.

Figura D-3: Instalación del computador dentro del vehículo



Calibración del rugosímetro

La calibración del *Bump Integrator* consta de 3 pasos:

- i) Medir IRI con método clase I o similar en 3 tramos de 100 metros de longitud que tengan distintas rugosidades.
- ii) Medir la rugosidad con *Bump Integrator* tres o más veces, hasta que las medidas sean homogéneas. Para esto, las 3 mediciones deben estar dentro de un intervalo de confianza definido, de lo contrario, se va realizando una medición adicional hasta que se cumpla el criterio (ver Tabla D-1).
- iii) Hallar las ecuaciones de correlación entre las mediciones del equipo Clase I y las mediciones del *Bump Integrator* (ver Figura D-4).

Tabla D-1: Planilla de calibración del rugosímetro.

DATOS CALIBRACION BUMP INTEGRATOR ROMDAS**1. FACTOR DE CALIBRACION ODOMETRO (FCO)**

Fecha #####

Vehículo Hyundai

Operador CA

2. DATOS BUMP INTEGRATOR

Fecha 14-05-2008

Vehículo Hyundai

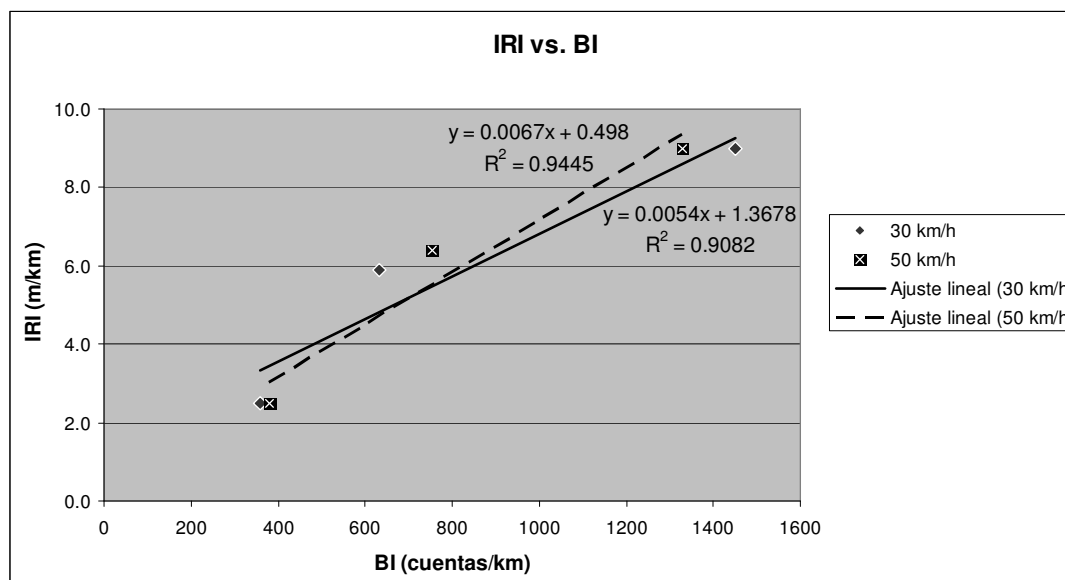
Operador CA

Site	IRI (m/km)	Speed (km/h)	Run Number				Sample	Mean	Sdev	S.Error	S. Error (%)	Beta 95%	Pass/Fai
			1	2	3	4							
6	5,9	30	631	617	633	646	4	632	12	6	0,9	18,89	Pass
5	2,5	30	386	365	345	338	4	359	22	11	3,0	34,38	Pass
7	9,0	30	1420	1440	1462	1486	4	1452	28	14	1,0	45,22	Pass
6	6,4	50	742	768	735	768	4	753	17	9	1,1	27,48	Pass
5	2,5	50	372	375	383	394	4	381	10	5	1,3	15,64	Pass
7	9,0	50	1290	1354	1325	1344	4	1328	28	14	1,1	44,86	Pass

Minimum of 3 Runs

Fuente: Documentación ROMDAS

Figura D-4: Ecuación de correlación entre el IRI medido con perfilómetro y cuentas de Bump Integrator.



**ANEXO E - FICHA Y RESUMEN DEL INSTRUCTIVO DE INSPECCIÓN
VISUAL UTILIZADOS.**

Extracto del Instructivo de Inspección Visual de Caminos No Pavimentados (MOP, 2008), utilizado en la presente investigación

1. Procedimiento General.

El objetivo de la inspección en caminos no pavimentados es recoger en terreno el valor de ciertos parámetros de estado representativos, observables y/o medibles de la calzada. Estos parámetros que representan las características y el nivel de deterioro, la idea es recolectarlos para que posteriormente sean utilizados en diversas instancias por parte de la Dirección Nacional de Vialidad, pero especialmente referidas a su aplicación como insumo en la evaluación de estado de los caminos no pavimentados y planes de mantenimiento.

2. Variables a Registrar.

Para el caso de los caminos no pavimentados, se ha considerado contemplar los siguientes aspectos como variables principales:

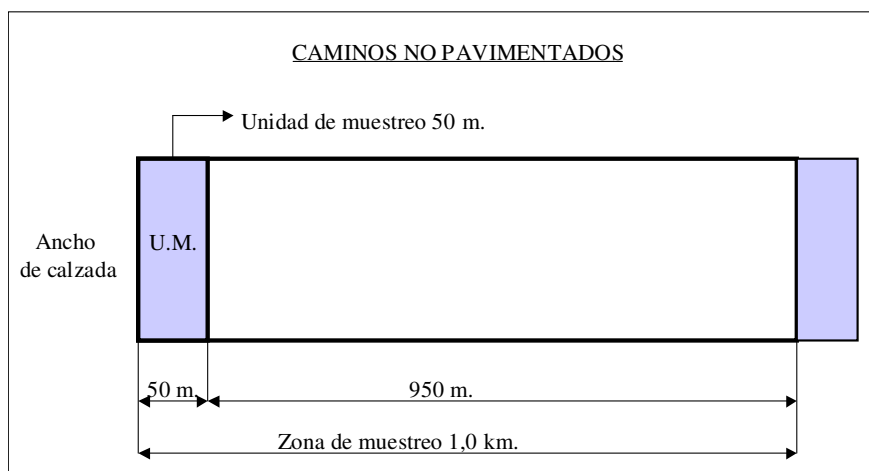
- Perfil Transversal y Drenaje (bombeo)
- Calaminas
- Erosión
- Baches
- Ahuellamiento
- Afloramiento de Material o Incrustaciones de áridos (camino pedregoso)

3. Unidades y Zonas de Muestreo para Inspección de Caminos no Pavimentados a Nivel de Red

Considerando el tamaño de la red de caminos no pavimentados del país, sería altamente dificultoso el poder recolectar la información en la totalidad de kilómetros que la componen, en forma continua ya que esto demandaría una cantidad inmensa de tiempo y recursos que muchas veces no están disponibles. Por tal razón, se considera la idea de subdividir los caminos en zonas de muestreo (1 km) y estas a su vez en áreas más pequeñas denominadas unidades de muestreo (UM), cuya longitud y ubicación está determinado por la zona que permita contar con la suficiente representatividad posible de los datos recolectados.

Se define como unidad de muestreo un área rectangular de ancho igual al ancho de la calzada y de largo 50 metros en cada kilómetro inspeccionado. El inicio de la unidad de muestreo debe coincidir, en lo posible, con el inicio del kilómetro.

Figura E-1: Unidad y zona de muestreo



4. Llenado de Fichas

Se utilizan las fichas de inspección visual de calzadas para caminos no pavimentados tanto para el caso de caminos de ripio como de tierra.

4.1 Datos Generales

Corresponden a los que se encuentran en la parte superior de la ficha e identifican el camino (rol, nombre, código) en que se efectúa la medición, así como el nombre de la persona encargada que realiza la inspección. El detalle de los datos generales de la ficha es el siguiente:

- Nombre del camino: nombre del camino según listado oficial de la Dirección de Vialidad.
- Rol: rol oficial del camino inspeccionado según listado oficial de la Dirección de Vialidad.
- Código de Vialidad: código del camino inspeccionado, según la documentación oficial de la Dirección de Vialidad.
- Fecha: fecha en que se realiza la toma de datos.
- Encargado: nombre de la persona que ejecuta la inspección.

4.2 Datos específicos de cada tramo

Ubicación de la Inspección: Corresponde a la identificación de los kilómetros (inicial y final) en que se encuentra ubicada el área examinada. Al respecto, es necesario mencionar que se debe tener claramente establecido el kilometraje real del camino, con respecto a su kilómetro “0”.

Tipo de Material: Se deberá registrar en la ficha el tipo de material que se observe en cada zona de muestreo. Los tipos de material considerados corresponden a:

- Material natural (N): material que pertenece al terreno natural y que no ha sido modificado ni mejorado.
- Material Seleccionado (S): material que ha sido seleccionado y colocado sobre el suelo natural. Ejemplo: ripio, maicillo, etc.

- Superficie Estabilizada (E): capas granulares estabilizadas con algún material como los son: cal, cenizas, cemento u otros productos químicos.

Es importante notar que pese a que el inventario indique que el camino es de Tierra o es de Grava, el encargado de inspección debe reportar en la ficha el tipo de material que encuentra en cada zona, pudiendo variar de una zona a otra.

4.3 Información de deterioros a registrar en la ficha de inspección

A continuación se presentan los diferentes aspectos a registrar en el presente instructivo de inspección visual. Es importante destacar que todos los deterioros deben ser medidos únicamente en la unidad de muestreo, salvo el caso de la erosión, que debe reportarse en la ficha, aunque toda su extensión se encuentre fuera de la misma.

- Bombeo (perfil transversal): Un buen perfil corresponde a una calzada en forma cóncava con su parte más alta en el eje central longitudinal de la calzada, de modo que el agua escurra a los costados de la misma para ser drenada sin afectar la estructura del camino. Por otro lado se considerará un mal perfil transversal aquel de forma convexa o con excesivas irregularidades que afecten el normal drenaje del camino. En terreno el registro de la información de perfil transversal de la unidad de muestreo debe tomarse a la mitad de ésta, siempre y cuando el perfil en ese sitio sea realmente representativo del tramo. Se deberá registrar: B: buen bombeo ó M: mal bombeo.
- Drenaje: realizar una inspección general que permita saber si los elementos de drenaje que existen cumplen con su función. Si el drenaje cumple su función, se califica como bueno, en caso contrario si el drenaje no cumple su función o es insuficiente se califica como malo. En cuanto a la evaluación a incluir en la planilla debe hacerse respecto a la valoración total del drenaje en toda la unidad de muestreo. Al igual que en el caso del bombeo, se deberá registrar: B: buen drenaje o M: mal drenaje.

- Ahuellamiento: Respecto a la medición en terreno se debe utilizar una regla con la cual se pueda medir el ahuellamiento representativo de la unidad de muestreo correspondiente. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de ahuellamiento de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria a lo largo de la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativas de la condición de ahuellamiento existente dentro de ella. Se aconseja que los puntos de lectura estén alejados entre si al menos 5 metros longitudinalmente.
- Baches: Se debe reportar en la ficha el número de baches que afectan la circulación de los vehículos dentro de la unidad de muestreo valor promedio del diámetro (en centímetros) y la profundidad (en centímetros) de al menos tres baches localizados de manera aleatoria en la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativos de la condición que es posible observar.
- Calaminas: se debe considerar la profundidad media de la misma, para lo cual se puede utilizar una regla (de 1.5 metros aproximadamente) similar a la empleada para medir ahuellamiento pero colocándola en el sentido de circulación de los vehículos. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de la profundidad (medida en centímetros) de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria en la unidad de muestreo y que puedan considerarse como representativas de la condición de las calaminas existentes dentro de ella si se trata con el criterio a nivel de red.
- Diámetro del material grueso (Afloramiento e Incrustación de partículas gruesas en la superficie de la calzada): en la inspección de este tipo de deterioro se debe determinar primero su naturaleza, es decir si se trata de material grueso que aflora, se incrusta o se deposita, y segundo en caso de ser considerable su efecto y cantidad, se debe llevar registro del tamaño máximo promedio de las partículas gruesas sueltas que obedezcan a la descripción de este problema y que típicamente se observan en la unidad de muestreo. Se debe reportar en la ficha la

descripción que más se ajuste a lo observado en terreno dentro de la unidad de muestreo y se registrará el diámetro máximo que en promedio tengan las partículas gruesas que en forma representativa pueden encontrarse dentro de ella, en este sentido es claro que el criterio del encargado de la inspección es importante para la correcta elección del diámetro del material a registrar en la planilla.

- Erosión: Este es el único deterioro que debe registrarse aunque exista fuera de la unidad de muestreo. Se debe reportar en la ficha el valor promedio de la profundidad y ancho de al menos tres lecturas localizadas de manera aleatoria en la zona de muestreo (que corresponde a todo el kilómetro que se está inspeccionando) y que puedan considerarse como representativas de la condición de zanjas formadas por los procesos de erosión existentes dentro de ella.

 MOP Dirección de Vialidad	FICHA DE INSPECCION VISUAL DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS	Hoja N° de
---	--	--

Nombre del camino	Rol	Código
Encargado	Fecha	

Ubicación		Ancho Calzada	Tipo de material		Perfil transversal (bombeo)				Drenaje				Calaminas		Atuellamiento		Material grueso (**)		Baches			Erosión (***)		Observaciones particulares
K.I.	K.F.		N, S, E (*)	B	M	B	M	Profundidad	Profundidad	Tipo A: Afloramiento I: Incrustacion	Tamaño máximo	Nº	Dimensiones (cm)		Severidad (cm)									
		m						cm	cm		cm		Diámetro	Profundidad	Ancho	Profundidad								

Notas Generales:

(*) Tipo de material: N=Natural , S=Seleccionado , E=Superficie Estabilizada

(**) Llenar solo para caminos de tierra

(***) Si fuera de la unidad de muestreo (50m) se registra gran erosión, se registra.

**ANEXO F - RESULTADOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL Y MEDICIÓN DE IRI
 EN LOS TRAMOS TESTIGO**

**ANEXO G - REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DEL RUGOSÍMETRO
UTILIZADO**

Evaluación de la repetibilidad y reproducibilidad del equipo Bump Integrator

Con el objeto de evaluar la repetibilidad y la reproducibilidad “r&R” del rugosímetro *Bump Integrator*, se ejecutó un mini-experimento consistente en realizar algunas mediciones repetidas en 14 tramos durante la segunda ronda de mediciones. Todos los tramos utilizados para la evaluación de repetibilidad y reproducibilidad se ubican dentro de la Región Metropolitana.

La utilidad de evaluar “r&R” consiste en determinar la magnitud de influencia que tiene este tipo de error en los resultados obtenidos en el capítulo 2, en donde se correlacionan los deterioros con el IRI (medido con *Bump Integrator*).

a) Algunas definiciones

Repetibilidad (r): El Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), define la repetibilidad de resultados de mediciones como:

“la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas condiciones de medición. Donde: (i) estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad; (ii) las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar, repetición en un período corto de tiempo; (iii) la repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados” (MetAs y Metrólogos asociados, 2003).

Usualmente a esta medida se le llama variabilidad interna a la condición. Esta variabilidad interna (S_w) para cada una de las “p” condiciones puede ser estimada como la desviación estándar de las “n” mediciones de cada condición. La repetibilidad (r) es el

promedio de las “p” varianzas que estiman la variabilidad interna de cada condición (Sr ó r).

Reproducibilidad (R): El VIM, define la reproducibilidad de resultados de mediciones como:

“la proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo condiciones de medición que cambian. Donde: (i) una declaración válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición que cambia; (ii) las condiciones que cambian pueden incluir: principio de medición, método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de uso, tiempo; (iii) la reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados (iv) se entiende que los resultados usualmente son resultados corregidos”.

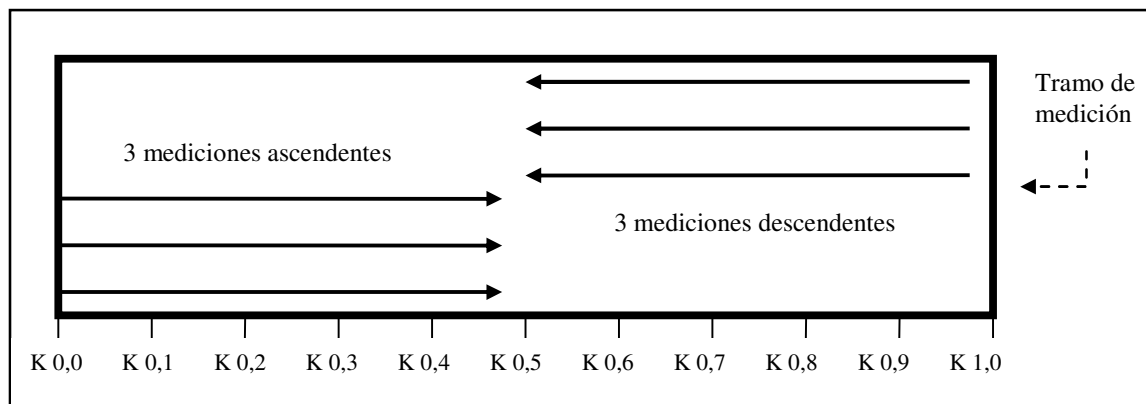
Usualmente a esta medida se le llama variabilidad entre las condiciones.

En el caso de este experimento se evaluará la reproducibilidad al variar la condición de uso del equipo, variando la condición “sentido de medición” y manteniendo todas las otras condiciones constantes.

b) El experimento

Para evaluar ambas propiedades en cada tramo testigo, se realizaron 3 mediciones de IRI en sentido ascendente y 3 mediciones en sentido descendente con respecto al kilometraje, en cada uno de ellos. La mayor parte de las mediciones se extendieron por 1.000 metros, configurando el equipo para obtener mediciones de IRI cada 100 metros.

Figura G-1: Esquema explicativo de las mediciones de IRI para evaluación de “r&R”



Para evaluar la repetibilidad del equipo en sentido ascendente se dispone de 140 subtramos (16 tramos con 10 subtramos cada uno). Cada subtramo mide 100 m. de longitud y está replicado 2 veces (3 datos equivalentes). Para evaluar la repetibilidad en sentido descendente también se dispone de 160 muestras con 3 datos equivalentes cada una.

Para evaluar la reproducibilidad del equipo se dispone de 160 subtramos, cada uno de ellos mide 100 m. de longitud y está replicado 1 vez (2 datos equivalentes, uno en sentido descendente y otro en sentido descendente). La Tabla G-2 muestra un ejemplo de los datos obtenidos para cada subtramo.

Tabla G-2: ejemplo explicativo de los datos obtenidos para cada subtramo

Ruta G-506		Sentido Ascendente				Sentido Descendente			
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Prom A	D1	D2	D3	Prom D
0,000	0,100	7,49	8,22	8,11	7,94	7,90	7,41	8,01	7,77
		Para el cálculo de la repetibilidad en sentido ascendente			↓	Para el cálculo de la repetibilidad en sentido descendente			↓
		Para el cálculo de la reproducibilidad							

En la Tabla G-2, los valores A1, A2 y A3 son los datos de IRI en sentido ascendente obtenido en las tres mediciones realizadas, la desviación estándar de estos tres valores

representa la variabilidad interna de las mediciones en sentido ascendente ($Sw A$). Los valores de $D1$, $D2$ y $D3$ son los datos de IRI en sentido descendente obtenido en las tres mediciones realizadas, la desviación estándar de estos tres valores representa la variabilidad interna de las mediciones en sentido descendente ($Sw D$). Promediando ambas variabilidades internas se obtuvo la repetibilidad (" r ") del equipo para cada tramo.

Los valores de " $Prom A$ " y " $Prom D$ " son los promedios de IRI del sentido ascendente y del sentido descendente, respectivamente. La desviación estándar calculada con estos dos valores representa la reproducibilidad (" R ") del equipo cambiando la condición de "sentido de medición".

Como puede percatarse el lector " r " y " R " son medidas son peores a mayor magnitud, por lo que se espera que ambas propiedades sean pequeñas en el caso del equipo en cuestión.

c) Resultados

Producto de este experimento fueron determinadas la repetibilidad y la reproducibilidad del equipo con las mediciones de cada uno de los 160 subtramos. Para mantener el orden del trabajo, se ha puesto el detalle de la evaluación de la repetibilidad y la reproducibilidad al final del presente Anexo, agrupados por tramo. A modo de ejemplo se muestra en la Tabla G-3 las mediciones y cálculos para la evaluación de " r & R " para un tramo de la ruta G-140.

Tabla G-3: Ejemplo de mediciones para la evaluación de “r&R” del rugosímetro.

Ruta G-140		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	10,8	9,2	9,1	0,96	11,3	12,5	12,8	0,81	0,89	1,74	1,95
0,100	0,200	12,3	14,3	17,8	2,81	11,9	18,4	16,1	3,28	3,05	0,46	3,09
0,200	0,300	13,6	11,2	13,8	1,44	10,0	11,2	12,2	1,09	1,28	1,24	1,78
0,300	0,400	9,5	10,9	11,8	1,13	6,3	7,4	8,1	0,94	1,04	2,46	2,67
0,400	0,500	10,6	8,4	9,5	1,12	9,2	8,6	9,7	0,53	0,88	0,23	0,91
0,500	0,600	11,7	11,2	10,6	0,53	10,4	8,8	9,4	0,81	0,68	1,18	1,36
0,600	0,700	12,2	12,9	13,2	0,52	11,8	10,6	12,3	0,84	0,70	0,83	1,09
0,700	0,800	12,4	12,3	13,7	0,79	12,2	11,6	12,1	0,29	0,60	0,60	0,85
0,800	0,900	10,3	12,2	13,6	1,69	10,7	12,7	16,0	2,65	2,22	0,77	2,35
0,900	1,000	11,2	13,7	13,2	1,32	11,3	12,8	15,2	1,95	1,67	0,30	1,69
0,000	1,000	11,5	11,6	12,6	1,2	10,5	11,5	12,4	1,3	1,30	0,98	1,77
										11%	8%	15%

En esta Tabla, la columna k.i. y k.f representan el kilometraje inicial y final de cada medición de IRI. A1, A2, A3, D1, D2 y D3 ya fueron explicadas. Las columnas “Sw A” y “Sw D” representan las variabilidades internas de los sentidos ascendente y descendente, respectivamente. La columna “r” y “R” representan la repetibilidad y la reproducibilidad, respectivamente. Finalmente la columna “r&R” representa la magnitud de ambas propiedades en conjunto. En el fondo de la Tabla, se observa en negritas el promedio de repetibilidad y reproducibilidad para todo el tramo. Estas propiedades se encuentran tanto en términos absolutos (m/km), como en términos relativos (en porcentaje). Para evaluar las propiedades en términos relativos, se dividió la propiedad obtenida en cada tramo por el promedio de IRI de cada tramo.

En la Tabla G-4 se muestra el promedio de todos los tramos testigo para la repetibilidad y reproducibilidad y el efecto combinado de ambas. También fueron calculadas la máxima y mínima.

Tabla G-4: Evaluación de r&R del rugosímetro midiendo secciones de 100 metros.

Secciones de 100 m.	IRI m/km			IRI %		
	r	R	r&R	r	R	r&R
Mínimo	0,6	0,7	1,0	7%	6%	10%
Promedio	0,9	1,2	1,6	9%	11%	16%
Máximo	1,4	2,0	2,3	12%	18%	22%

Si las secciones no fueran de 100 metros, sino que fueran de 1.000 metros, es decir, considerando el promedio de IRI de todo el tramo, los errores de repetibilidad y reproducibilidad deberían disminuir por el efecto “suavizador” que tiene el considerar la media de 10 subtramos. Esto es corroborado y expuesto en la Tabla G-5.

Tabla G-5: Evaluación de r&R del rugosímetro midiendo secciones de 1000 metros.

Secciones de 1.000 m.	IRI m/km			IRI %		
	r	R	r&R	r	R	r&R
Mínimo	0,1	0,0	0,1	1%	0%	1%
Promedio	0,4	0,4	0,6	4%	4%	6%
Máximo	0,8	1,2	1,3	7%	12%	12%

Por otra parte, se podría realizar el supuesto de que la repetibilidad y la reproducibilidad aumentan a medida que aumenta la medida del IRI, es decir, que mientras más alto el IRI del camino, aumentará también “r” y “R”. Para probar dicho supuesto se realizaron dos análisis de regresión: (i) entre los resultados de repetibilidad y el IRI promedio y (ii) entre los resultados de reproducibilidad y el IRI promedio. El resultado obtenido fue que si bien existe cierta mínima tendencia a que ambas propiedades aumenten con el valor del mensurando, no existe evidencia estadística para afirmar dicho supuesto. En la Figura G-1, Figura G-2 y Figura G-3, se observan algunas figuras que muestran de manera gráfica la falta de evidencia estadística para indicar que el error de repetibilidad, reproducibilidad y el efecto combinado aumenta con el mensurando.

Figura G-1: IRI versus Repetibilidad de la medición

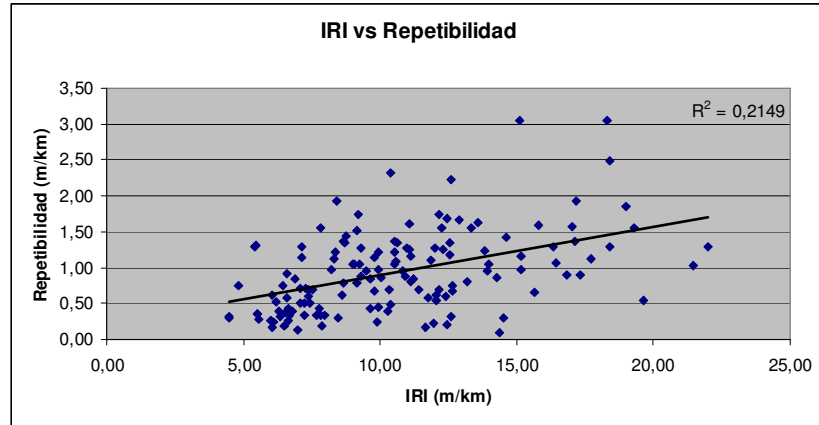


Figura G-2: IRI versus Reproducibilidad de la medición

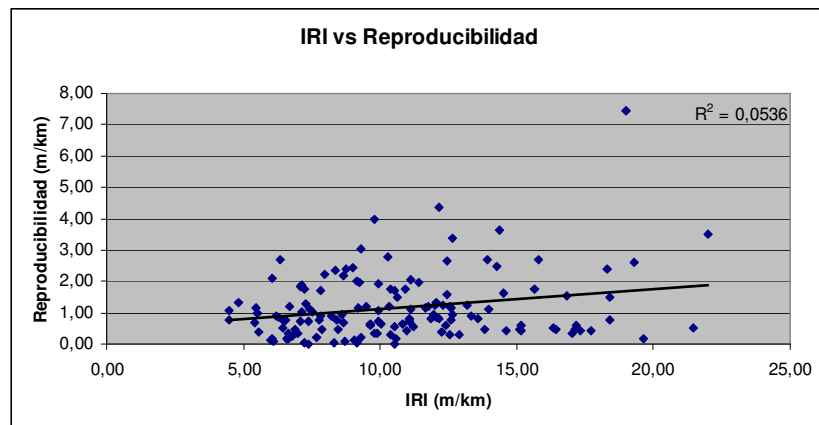
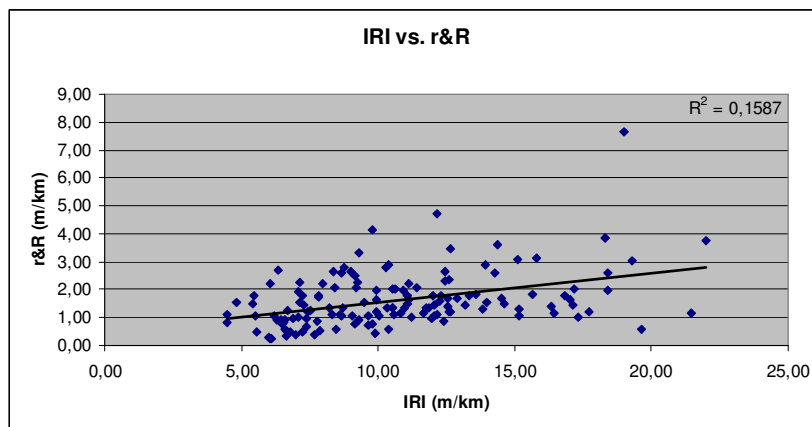


Figura G-3: IRI versus r&R de la medición



d) Conclusiones

A modo de conclusión puede decirse que la repetibilidad media de la medición de 0,9 m/km cada 100 m., y de 0,4 m/km. cada 1.000 m.. se encuentran dentro de los resultados que se esperarían para un rugosímetro clase 3 pues, tal como se vio en el capítulo introductorio, se espera de ellos una “r” de entre 0,5 y 1 m/km.

Por otro lado, se pudo observar que la reproducibilidad media de la medición es de 1,2 m/km cada 100 m. Al respecto, vale la pena señalar que si bien es un valor razonable (aproximadamente 11% con respecto al valor promedio de IRI), de todas formas deberá considerarse el efecto que tiene el sentido de avance en circunstancias que requieran mediciones de gran precisión²⁴. Para mediciones cada 1.000 m., se tiene un error de reproducibilidad de 0,4 m/km. (4% con respecto al valor promedio de IRI), que es un valor razonablemente despreciable, por lo que no importaría el sentido en este tipo de mediciones.

²⁴ Una de las circunstancias en que se requiere una gran precisión en las mediciones corresponde a la evaluación de los trabajos de conservación realizados, utilizando metodologías que consideran fórmulas de pago para diferentes condiciones de rugosidad. Para mayor detalle referirse a “Ejecución y Control de la conservación en caminos sin pavimento mediante nivel de servicio” (Pradena y Wolf, 2006)

Respecto al efecto combinado de la repetibilidad y la reproducibilidad, este presenta un valor medio correspondiente a 1,6 m/km (16% con respecto al valor promedio de IRI) si se realizan mediciones cada 100 m., suma no despreciable. Sin embargo, en el caso de la presente investigación, importará el error de r&R cada 1.000 metros, pues fue este el IRI que se consideró para correlacionarlo con los deterioros. El efecto conjunto de ambos errores, en promedio, es de 0,6 m/km. Este resultado es muy importante, pues al no ser despreciable, se debe tomar en cuenta este error al momento de evaluar y explicar el error que tengan las ecuaciones de correlación entre el IRI y los deterioros.

En las páginas siguientes se observa el detalle de las mediciones de repetibilidad y reproducibilidad de cada uno de los tramos testigo.

Ruta G-140		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	10,8	9,2	9,1	0,96	11,3	12,5	12,8	0,81	0,89	1,74	1,95
0,100	0,200	12,3	14,3	17,8	2,81	11,9	18,4	16,1	3,28	3,05	0,46	3,09
0,200	0,300	13,6	11,2	13,8	1,44	10,0	11,2	12,2	1,09	1,28	1,24	1,78
0,300	0,400	9,5	10,9	11,8	1,13	6,3	7,4	8,1	0,94	1,04	2,46	2,67
0,400	0,500	10,6	8,4	9,5	1,12	9,2	8,6	9,7	0,53	0,88	0,23	0,91
0,500	0,600	11,7	11,2	10,6	0,53	10,4	8,8	9,4	0,81	0,68	1,18	1,36
0,600	0,700	12,2	12,9	13,2	0,52	11,8	10,6	12,3	0,84	0,70	0,83	1,09
0,700	0,800	12,4	12,3	13,7	0,79	12,2	11,6	12,1	0,29	0,60	0,60	0,85
0,800	0,900	10,3	12,2	13,6	1,69	10,7	12,7	16,0	2,65	2,22	0,77	2,35
0,900	1,000	11,2	13,7	13,2	1,32	11,3	12,8	15,2	1,95	1,67	0,30	1,69
0,000	1,000	11,5	11,6	12,6	1,2	10,5	11,5	12,4	1,3	1,30	0,98	1,77
										11%	8%	15%

Ruta G-186		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	8,2	11,4	10,5	1,65	7,0	7,0	6,2	0,45	1,21	2,33	2,63
0,100	0,200	8,3	9,0	9,9	0,80	14,3	13,6	17,9	2,34	1,74	4,37	4,71
0,200	0,300	9,6	8,9	9,4	0,34	12,6	12,6	10,1	1,45	1,05	1,73	2,02
0,300	0,400	11,3	9,8	11,5	0,94	10,3	11,5	8,6	1,45	1,22	0,55	1,34
0,400	0,500	6,2	6,2	6,8	0,33	9,1	9,7	9,7	0,35	0,34	2,21	2,24
0,500	0,600	9,1	8,5	10,8	1,18	9,8	11,2	10,4	0,69	0,97	0,72	1,21
0,600	0,700	10,5	10,5	10,8	0,15	10,0	9,6	10,9	0,67	0,49	0,30	0,57
0,700	0,800	9,5	9,2	8,9	0,32	10,0	9,5	12,7	1,69	1,21	1,09	1,63
0,800	0,900	13,6	14,4	16,2	1,35	13,8	12,6	13,1	0,60	1,04	1,11	1,53
0,900	1,000	15,4	17,2	15,0	1,19	12,8	11,8	11,5	0,66	0,96	2,71	2,88
0,000	1,000	10,2	10,5	11,0	0,8	11,0	10,9	11,1	1,0	1,02	1,71	2,07
										10%	16%	19%

Ruta G-506		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	6,7	6,1	5,9	0,40	5,2	4,7	4,6	0,29	0,35	0,98	1,04
0,100	0,200	5,7	5,2	5,0	0,38	5,7	5,9	5,9	0,13	0,28	0,38	0,48
0,200	0,300	5,7	5,8	5,6	0,09	7,2	6,2	7,1	0,55	0,39	0,84	0,92
0,300	0,400	5,8	6,7	6,9	0,59	6,9	7,0	6,8	0,08	0,42	0,33	0,53
0,400	0,500	5,9	5,8	6,3	0,29	6,3	6,2	5,9	0,18	0,24	0,09	0,26
0,500	0,600	5,5	5,4	5,7	0,16	7,3	6,0	7,1	0,71	0,52	0,90	1,04
0,600	0,700	9,4	8,4	8,1	0,71	9,0	10,6	11,3	1,15	0,95	1,19	1,53
0,700	0,800	11,0	9,0	6,9	2,00	6,6	7,1	10,0	1,84	1,92	0,77	2,07
0,800	0,900	9,1	7,5	7,0	1,12	5,6	5,9	7,8	1,16	1,14	1,02	1,53
0,900	1,000	6,4	6,5	6,6	0,08	6,3	6,9	7,0	0,37	0,27	0,18	0,33
0,000	1,000	7,1	6,6	6,4	0,6	6,6	6,7	7,4	0,6	0,65	0,67	0,97
										10%	10%	14%

Ruta G-526		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	9,3	9,6	9,9	0,30	9,9	10,2	10,2	0,18	0,25	0,36	0,44
0,100	0,200	12,8	13,8	12,5	0,72	10,9	11,4	11,1	0,26	0,54	1,34	1,44
0,200	0,300	9,8	9,8	9,3	0,26	11,4	12,7	13,6	1,11	0,81	2,06	2,21
0,300	0,400	15,7	14,2	14,3	0,80	14,3	17,1	15,3	1,43	1,16	0,60	1,31
0,400	0,500	16,1	15,6	14,7	0,72	14,8	13,7	16,1	1,16	0,96	0,42	1,05
0,500	0,600	15,0	13,6	13,3	0,92	10,6	14,6	12,9	1,98	1,55	0,89	1,78
0,600	0,700	9,4	12,2	12,6	1,77	13,1	13,1	13,3	0,13	1,25	1,25	1,77
0,700	0,800	11,9	13,3	12,6	0,68	10,4	11,2	11,1	0,46	0,58	1,20	1,33
0,800	0,900	11,7	14,7	14,2	1,59	15,0	13,6	13,9	0,72	1,23	0,46	1,31
0,900	1,000	12,2	12,6	12,6	0,20	11,0	10,8	10,8	0,14	0,17	1,13	1,15
0,000	1,000	12,4	12,9	12,6	0,8	12,1	12,9	12,8	0,8	0,85	0,97	1,38
										7%	8%	11%

Ruta G-566a		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	17,1	16,8	18,4	0,86	19,1	23,1	21,4	2,02	1,55	2,63	3,05
0,100	0,200	15,8	18,5	17,8	1,40	19,7	18,2	20,5	1,16	1,29	1,49	1,97
0,200	0,300	13,5	14,1	14,2	0,36	15,8	17,3	20,1	2,23	1,60	2,71	3,15
0,300	0,400	15,8	16,0	15,4	0,34	16,9	17,5	19,3	1,22	0,90	1,53	1,77
0,400	0,500	14,2	16,0	14,5	0,94	16,3	13,5	13,1	1,77	1,42	0,42	1,48
0,500	0,600	14,9	16,5	16,5	0,93	15,2	18,3	16,6	1,57	1,29	0,52	1,39
0,600	0,700	18,8	20,1	19,6	0,68	20,1	19,3	19,8	0,38	0,55	0,17	0,57
0,700	0,800	15,6	16,3	18,4	1,45	16,5	16,1	15,8	0,38	1,06	0,46	1,16
0,800	0,900	15,6	17,5	19,2	1,80	17,6	16,7	16,2	0,73	1,37	0,45	1,45
0,900	1,000	17,1	18,9	16,9	1,09	16,3	17,2	17,6	0,64	0,89	0,43	0,99
0,000	1,000	15,8	17,1	17,1	1,0	17,4	17,7	18,0	1,2	1,19	1,08	1,70
										7%	6%	10%

Ruta G-566b		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
1,000	1,100	12,6	13,6	12,8	0,56	15,8	11,6	15,0	2,23	1,62	0,81	1,82
1,100	1,200	19,2	17,3	17,1	1,15	18,3	16,0	22,5	3,31	2,48	0,75	2,59
1,200	1,300	17,7	22,0	20,3	2,13	14,2	14,7	21,0	3,75	3,05	2,38	3,87
1,300	1,400	17,3	16,4	16,7	0,42	18,0	14,8	19,0	2,20	1,58	0,33	1,61
1,400	1,500	21,2	21,9	20,1	0,90	20,9	21,5	23,1	1,14	1,02	0,53	1,15
1,500	1,600	16,3	18,3	17,5	1,03	19,3	17,8	16,9	1,19	1,11	0,43	1,19
1,600	1,700	13,2	13,1	13,8	0,41	15,5	15,8	15,8	0,16	0,31	1,64	1,67
1,700	1,800	11,3	11,3	11,3	0,04	12,7	12,3	12,9	0,31	0,22	0,94	0,96
1,800	1,900	12,6	11,3	10,0	1,26	10,5	9,8	10,8	0,51	0,96	0,65	1,16
1,900	2,000	10,6	13,6	14,0	1,88	12,0	12,5	12,5	0,27	1,34	0,30	1,38
1,000	2,000	15,2	15,9	15,4	1,0	15,7	14,7	16,9	1,5	1,37	0,88	1,74
										9%	6%	11%

Ruta G-660lat		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	15,8	15,7	15,5	0,14			10,5		0,10	3,62	3,62
0,100	0,200	11,3	11,8	11,5	0,28			15,3		0,20	2,65	2,66
0,200	0,300	16,2	17,2	15,4	0,92			13,8		0,65	1,74	1,85
0,300	0,400	14,6	14,1	12,8	0,96			9,1		0,68	3,39	3,45
0,400	0,500	11,2	14,0	11,1	1,66			13,8		1,18	1,21	1,68
0,500	0,600	13,3	9,6	11,2	1,84	12,5	15,3	12,9	1,52	1,69	1,57	2,31
0,600	0,700	13,1	8,9	9,6	2,24	11,6	11,9	11,2	0,37	1,61	0,74	1,77
0,700	0,800	12,5	13,0	10,4	1,35	12,1	14,4	11,0	1,75	1,56	0,39	1,61
0,800	0,900	13,9	13,5	14,9	0,73	13,3	11,6	12,1	0,85	0,80	1,23	1,46
0,900	1,000	10,2	10,1	11,8	0,97	11,8	9,4	10,1	1,20	1,09	0,18	1,10
0,000	1,000	13,2	12,8	12,4	1,1	12,3	12,5	12,0	1,1	0,95	1,67	2,15
										8%	13%	17%

Ruta G-668		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	9,6	9,8	9,3	0,28	9,5	11,1	9,5	0,91	0,67	0,34	0,75
0,100	0,200	11,7	12,3	12,8	0,53	8,4	8,4	8,1	0,19	0,40	2,77	2,80
0,200	0,300	8,7	9,0	9,9	0,64	8,1	9,3	9,9	0,91	0,79	0,06	0,79
0,300	0,400	7,0	6,3	6,4	0,35	8,5	7,6	6,7	0,93	0,71	0,74	1,02
0,400	0,500	6,0	6,5	5,8	0,35	5,9	6,0	5,8	0,10	0,26	0,13	0,29
0,500	0,600	6,6	6,9	6,7	0,16	7,2	7,2	7,4	0,10	0,13	0,36	0,39
0,600	0,700	7,3	7,4	6,2	0,63	10,9	13,5	13,4	1,48	1,13	3,99	4,15
0,700	0,800	12,7	11,4	11,7	0,68	9,2	12,1	9,8	1,51	1,17	1,11	1,61
0,800	0,900	12,5	14,0	14,7	1,15	23,1	22,7	27,0	2,37	1,86	7,44	7,67
0,900	1,000	18,6	20,7	19,2	1,04	23,9	23,4	26,2	1,50	1,29	3,52	3,75
0,000	1,000	10,1	10,4	10,3	0,6	11,5	12,1	12,4	1,0	0,84	2,05	2,32
										8%	18%	21%

Ruta G-670a		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	10,5	13,6	10,9	1,67	10,7	9,8	10,9	0,56	1,25	0,83	1,50
0,100	0,200	16,5	16,2	15,4	0,59	13,7	12,2	11,7	1,07	0,86	2,47	2,61
0,200	0,300	12,5	11,8	13,6	0,88	11,4	11,4	11,4	0,02	0,62	0,87	1,07
0,300	0,400	7,9	8,9	8,1	0,52	7,1	7,6	7,0	0,34	0,44	0,76	0,87
0,400	0,500	8,0	8,5	7,9	0,30	8,9	8,5	9,0	0,30	0,30	0,47	0,56
0,500	0,600	7,4	7,2	8,0	0,40	5,5	5,9	6,0	0,24	0,33	1,22	1,26
0,600	0,700	6,3	5,9	6,3	0,23	5,9	5,9	6,0	0,05	0,17	0,18	0,25
0,700	0,800	7,2	6,9	7,0	0,15	5,7	5,9	6,2	0,23	0,20	0,74	0,77
0,800	0,900	8,1	10,4	6,9	1,76	5,5	6,4	5,6	0,48	1,29	1,88	2,28
0,900	1,000	11,8	10,8	8,0	1,93	7,1	7,0	7,1	0,06	1,37	2,20	2,59
0,000	1,000	9,6	10,0	9,2	0,8	8,2	8,1	8,1	0,3	0,68	1,16	1,38
										8%	13%	16%

Ruta G-670b		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
1,000	1,100	8,9	9,5	8,7	0,45	6,6	6,8	6,5	0,14	0,33	1,70	1,73
1,100	1,200	7,0	6,7	8,0	0,66	7,1	7,1	7,6	0,25	0,50	0,02	0,50
1,200	1,300	9,6	8,8	9,3	0,41	10,3	10,4	9,5	0,46	0,44	0,60	0,74
1,300	1,400	8,1	8,5	8,7	0,31	5,6	5,9	6,3	0,35	0,33	1,75	1,78
1,400	1,500	7,5	9,1	8,0	0,84	9,7	9,4	8,4	0,72	0,78	0,70	1,05
1,500	1,600	8,8	7,6	8,1	0,57	7,3	6,1	5,8	0,81	0,70	1,27	1,45
1,600	1,700	9,7	7,2	9,1	1,32	9,7	7,2	9,4	1,38	1,35	0,07	1,35
1,700	1,800	10,6	8,5	12,3	1,91	6,7	7,9	6,6	0,73	1,45	2,39	2,79
1,800	1,900	6,9	7,1	7,0	0,07	6,6	7,2	6,1	0,55	0,39	0,27	0,48
1,900	2,000	8,1	4,8	8,7	2,07	9,1	8,6	7,7	0,71	1,55	0,91	1,79
1,000	2,000	8,5	7,8	8,8	0,9	7,9	7,7	7,4	0,6	0,78	0,97	1,37
										10%	12%	17%

Ruta G-672		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	12,3	10,9	12,7	0,97	13,5	13,6	12,9	0,41	0,74	0,95	1,21
0,100	0,200	18,7	14,5	17,0	2,10	17,4	19,4	15,9	1,74	1,93	0,59	2,01
0,200	0,300	11,6	13,8	11,9	1,22	12,2	11,4	10,3	0,97	1,10	0,79	1,35
0,300	0,400	10,7	13,2	10,5	1,51	7,6	6,0	7,8	0,99	1,28	3,06	3,31
0,400	0,500	6,5	7,5	6,5	0,56	9,0	7,4	8,4	0,82	0,70	1,03	1,24
0,500	0,600	8,5	8,0	8,6	0,34	6,5	5,2	5,7	0,64	0,51	1,83	1,90
0,600	0,700	6,1	7,6	6,4	0,77	6,7	6,2	6,5	0,26	0,57	0,18	0,60
0,700	0,800	10,1	7,9	10,7	1,53	12,9	10,6	11,5	1,14	1,35	1,49	2,01
0,800	0,900	13,8	13,0	13,4	0,41	12,0	11,8	11,6	0,17	0,31	1,15	1,19
0,900	1,000	12,4	13,1	12,8	0,35	10,4	9,0	10,7	0,93	0,70	1,96	2,08
0,000	1,000	11,1	10,9	11,1	1,0	10,8	10,1	10,1	0,8	0,92	1,30	1,69
										9%	12%	16%

Ruta G-760		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	8,1	8,6	9,0	0,42	11,2	11,8	10,9	0,47	0,44	1,94	1,99
0,100	0,200	11,0	10,1	11,3	0,60	12,7	10,7	11,3	1,04	0,85	0,54	1,01
0,200	0,300	11,5	11,7	10,5	0,63	11,1	8,8	12,1	1,69	1,27	0,41	1,34
0,300	0,400	11,1	8,2	12,3	2,11	7,6	8,1	7,4	0,37	1,52	1,99	2,50
0,400	0,500	7,8	7,8	7,9	0,06	10,7	12,1	9,1	1,49	1,05	1,99	2,25
0,500	0,600	8,1	12,0	9,9	1,93	7,6	7,4	10,1	1,54	1,74	1,15	2,09
0,600	0,700	8,0	7,7	7,9	0,18	7,4	8,1	7,2	0,44	0,34	0,21	0,40
0,700	0,800	6,1	6,3	5,7	0,31	6,6	7,3	7,3	0,43	0,37	0,75	0,84
0,800	0,900	7,5	7,6	7,6	0,04	8,0	8,5	8,1	0,25	0,18	0,48	0,51
0,900	1,000	8,4	8,6	7,6	0,50	6,7	6,1	7,1	0,51	0,51	1,10	1,21
0,000	1,000	8,8	8,8	9,0	0,7	9,0	8,9	9,1	0,8	0,83	1,06	1,41
										9%	12%	16%

Ruta G-834		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	6,7	5,9	4,8	0,96	4,4	3,4	3,9	0,48	0,76	1,33	1,53
0,100	0,200	11,9	10,1	9,6	1,19	11,8	8,8	11,0	1,53	1,37	0,01	1,37
0,200	0,300	7,4	10,0	9,2	1,33	7,7	7,8	7,2	0,33	0,97	0,90	1,33
0,300	0,400	5,4	5,7	7,2	0,96	6,5	6,6	7,4	0,46	0,75	0,52	0,91
0,400	0,500	9,2	7,3	8,3	0,95	7,0	8,6	9,5	1,28	1,13	0,04	1,13
0,500	0,600	13,1	11,3	10,4	1,41	6,6	12,4	8,5	2,97	2,32	1,75	2,91
0,600	0,700	9,7	9,9	7,8	1,17	8,0	9,0	9,9	0,93	1,06	0,14	1,07
0,700	0,800	10,4	9,0	8,2	1,11	9,8	10,6	10,0	0,41	0,84	0,63	1,05
0,800	0,900	9,0	8,6	10,2	0,86	8,2	7,9	7,8	0,20	0,62	0,94	1,13
0,900	1,000	9,1	9,3	10,2	0,60	11,4	9,3	10,7	1,07	0,86	0,64	1,08
0,000	1,000	9,2	8,7	8,6	1,1	8,1	8,4	8,6	1,0	1,07	0,69	1,35
										12%	8%	16%

Ruta G-862		Sentido ascendente				Sentido descendente				Ambos sentidos		
k.i.	k.f.	A1	A2	A3	Sw A	D1	D2	D3	Sw D	r o Sr	R o Sm	r&R
0,000	0,100	7,3	7,4	7,0	0,17	7,9	5,6	6,2	1,17	0,84	0,47	0,96
0,100	0,200	7,6	7,2	7,4	0,21	6,3	7,6	8,2	0,95	0,69	0,01	0,69
0,200	0,300	8,2	8,5	8,1	0,24	4,7	4,6	4,0	0,39	0,32	2,70	2,71
0,300	0,400	4,6	4,4	5,8	0,76	7,8	5,0	4,9	1,66	1,29	0,70	1,47
0,400	0,500	4,8	4,9	4,2	0,35	4,2	7,1	7,6	1,83	1,32	1,17	1,76
0,500	0,600	7,4	6,6	6,6	0,46	7,5	8,7	7,5	0,71	0,60	0,73	0,94
0,600	0,700	6,2	6,1	7,8	0,97	5,6	7,3	6,5	0,85	0,91	0,17	0,93
0,700	0,800	7,0	7,6	7,9	0,44	4,0	4,2	5,4	0,76	0,62	2,10	2,19
0,800	0,900	5,3	5,2	4,6	0,42	4,1	3,9	3,8	0,17	0,32	0,77	0,83
0,900	1,000	3,7	3,7	3,8	0,07	4,7	5,5	5,5	0,43	0,31	1,06	1,11
0,000	1,000	6,2	6,2	6,3	0,4	5,7	6,0	6,0	0,9	0,72	0,99	1,36
										12%	16%	22%

Nota: todos los valores están en unidades de IRI (m/km), salvo aquellos que aparecen con símbolo de porcentaje.

ANEXO H - ENCUESTA DE IRI_{UMBRAL} E $IRI_{OBJETIVO}$

ENCUESTA A EXPERTOS
DETERMINACIÓN DE IRI UMBRAL Y OBJETIVO EN CAMINOS NO PAVIMENTADOS

1. OBJETIVO DE LA ENCUESTA

El objetivo que persigue la presente encuesta es consultar a expertos en pavimentos y carreteras, acerca de la “*rugosidad objetivo*” y la “*rugosidad umbral de intervención*” de un camino no pavimentado. La encuesta está orientada específicamente a ***caminos no pavimentados*** administrados bajo la modalidad de Administración Directa, por lo que se solicita que el encuestado se ubique en ese contexto en el momento de contestarla.

2. IDENTIFICACIÓN DEL ESPECIALISTA

Nombre:

Institución:

Ciudad:

Número telefónico:

e-mail:

3. INSTRUCCIONES DE ENVÍO

Una vez completada la encuesta, favor devolver mediante correo normal o electrónico a:

Emil Namur Yunis

Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción – PUC

Vicuña Mackenna 4860, Edificio San Agustín, 3er piso, Macul.

Fono: 6864245

e-mail: ejnamur@uc.cl

Sólo es requerido el envío de las hojas 1 y 5 del presente documento.

4. TIEMPO DE LLENADO

El tiempo necesario para completar la encuesta es de aproximadamente 20 minutos.

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

5. DEFINICIONES Y ACLARACIONES

A continuación se realizan algunas definiciones y aclaraciones que podrían ser de utilidad al momento de completar la encuesta.

Camino no pavimentado: Camino cuya superficie de rodadura se encuentra descubierta, es decir, que la carpeta que tiene contacto con los vehículos que circulan por él no tiene ningún tipo de material distinto a tierra o ripio. En la figura siguiente se muestra un camino de tierra (izquierda) y uno de ripio (derecha).



Administración Directa: Modalidad de administración de caminos mediante la cual se fija a la agencia regional como único responsable de la planeación, diseño y materialización de cualquier actividad de mantenimiento o mejora de un camino.

IRI: es el Índice de Rugosidad Internacional. A modo de referencia, se indican los siguientes valores (valores meramente referenciales):

- 0,9 a 1,8 m/km: caminos pavimentados (asfalto u hormigón) recién construidos.
- 2 a 3 m/km: caminos no pavimentados recién perfilados o suelos en excelentes condiciones (difícil encontrar este nivel de IRI en caminos no pavimentados).
- 4 a 5 m/km: valores máximos aceptables para autopistas, carreteras y vías secundarias pavimentadas (según Manual de Carreteras)
- 20 a 22 m/km: caminos no pavimentados en pésimas condiciones, con grandes depresiones y deterioros, en donde se deben tomar velocidades entre 10 y 20 km/h. para circular confortablemente (casi intransitable).

IRI umbral: En el presente trabajo se ha definido el IRI umbral como la rugosidad que indica que el camino debe ser intervenido urgentemente, dadas sus características de tránsito y su clase.

TMDA: Tránsito Medio Diario Anual. Esta medida se expresa en vehículos por día y representa al tránsito motorizado promedio que circula diariamente por un tramo de camino o carretera. Ejemplos de TMDA de algunas rutas típicas:

- 80 vehículos: Ruta G-115-E (cuesta Chacabuco).
- 150 vehículos: Ruta G-505 (camino interior entre Buin y Paine).
- 1.000 vehículos: Ruta G-21 (camino a Farellones).
- 43.000 vehículos: Ruta 5 Sur km. 0 al km. 30 (Panamericana).

%TMDA Pesado: Es la fracción del TMDA que corresponde a vehículos pesados, que en el caso de este estudio son: Camiones Simples, Camiones de más de dos ejes, Remolques y Buses Urbanos e Interurbanos.

CLASE: en Chile, los caminos se clasifican en 5 clases:

Clase A ó Camino Nacional: Caminos de importancia nacional (Ruta 5), y los caminos que conectan estos con las capitales regionales, puertos y aeropuertos. Ejemplos:

- Ruta 115Ch que une la ciudad de Talca con el paso El Pehuenche.
- Ruta 41Ch que une la ciudad de La Serena con el paso Agua Negra.

Clase B ó Camino Regional Primario: Caminos de importancia interregional. Unen caminos nacionales con capitales provinciales o conducen a un país vecino. Ejemplos:

- Ruta G-16 que une las localidades de Tiltill y Rungue.
- Ruta G-21 en el tramo que une las localidades de San Alfonso y Baños Morales.

Clase C ó Camino Regional Secundario: Caminos de importancia regional. Conectan las distintas provincias entre si y son el acceso principal a localidades con más de 1.500 habitantes. Ejemplos:

- Ruta G-131 que une la Ruta 5 con la localidad de Quilapilún.
- Ruta G-546 que une la localidades de Pintué (en Aculeo) y Chocalán.

- Ruta G-864-F que une las localidades de Casablanca y Curacaví.
- Ruta G-115-E que corresponde a la cuesta Chacabuco.

Clase E ó Comunal Secundario: Caminos públicos que no pertenecen a ninguna de las categorías anteriores, y que tienen una importancia relativamente menor a nivel comunal. Ejemplos:

- Ruta G-136 que une la Ruta 5 con la localidad de Polpaico.
- Ruta IPA-1 que une las localidades de Hanga Roa y Anakena en Isla de Pascua.

6. INSTRUCCIONES DE LLENADO

Se pide que el encuestado complete la encuesta presentada en la siguiente página, anotando en la celda correspondiente el IRI objetivo y el IRI umbral para cada uno de los escenarios planteados. La encuesta tiene la siguiente estructura:

- Columna escenario: Se ubica el número correlativo de los 30 escenarios consultados.
- Columna TMDA: Se ubica el tipo de tránsito representativo que tiene el camino en cuestión: 7, 40 y 300 vehículos diarios.
- Columna %TMDA pesado: Se ubica el patrón de tránsito representativo del camino en cuestión: 20% de vehículos pesados ó 40% de vehículos pesados.
- Columna Clase: Se anotan la clase del camino en cuestión. De mayor a menor categoría, esta variable puede tomar los siguientes valores: A, B, C, D y E.
- Columna IRI umbral: En esta columna el encuestado debe anotar su respuesta para cada uno de los escenarios.
- Columna IRI objetivo: En esta columna el encuestado debe anotar su respuesta para cada uno de los escenarios.

A continuación se muestra, a modo de ejemplo, el escenario #1, que representa un camino cuyo Tránsito Medio Diario Anual es de 300 vehículos, siendo 60 de estos (el 20%) vehículos pesados tales como camiones o buses. El camino está clasificado como Clase B ó Regional Primario. Al encuestado se le pide que anote el **IRI objetivo** (en m/km.) y el **IRI umbral** (en m/km.). De manera análoga deberá completarse la encuesta para los 30 escenarios propuestos.

Escenario	Características del camino			IRI objetivo	IRI umbral
	TMDA	TMDA pesado	Clase		
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]	[m/km]	[m/km]
1	300	20	B		

7. ENCUESTA

Escenario	Características del camino			IRI objetivo	IRI umbral
	TMDA	TMDA pesado	Clase		
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]	[m/km]	[m/km]
1	300	20	B		
2	300	40	E		
3	40	40	E		
4	7	40	D		
5	40	40	B		
6	300	40	A		
7	7	20	D		
8	7	40	E		
9	7	40	C		
10	40	20	B		
11	7	20	A		
12	40	40	D		
13	300	20	E		
14	40	20	A		
15	40	20	E		
16	7	20	C		
17	40	20	D		
18	40	40	C		
19	7	40	B		
20	300	40	C		
21	300	20	D		
22	300	40	B		
23	40	20	C		
24	300	40	D		
25	7	40	A		
26	300	20	A		
27	7	20	E		
28	7	20	B		
29	300	20	C		
30	40	40	A		

Nota: si desea contestar la encuesta electrónicamente, sólo debe hacer doble clic sobre la tabla anterior, con lo que se desplegará una planilla Excel, dentro de la cual debe moverse con el cursor del Mouse para ir completando las celdas.

**ANEXO I - RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ENCUESTA
PILOTO**

Escenario	Características del camino			Respuestas de expertos respecto al IRI objetivo								Estadísticas				
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]													
1	300	20	B	6,0	5,0	8,0	3,0	2,5	4,0	4,0	6,0	4,8	1,8	0,4	1,2	8,4
2	300	40	E	10,0	5,0	10,0	5,0	3,5	5,0	3,5	7,0	6,1	2,6	0,4	0,9	11,4
3	40	40	E	12,0	7,0	13,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	7,8	3,4	0,4	1,0	14,6
4	7	40	D	10,0	8,0	14,0	4,0	3,5	5,0	8,0	9,0	7,7	3,5	0,5	0,7	14,7
5	40	40	B	8,0	5,0	12,0	3,0	3,0	4,0	3,5	8,0	5,8	3,2	0,6	-0,6	12,3
6	300	40	A	4,0	4,0	8,0	3,0	1,5	4,0	3,5	5,0	4,1	1,9	0,5	0,4	7,9
7	7	20	D	9,0	8,0	13,0	4,0	3,5	5,0	8,0	9,0	7,4	3,2	0,4	1,1	13,7
8	7	40	E	10,0	8,0	13,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	7,7	3,1	0,4	1,5	13,9
9	7	40	C	10,0	5,0	13,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,9	3,4	0,5	0,2	13,7
10	40	20	B	10,0	5,0	11,0	3,0	3,0	4,0	3,5	8,0	5,9	3,3	0,5	-0,6	12,4
11	7	20	A	6,0	5,0	11,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	5,3	3,0	0,6	-0,6	11,2
12	40	40	D	8,0	7,0	13,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,9	3,1	0,4	0,7	13,1
13	300	20	E	9,0	5,0	9,0	5,0	3,5	5,0	3,5	7,0	5,9	2,2	0,4	1,4	10,3
14	40	20	A	9,0	5,0	10,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	5,6	3,0	0,5	-0,5	11,6
15	40	20	E	9,0	8,0	12,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	7,4	2,8	0,4	1,9	13,0
16	7	20	C	6,0	5,0	13,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,4	3,1	0,5	0,2	12,7
17	40	20	D	9,0	7,0	12,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,9	2,9	0,4	1,1	12,8
18	40	40	C	9,0	5,0	12,0	4,0	3,5	5,0	6,0	8,0	6,6	2,9	0,4	0,8	12,4
19	7	40	B	10,0	5,0	13,0	3,0	3,5	4,0	3,5	8,0	6,3	3,7	0,6	-1,1	13,6
20	300	40	C	6,0	5,0	9,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	5,2	1,9	0,4	1,4	9,0
21	300	20	D	7,0	5,0	9,0	4,0	3,0	5,0	3,5	7,0	5,4	2,1	0,4	1,3	9,6
22	300	40	B	6,0	5,0	9,0	3,0	2,5	4,0	3,5	5,0	4,8	2,1	0,4	0,6	8,9
23	40	20	C	9,0	7,0	11,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,8	2,7	0,4	1,5	12,2
24	300	40	D	10,0	5,0	10,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	5,8	2,8	0,5	0,3	11,3
25	7	40	A	9,0	5,0	12,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	5,8	3,5	0,6	-1,2	12,8
26	300	20	A	7,0	5,0	7,0	3,0	1,5	4,0	3,5	5,0	4,5	1,9	0,4	0,7	8,3
27	7	20	E	6,0	8,0	13,0	5,0	3,5	5,0	8,0	10,0	7,3	3,1	0,4	1,1	13,5
28	7	20	B	6,0	5,0	12,0	3,0	3,5	4,0	6,0	8,0	5,9	2,9	0,5	0,1	11,8
29	300	20	C	7,0	5,0	8,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	5,2	1,7	0,3	1,7	8,6
30	40	40	A	11,0	5,0	11,0	3,0	2,0	4,0	3,5	7,0	5,8	3,5	0,6	-1,2	12,9
PROMEDIO				8,3	5,7	11,0	3,8	3,0	4,6	5,0	7,7	6,1	2,8	0,46	0,5	11,8

Escenario	Características del camino			Respuestas de expertos respecto al IRI umbral								Estadísticas				
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]													
1	300	20	B	9,0	8,0	13,0	4,0	5,0	6,0	6,0	9,0	7,5	2,9	0,4	1,7	13,3
2	300	40	E	13,0	10,0	15,0	6,0	6,0	12,0	6,0	10,0	9,8	3,5	0,4	2,8	16,7
3	40	40	E	15,0	10,0	19,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	11,9	4,3	0,4	3,4	20,4
4	7	40	D	16,0	10,0	20,0	7,0	6,0	12,0	12,0	13,0	12,0	4,6	0,4	2,9	21,1
5	40	40	B	10,0	8,0	18,0	4,5	5,5	6,0	6,0	12,0	8,8	4,5	0,5	-0,3	17,8
6	300	40	A	6,0	8,0	13,0	4,0	4,0	6,0	6,0	8,0	6,9	2,9	0,4	1,1	12,7
7	7	20	D	15,0	10,0	19,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	11,9	4,3	0,4	3,4	20,4
8	7	40	E	17,0	10,0	20,0	8,0	6,0	15,0	12,0	14,0	12,8	4,7	0,4	3,4	22,1
9	7	40	C	14,0	8,0	19,0	7,0	5,5	10,0	12,0	13,0	11,1	4,4	0,4	2,3	19,8
10	40	20	B	13,0	8,0	17,0	4,5	5,5	6,0	6,0	13,0	9,1	4,6	0,5	-0,1	18,3
11	7	20	A	8,0	8,0	17,0	5,0	4,0	8,0	6,0	12,0	8,5	4,2	0,5	0,1	16,9
12	40	40	D	12,0	10,0	19,0	6,0	6,0	10,0	10,0	13,0	10,8	4,2	0,4	2,4	19,1
13	300	20	E	15,0	8,0	14,0	6,0	6,0	12,0	6,0	11,0	9,8	3,7	0,4	2,3	17,2
14	40	20	A	11,0	8,0	16,0	4,5	4,0	6,0	8,0	12,0	8,7	4,1	0,5	0,5	16,9
15	40	20	E	15,0	10,0	18,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	11,8	4,0	0,3	3,7	19,8
16	7	20	C	10,0	10,0	19,0	7,0	5,5	10,0	10,0	14,0	10,7	4,2	0,4	2,3	19,1
17	40	20	D	14,0	10,0	18,0	6,0	6,0	10,0	10,0	14,0	11,0	4,1	0,4	2,7	19,3
18	40	40	C	13,0	8,0	18,0	6,0	5,5	8,0	10,0	12,0	10,1	4,2	0,4	1,7	18,4
19	7	40	B	13,0	8,0	19,0	5,0	6,0	8,0	6,0	12,0	9,6	4,7	0,5	0,1	19,1
20	300	40	C	9,0	8,0	14,0	5,0	5,0	8,0	6,0	9,0	8,0	2,9	0,4	2,1	13,9
21	300	20	D	11,0	8,0	14,0	5,0	5,0	10,0	6,0	10,0	8,6	3,2	0,4	2,2	15,0
22	300	40	B	8,0	8,0	14,0	4,0	5,0	6,0	6,0	9,0	7,5	3,1	0,4	1,3	13,7
23	40	20	C	13,0	10,0	17,0	6,0	5,5	8,0	8,0	13,0	10,1	4,0	0,4	2,1	18,0
24	300	40	D	14,0	10,0	15,0	5,0	5,0	10,0	6,0	10,0	9,4	3,9	0,4	1,7	17,1
25	7	40	A	11,0	8,0	18,0	5,0	4,0	8,0	8,0	12,0	9,3	4,4	0,5	0,4	18,1
26	300	20	A	9,0	8,0	12,0	4,0	4,0	6,0	6,0	9,0	7,3	2,8	0,4	1,7	12,8
27	7	20	E	12,0	12,0	19,0	8,0	6,0	15,0	12,0	15,0	12,4	4,1	0,3	4,2	20,6
28	7	20	B	9,0	8,0	18,0	5,0	6,0	8,0	8,0	13,0	9,4	4,2	0,4	1,0	17,8
29	300	20	C	10,0	8,0	13,0	5,0	5,0	8,0	6,0	10,0	8,1	2,8	0,3	2,5	13,7
30	40	40	A	13,0	8,0	17,0	4,5	4,0	6,0	8,0	11,0	8,9	4,5	0,5	0,0	17,9
PROMEDIO				11,9	8,9	16,7	5,6	5,3	9,1	8,3	11,8	9,7	3,9	0,41		

Análisis de los resultados obtenidos

Se puede observar que el coeficiente de variación de cada uno de los escenarios es, en general, inferior a 0,5. Además el coeficiente de variación promedio de todos los escenarios es de 0,46 para el caso del IRI_objetivo y de 0,41 para el IRI_umbral. Este indicador muestra que existe un grado de convergencia aceptable dada la naturaleza del experimento. En todo caso, se espera que tras la aplicación de la encuesta final al panel completo, este estadístico sea aún menor.

Por otra parte, interesará probar si la encuesta está cumpliendo el objetivo de lograr que los expertos sean consistentes a la hora de asignar los IRI_umbral e IRI_objetivo a cada escenario. Para ello se realizarán los análisis de varianza respectivos.

Los valores promedio de IRI objetivo para cada escenario se pueden ordenar de manera de rellenar el factorial propuesto, esto se observa en la Tabla I-1.

Tabla I-1: Factorial propuesto para IRI objetivo, con datos de la encuesta piloto

Resultados panel piloto: Media IRI objetivo según escenario						
TMDA	%TMDA Pesado	Clase				
		A	B	C	D	E
7	20%	5,31	5,94	6,44	7,44	7,31
	40%	5,81	6,25	6,94	7,69	7,69
40	20%	5,56	5,94	6,81	6,94	7,44
	40%	5,81	5,81	6,56	6,94	7,81
300	20%	4,50	4,81	5,19	5,44	5,88
	40%	4,13	4,75	5,19	5,81	6,13

Con los datos de la Tabla I-1 se realiza un ANOVA del tipo “modelo lineal general”, del cual se obtiene la ecuación que correlaciona el IRI objetivo y las características del camino. Esta ecuación tiene un coeficiente de determinación ajustado de 95,13% y un error típico de 0,221. Estos indicadores son indiscutiblemente signos de un buen ajuste.

$$\text{IRI}_{\text{obje}} = 7,910 - 0,480 \text{ Clase} - 0,00516 \text{ TMDA} + 0,00867 \text{ TMDA}_{\text{pesado}}$$

Al mismo tiempo, los valores promedio de IRI umbral para cada escenario se pueden ordenar de manera de rellenar el factorial propuesto, esto se observa en la Tabla I-2

Tabla I-2: Factorial propuesto para IRI umbral, con datos de la encuesta piloto

Resultados panel piloto: Media IRI umbral según escenario						
TMDA	%TMDA Pesado	Clase				
		A	B	C	D	E
7	20%	8,5	9,4	10,7	11,9	12,4
	40%	9,3	9,6	11,1	12,0	12,8
40	20%	8,7	9,1	10,1	11,0	11,8
	40%	8,9	8,8	10,1	10,8	11,9
300	20%	7,3	7,5	8,1	8,6	9,8
	40%	6,9	7,5	8,0	9,4	9,8

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la Tabla I-2 se realiza un ANOVA del tipo “modelo lineal general”, del cual se obtiene la ecuación que correlaciona el IRI objetivo y las características del camino. Esta ecuación tiene un coeficiente de determinación ajustado de 94,85% y un error típico de 0,370. Estos indicadores también son signos de un buen ajuste.

$$\text{IRI}_{\text{umbr}} = 12,93 - 0,827 \text{ Clase} - 0,00792 \text{ TMDA} + 0,00667 \text{ TMDA}_{\text{pesado}}$$

En ambos modelos todas las variables son significativas, salvo la variable TMDA_{pesado} en el modelo de IRI umbral. Salvo por esta excepción, los resultados de la aplicación de la encuesta piloto fueron satisfactorios, por lo que se procedió a aplicar la encuesta final sin modificaciones.

La Figura I-1 y la Figura I-2 corresponden a los análisis gráficos de los residuos. Se observa que en ambos casos, los residuos se comportan de manera normal, por lo que no hay pruebas para negar linealidad de los modelos obtenidos.

Figura I-1: Análisis gráfico de residuos para el modelo de IRI objetivo

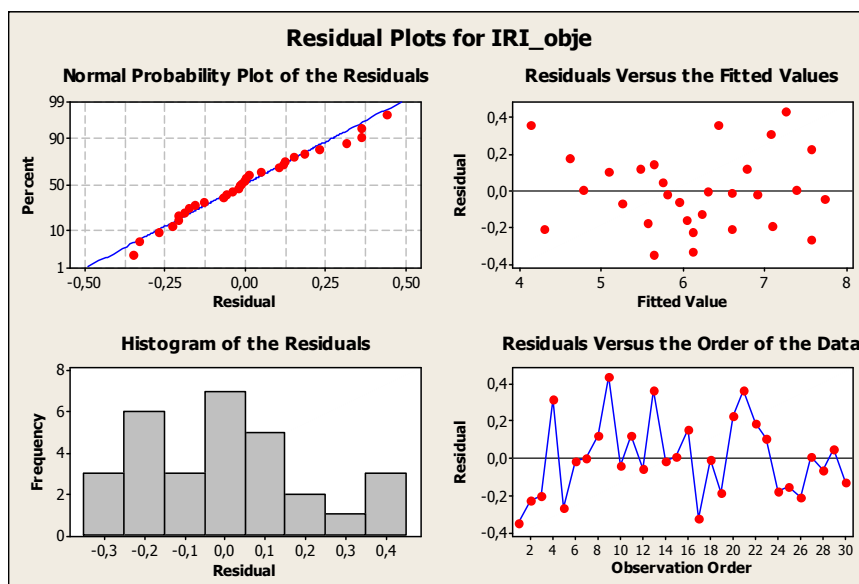
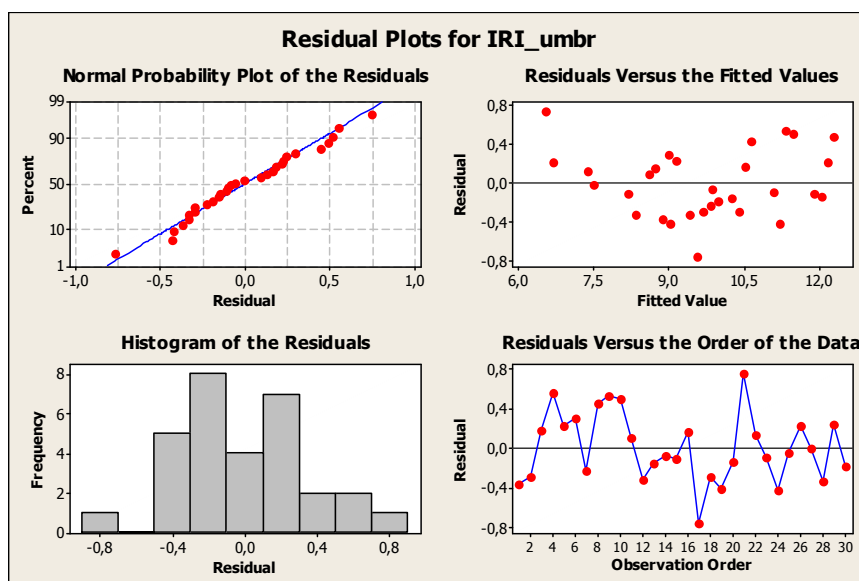


Figura I-2: Análisis de residuos para el modelo de IRI umbral



**ANEXO J - RESULTADOS Y ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA ENCUESTA
DEFINITIVA**

Escenario	Características del camino			Respuestas de expertos respecto al IRI objetivo																								Estadísticas					G1	G2
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9	Experto 10	Experto 11	Experto 12	Experto 13	Experto 14	Experto 15	Experto 16	Experto 17	Experto 18	Experto 19	Experto 20	Experto 21	Experto 22	Experto 23	Experto 24	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior		
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]																															
1	300	20	B	6,0	5,0	8,0	3,0	2,5	4,0	4,0	6,0	7,0	4,0	2,0	5,0	3,0	7,0	6,0	6,0	8,0	4,0	7,0	10,0	4,0	6,0	6,0	4,0	5,3	2,0	0,4	1,4	9,2	2,40	4,09
2	300	40	E	10,0	5,0	10,0	5,0	3,5	5,0	3,5	7,0	6,0	4,0	3,0	7,0	5,5	12,0	8,0	6,0	8,0	8,0	10,0	20,0	5,0	9,0	8,0	6,0	7,3	3,6	0,5	0,1	14,5	3,54	4,72
3	40	40	E	12,0	7,0	13,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	10,0	5,0	3,0	8,0	5,5	12,0	10,0	8,0	10,0	9,0	10,0	14,0	5,0	9,0	10,0	9,0	8,3	3,0	0,4	2,4	14,3	1,91	3,70
4	7	40	D	10,0	8,0	14,0	4,0	3,5	5,0	8,0	9,0	15,0	6,0	3,0	8,0	5,5	10,0	10,0	8,0	12,0	10,0	10,0	10,0	5,0	8,0	10,0	11,0	8,5	3,1	0,4	2,2	14,7	2,10	3,85
5	40	40	B	8,0	5,0	12,0	3,0	3,0	4,0	3,5	8,0	9,0	4,0	2,0	7,0	3,5	7,0	8,0	7,0	10,0	5,0	7,0	6,0	4,0	6,0	7,0	7,0	6,1	2,5	0,4	1,2	11,0	2,40	4,06
6	300	40	A	4,0	4,0	8,0	3,0	1,5	4,0	3,5	5,0	5,0	3,0	1,5	4,0	3,0	6,0	5,0	6,0	8,0	3,0	7,0	8,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,6	1,8	0,4	1,0	8,3	1,82	3,54
7	7	20	D	9,0	8,0	13,0	4,0	3,5	5,0	8,0	9,0	15,0	8,0	3,0	8,0	5,5	10,0	10,0	9,0	12,0	10,0	10,0	8,0	5,0	8,0	10,0	10,0	8,4	2,9	0,4	2,5	14,3	2,25	4,08
8	7	40	E	10,0	8,0	13,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	15,0	7,0	4,0	8,0	5,5	12,0	10,0	8,0	12,0	10,0	10,0	10,0	5,0	9,0	10,0	11,0	8,7	3,0	0,3	2,8	14,6	2,14	3,89
9	7	40	C	10,0	5,0	13,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	15,0	6,0	3,0	7,0	5,0	8,0	10,0	8,0	12,0	8,0	7,0	8,0	5,0	8,0	8,0	9,0	7,6	3,0	0,4	1,7	13,6	2,49	4,03
10	40	20	B	10,0	5,0	11,0	3,0	3,0	4,0	3,5	8,0	12,0	5,0	2,0	6,0	3,5	7,0	8,0	7,0	10,0	5,0	7,0	6,0	4,0	7,0	7,0	6,0	6,3	2,7	0,4	0,9	11,6	2,17	3,77
11	7	20	A	6,0	5,0	11,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	15,0	6,0	2,0	6,0	3,5	6,0	8,0	7,0	12,0	3,0	7,0	4,0	4,0	6,0	8,0	8,0	6,2	3,2	0,5	-0,2	12,6	2,76	4,07
12	40	40	D	8,0	7,0	13,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	10,0	6,0	4,0	8,0	5,0	10,0	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0	12,0	5,0	8,0	9,0	9,0	7,8	2,6	0,3	2,7	12,9	2,02	3,70
13	300	20	E	9,0	5,0	9,0	5,0	3,5	5,0	3,5	7,0	8,0	5,0	4,0	7,0	5,5	12,0	8,0	7,0	8,0	8,0	10,0	18,0	5,0	9,0	10,0	5,0	7,4	3,2	0,4	0,9	13,8	3,32	4,52
14	40	20	A	9,0	5,0	10,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	12,0	5,0	1,5	6,0	3,5	6,0	6,0	7,0	10,0	3,0	7,0	4,0	4,0	5,0	7,0	6,0	5,7	2,7	0,5	0,4	11,1	2,35	3,93
15	40	20	E	9,0	8,0	12,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	13,0	8,0	4,0	8,0	6,0	12,0	10,0	8,0	10,0	10,0	10,0	12,0	5,0	9,0	10,0	8,0	8,4	2,6	0,3	3,2	13,7	1,88	3,62
16	7	20	C	6,0	5,0	13,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	15,0	7,0	3,0	7,0	5,0	8,0	10,0	8,0	12,0	8,0	7,0	6,0	5,0	8,0	9,0	8,0	7,4	2,9	0,4	1,5	13,3	2,58	4,07
17	40	20	D	9,0	7,0	12,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	13,0	7,0	3,0	7,0	5,0	10,0	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0	10,0	5,0	8,0	10,0	8,0	7,8	2,6	0,3	2,5	13,1	1,96	3,77
18	40	40	C	9,0	5,0	12,0	4,0	3,5	5,0	6,0	8,0	10,0	5,0	3,0	7,0	4,5	8,0	9,0	7,0	10,0	6,0	7,0	10,0	5,0	8,0	8,0	8,0	7,0	2,3	0,3	2,3	11,7	2,13	3,84
19	7	40	B	10,0	5,0	13,0	3,0	3,5	4,0	3,5	8,0	15,0	5,0	2,5	6,0	4,0	7,0	9,0	7,0	12,0	5,0	7,0	8,0	4,0	7,0	8,0	8,0	6,9	3,2	0,5	0,4	13,3	2,51	3,85
20	300	40	C	6,0	5,0	9,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	6,0	3,0	2,5	6,0	4,0	8,0	7,0	6,0	8,0	6,0	7,0	16,0	5,0	7,0	7,0	5,0	6,0	2,7	0,4	0,6	11,5	3,67	4,97
21	300	20	D	7,0	5,0	9,0	4,0	3,0	5,0	3,5	7,0	8,0	5,0	3,0	6,0	4,5	10,0	8,0	7,0	8,0	8,0	10,0	16,0	5,0	8,0	8,0	5,0	6,8	2,9	0,4	1,1	12,5	3,22	4,54
22	300	40	B	6,0	5,0	9,0	3,0	2,5	4,0	3,5	5,0	5,0	3,0	1,5	5,0	3,0	7,0	6,0	6,0	8,0	4,0	7,0	10,0	4,0	6,0	6,0	5,0	5,2	2,1	0,4	1,1	9,3	2,33	4,12
23	40	20	C	9,0	7,0	11,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	13,0	6,0	3,0	7,0	4,5	8,0	9,0	7,0	10,0	6,0	7,0	8,0	5,0	8,0	8,0	7,0	7,1	2,4	0,3	2,3	11,9	2,46	4,19
24	300	40	D	10,0	5,0	10,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	6,0	4,0	3,0	6,0	4,5	10,0	8,0	6,0	8,0	6,0	10,0	18,0	5,0	8,0	9,0	6,0	6,8	3,3	0,5	0,2	13,4	3,39	4,55
25	7	40	A	9,0	5,0	12,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	15,0	5,0	2,0	6,0	4,0	6,0	8,0	7,0	12,0	3,0	7,0	6,0	4,0	6,0	8,0	8,0	6,4	3,3	0,5	-0,2	12,9	2,63	3,97
26	300	20	A	7,0	5,0	7,0	3,0	1,5	4,0	3,5	5,0	7,0	4,0	1,5	4,0	3,0	6,0	5,0	6,0	8,0	3,0	7,0	8,0	4,0	5,0	6,0	4,0	4,9	1,9	0,4	1,2	8,6	1,82	3,47
27	7	20	E	6,0	8,0	13,0	5,0	3,5	5,0	8,0	10,0	15,0	8,0	4,0	8,0	5,5	12,0	10,0	9,0	12,0	12,0	10,0	10,0	5,0	9,0	11,0	10,0	8,7	3,1	0,4	2,6	14,8	2,06	3,77
28	7	20	B	6,0	5,0	12,0	3,0	3,5	4,0	6,0	8,0	15,0	6,0	3,0	8,0	4,0	7,0	9,0	8,0	12,0	6,0	7,0	6,0	4,0	7,0	9,0	8,0	6,9	3,0	0,4	0,9	12,9	2,69	4,01
29	300	20	C	7,0	5,0	8,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	8,0	4,0	3,0	6,0	4,0	8,0	7,0	6,0	8,0	6,0	7,0	14,0	5,0	7,0	8,0	4,0	6,1	2,4	0,4	1,3	10,9	3,31	4,61
30	40	40	A	11,0	5,0	11,0	3,0	2,0	4,0	3,5	7,0	9,0	4,0	2,0	6,0	3,5	6,0	6,0	7,0	10,0	3,0	7,0	4,0	4,0	5,0	6,0	7,0	5,7	2,6	0,5	0,4	10,9	2,04	3,45
PROMEDIO				8,3	5,7	11,0	3,8	3,0	4,6	5,0	7,7	10,9	5,3	2,7	6,6	4,4	8,6	8,3	7,2	10,0	6,5	8,2	10,0	4,6	7,3	8,2	7,2	6,88	2,75	0,40	1,38	12,37	1,51	3,02

Escenario	Características del camino			Respuestas de expertos respecto al IRI umbral																								Estadísticas						G1	G2
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 9	Experto 10	Experto 11	Experto 12	Experto 13	Experto 14	Experto 15	Experto 16	Experto 17	Experto 18	Experto 19	Experto 20	Experto 21	Experto 22	Experto 23	Experto 24	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior			
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]																																
1	300	20	B	9,0	8,0	13,0	4,0	5,0	6,0	6,0	9,0	9,0	6,0	2,5	7,0	4,5	9,0	9,0	11,0	10,0	8,0	15,0	12,0	6,0	12,0	12,0	6,0	8,3	3,1	0,4	2,0	14,6	2,14	3,98	
2	300	40	E	13,0	10,0	15,0	6,0	6,0	12,0	6,0	10,0	10,0	6,0	4,0	10,0	7,0	15,0	10,0	13,0	12,0	12,0	17,0	22,0	6,0	18,0	15,0	8,0	11,0	4,5	0,4	1,9	20,0	2,45	3,99	
3	40	40	E	15,0	10,0	19,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	14,0	8,0	4,0	12,0	7,0	15,0	12,0	13,0	12,0	13,0	17,0	16,0	8,0	18,0	16,0	11,0	12,1	3,9	0,3	4,2	20,0	2,06	3,81	
4	7	40	D	16,0	10,0	20,0	7,0	6,0	12,0	12,0	13,0	18,0	9,0	4,0	11,0	7,0	12,0	12,0	14,0	14,0	15,0	17,0	12,0	8,0	16,0	16,0	12,0	12,2	4,0	0,3	4,2	20,2	2,05	3,99	
5	40	40	B	10,0	8,0	18,0	4,5	5,5	6,0	6,0	12,0	11,0	6,0	2,5	10,0	5,0	9,0	11,0	12,0	12,0	10,0	15,0	8,0	6,0	12,0	12,0	8,0	9,1	3,6	0,4	1,9	16,4	2,44	4,28	
6	300	40	A	6,0	8,0	13,0	4,0	4,0	6,0	6,0	8,0	6,0	5,0	2,5	6,0	4,5	8,0	8,0	10,0	10,0	5,0	15,0	10,0	6,0	12,0	10,0	6,0	7,5	3,1	0,4	1,3	13,6	2,44	4,05	
7	7	20	D	15,0	10,0	19,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	20,0	12,0	4,0	10,0	7,0	12,0	12,0	15,0	14,0	15,0	17,0	10,0	8,0	16,0	16,0	12,0	12,3	4,1	0,3	4,2	20,4	2,04	3,93	
8	7	40	E	17,0	10,0	20,0	8,0	6,0	15,0	12,0	14,0	18,0	10,0	5,0	12,0	7,0	15,0	12,0	14,0	14,0	15,0	17,0	14,0	8,0	18,0	17,0	14,0	13,0	4,1	0,3	4,8	21,2	1,96	3,67	
9	7	40	C	14,0	8,0	19,0	7,0	5,5	10,0	12,0	13,0	18,0	8,0	4,0	10,0	6,5	10,0	12,0	13,0	14,0	12,0	15,0	10,0	8,0	14,0	15,0	10,0	11,2	3,8	0,3	3,6	18,7	2,07	3,96	
10	40	20	B	13,0	8,0	17,0	4,5	5,5	6,0	6,0	13,0	15,0	7,0	2,5	9,0	5,0	9,0	11,0	12,0	12,0	10,0	15,0	8,0	6,0	12,0	13,0	8,0	9,5	3,8	0,4	1,8	17,1	1,97	3,80	
11	7	20	A	8,0	8,0	17,0	5,0	4,0	8,0	6,0	12,0	19,0	8,0	2,5	8,0	5,0	8,0	10,0	13,0	14,0	7,0	15,0	6,0	6,0	12,0	13,0	10,0	9,4	4,2	0,5	0,9	17,8	2,28	3,91	
12	40	40	D	12,0	10,0	19,0	6,0	6,0	10,0	10,0	13,0	13,0	9,0	5,0	11,0	6,5	12,0	12,0	13,0	12,0	15,0	17,0	14,0	8,0	16,0	15,0	11,0	11,5	3,6	0,3	4,3	18,7	2,09	3,88	
13	300	20	E	15,0	8,0	14,0	6,0	6,0	12,0	6,0	11,0	12,0	8,0	5,0	11,0	7,0	15,0	10,0	13,0	12,0	15,0	17,0	20,0	6,0	18,0	16,0	8,0	11,3	4,3	0,4	2,6	20,0	2,01	3,46	
14	40	20	A	11,0	8,0	16,0	4,5	4,0	6,0	8,0	12,0	14,0	6,0	2,5	8,0	5,0	8,0	9,0	12,0	12,0	7,0	15,0	6,0	6,0	12,0	12,0	8,0	8,8	3,7	0,4	1,5	16,1	1,96	3,70	
15	40	20	E	15,0	10,0	18,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	18,0	12,0	5,0	12,0	7,5	15,0	12,0	14,0	12,0	15,0	17,0	14,0	8,0	18,0	17,0	10,0	12,5	3,9	0,3	4,8	20,3	1,94	3,36	
16	7	20	C	10,0	10,0	19,0	7,0	5,5	10,0	10,0	14,0	20,0	10,0	4,0	11,0	6,5	10,0	12,0	14,0	14,0	12,0	15,0	8,0	8,0	14,0	14,0	10,0	11,2	3,9	0,3	3,4	18,9	2,27	4,11	
17	40	20	D	14,0	10,0	18,0	6,0	6,0	10,0	10,0	14,0	17,0	12,0	4,0	10,0	6,5	12,0	12,0	14,0	12,0	12,0	17,0	12,0	8,0	16,0	16,0	10,0	11,6	3,8	0,3	4,0	19,2	2,01	3,70	
18	40	40	C	13,0	8,0	18,0	6,0	5,5	8,0	10,0	12,0	12,0	7,0	4,0	9,0	6,0	10,0	11,0	12,0	12,0	10,0	15,0	12,0	8,0	14,0	13,0	10,0	10,2	3,3	0,3	3,6	16,9	2,34	4,22	
19	7	40	B	13,0	8,0	19,0	5,0	6,0	8,0	6,0	12,0	17,0	7,0	3,5	10,0	5,5	9,0	12,0	13,0	14,0	8,0	15,0	10,0	6,0	12,0	13,0	10,0	10,1	4,0	0,4	2,1	18,1	2,23	3,88	
20	300	40	C	9,0	8,0	14,0	5,0	5,0	8,0	6,0	9,0	8,0	5,0	3,5	10,0	5,5	10,0	9,0	12,0	10,0	10,0	15,0	18,0	6,0	14,0	12,0	6,0	9,1	3,7	0,4	1,7	16,4	2,43	3,95	
21	300	20	D	11,0	8,0	14,0	5,0	5,0	10,0	6,0	10,0	11,0	7,0	4,0	10,0	6,0	12,0	10,0	13,0	12,0	12,0	17,0	18,0	6,0	16,0	14,0	8,0	10,2	3,9	0,4	2,4	18,1	1,99	3,57	
22	300	40	B	8,0	8,0	14,0	4,0	5,0	6,0	6,0	9,0	7,0	5,0	2,5	7,0	4,5	9,0	9,0	11,0	10,0	8,0	15,0	12,0	6,0	12,0	11,0	6,0	8,1	3,2	0,4	1,7	14,5	2,15	3,90	
23	40	20	C	13,0	10,0	17,0	6,0	5,5	8,0	8,0	13,0	16,0	8,0	4,0	11,0	6,0	10,0	11,0	13,0	12,0	10,0	15,0	10,0	8,0	14,0	14,0	9,0	10,5	3,5	0,3	3,6	17,4	1,89	3,76	
24	300	40	D	14,0	10,0	15,0	5,0	5,0	10,0	6,0	10,0	9,0	6,0	4,0	11,0	6,0	12,0	10,0	13,0	12,0	10,0	17,0	20,0	6,0	16,0	14,0	8,0	10,4	4,2	0,4	1,9	18,8	2,28	3,78	
25	7	40	A	11,0	8,0	18,0	5,0	4,0	8,0	8,0	12,0	17,0	6,0	3,0	9,0	5,5	8,0	10,0	13,0	14,0	6,0	15,0	8,0	6,0	12,0	13,0	10,0	9,6	4,0	0,4	1,5	17,6	2,09	3,71	
26	300	20	A	9,0	8,0	12,0	4,0	4,0	6,0	6,0	9,0	8,0	6,0	2,5	6,0	4,5	8,0	8,0	10,0	10,0	5,0	15,0	10,0	6,0	12,0	11,0	6,0	7,8	3,0	0,4	1,7	13,8	2,40	4,14	
27	7	20	E	12,0	12,0	19,0	8,0	6,0	15,0	12,0	15,0	20,0	12,0	5,0	12,0	7,0	15,0	12,0	15,0	14,0	17,0	17,0	12,0	8,0	18,0	17,0	14,0	13,1	4,1	0,3	4,9	21,2	1,98	3,68	
28	7	20	B	9,0	8,0	18,0	5,0	6,0	8,0	8,0	13,0	19,0	8,0	4,0	10,0	5,5	9,0	12,0	14,0	14,0	10,0	15,0	8,0	6,0	12,0	14,0	10,0	10,2	4,0	0,4	2,2	18,2	2,19	3,74	
29	300	20	C	10,0	8,0	13,0	5,0	5,0	8,0	6,0	10,0	10,0	6,0	4,0	9,0	5,5	10,0	9,0	12,0	10,0	10,0	15,0	16,0	6,0	14,0	14,0	6,0	9,2	3,4	0,4	2,4	16,1	1,97	3,49	
30	40	40	A	13,0	8,0	17,0	4,5	4,0	6,0	8,0	11,0	10,0	6,0	3,0	8,0	5,0	8,0	9,0	12,0	12,0	8,0	15,0	6,0	6,0	12,0	12,0	8,0	8,8	3,6	0,4	1,6	16,0	2,28	3,91	
PROMEDIO				11,9	8,9	16,7	5,6	5,3	9,1	8,3	11,8	13,9	7,7	3,7	9,7	5,9	10,8	10,6	12,8	12,3	10,7	15,8	12,1	6,8	14,4	13,9	9,1	10,32	3,78	0,37	2,76	17,88	1,76	3,46	

Análisis de los resultados obtenidos

Se realizó un análisis exploratorio de los datos obtenidos con el panel final de expertos. Se observa que el coeficiente de variación promedio de las respuestas se mantiene bajo el 50%, incluso pasando algunos puntos debajo del obtenido con los datos del panel piloto de expertos. Por lo tanto se cumple cierta homogeneidad en las respuestas de los expertos. Por otra parte, en las 2 tablas presentadas anteriormente se marcan (con fondo gris) los casos en que los test de consistencia y homogeneidad descritos en el capítulo III son rechazados:

- Consistencia 1: se marca en cada escenario de cada experto si ha sobrepasado los límites normales ($\text{media} \pm 2 \text{ desviación estándar}$). Aquellos expertos que tengan más del 20% de sus respuestas (más de 6 escenarios) fuera de los límites, fueron eliminados de los análisis posteriores.
- Consistencia 2: se calculan, al final de cada fila de escenario, los valores de Grubbs para cada escenario. Se marcan aquellos que superan los valores críticos de Grubbs. Idealmente no debe haber ninguna celda marcada.
- Homogeneidad: se marcan aquellos escenarios en que el coeficiente de variación es mayor al 50%. En aquellos escenarios en que se supere este valor, se identificarán las respuestas que causen esto y se eliminarán todas las respuestas de estos expertos.

Producto de este análisis exploratorio se eliminan los expertos N° 3, 9, 17 y 20 para el caso de las respuestas de IRI objetivo y los expertos N° 3, 9, 11 y 19 para el caso de las respuestas de IRI umbral, todos ellos por incumplir el test de consistencia 1. Luego de la eliminación de estos expertos, los otros test se cumplen, por lo que, los análisis estadísticos realizados posteriormente cuentan con las respuestas de 20 de los 24 expertos. En el Anexo J se muestran las respuestas y los análisis estadísticos del panel final.

**ANEXO K - RESULTADOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ENCUESTA
DEFINITIVA**

Escenario	Características del camino			Respuestas de expertos respecto al IRI objetivo																				Estadísticas						
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 1	Experto 2	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 10	Experto 11	Experto 12	Experto 13	Experto 14	Experto 15	Experto 16	Experto 18	Experto 19	Experto 21	Experto 22	Experto 23	Experto 24	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior	Grubber 1	Grubber 2
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]																											
1	300	20	B	6,0	5,0	3,0	2,5	4,0	4,0	6,0	4,0	2,0	5,0	3,0	7,0	6,0	6,0	4,0	7,0	4,0	6,0	6,0	4,0	4,7	1,5	0,3	1,8	7,7	1,84	3,37
2	300	40	E	10,0	5,0	5,0	3,5	5,0	3,5	7,0	4,0	3,0	7,0	5,5	12,0	8,0	6,0	8,0	10,0	5,0	9,0	8,0	6,0	6,5	2,5	0,4	1,6	11,5	2,22	3,65
3	40	40	E	12,0	7,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	5,0	3,0	8,0	5,5	12,0	10,0	8,0	9,0	10,0	5,0	9,0	10,0	9,0	7,7	2,7	0,3	2,3	13,0	1,75	3,39
4	7	40	D	10,0	8,0	4,0	3,5	5,0	8,0	9,0	6,0	3,0	8,0	5,5	10,0	10,0	8,0	10,0	10,0	5,0	8,0	10,0	11,0	7,6	2,5	0,3	2,6	12,6	1,83	3,18
5	40	40	B	8,0	5,0	3,0	3,0	4,0	3,5	8,0	4,0	2,0	7,0	3,5	7,0	8,0	7,0	5,0	7,0	4,0	6,0	7,0	7,0	5,5	2,0	0,4	1,5	9,4	1,77	3,07
6	300	40	A	4,0	4,0	3,0	1,5	4,0	3,5	5,0	3,0	1,5	4,0	3,0	6,0	5,0	6,0	3,0	7,0	4,0	5,0	5,0	5,0	4,1	1,4	0,3	1,3	7,0	2,02	3,87
7	7	20	D	9,0	8,0	4,0	3,5	5,0	8,0	9,0	8,0	3,0	8,0	5,5	10,0	10,0	9,0	10,0	10,0	5,0	8,0	10,0	10,0	7,7	2,4	0,3	2,8	12,5	1,93	2,91
8	7	40	E	10,0	8,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	7,0	4,0	8,0	5,5	12,0	10,0	8,0	10,0	10,0	5,0	9,0	10,0	11,0	7,9	2,5	0,3	2,9	12,9	1,77	3,42
9	7	40	C	10,0	5,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,0	3,0	7,0	5,0	8,0	10,0	8,0	8,0	7,0	5,0	8,0	8,0	9,0	6,7	2,1	0,3	2,5	10,9	1,76	3,31
10	40	20	B	10,0	5,0	3,0	3,0	4,0	3,5	8,0	5,0	2,0	6,0	3,5	7,0	8,0	7,0	5,0	7,0	4,0	7,0	7,0	6,0	5,6	2,1	0,4	1,4	9,7	2,14	3,84
11	7	20	A	6,0	5,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	6,0	2,0	6,0	3,5	6,0	8,0	7,0	3,0	7,0	4,0	6,0	8,0	8,0	5,3	2,0	0,4	1,2	9,4	1,61	2,93
12	40	40	D	8,0	7,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,0	4,0	8,0	5,0	10,0	10,0	8,0	8,0	10,0	5,0	8,0	9,0	9,0	7,1	2,2	0,3	2,8	11,4	1,68	3,02
13	300	20	E	9,0	5,0	5,0	3,5	5,0	3,5	7,0	5,0	4,0	7,0	5,5	12,0	8,0	7,0	8,0	10,0	5,0	9,0	10,0	5,0	6,7	2,4	0,4	1,8	11,5	2,21	3,52
14	40	20	A	9,0	5,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	5,0	1,5	6,0	3,5	6,0	6,0	7,0	3,0	7,0	4,0	5,0	7,0	6,0	5,1	2,0	0,4	1,1	9,1	1,95	3,73
15	40	20	E	9,0	8,0	5,0	3,5	5,0	8,0	9,0	8,0	4,0	8,0	6,0	12,0	10,0	8,0	10,0	10,0	5,0	9,0	10,0	8,0	7,8	2,3	0,3	3,2	12,4	1,85	3,68
16	7	20	C	6,0	5,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	7,0	3,0	7,0	5,0	8,0	10,0	8,0	8,0	7,0	5,0	8,0	9,0	8,0	6,6	2,0	0,3	2,6	10,5	1,82	3,56
17	40	20	D	9,0	7,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	7,0	3,0	7,0	5,0	10,0	10,0	8,0	8,0	10,0	5,0	8,0	10,0	8,0	7,1	2,3	0,3	2,6	11,7	1,82	3,08
18	40	40	C	9,0	5,0	4,0	3,5	5,0	6,0	8,0	5,0	3,0	7,0	4,5	8,0	9,0	7,0	6,0	7,0	5,0	8,0	8,0	8,0	6,3	1,8	0,3	2,6	10,0	1,79	3,25
19	7	40	B	10,0	5,0	3,0	3,5	4,0	3,5	8,0	5,0	2,5	6,0	4,0	7,0	9,0	7,0	5,0	7,0	4,0	7,0	8,0	8,0	5,8	2,2	0,4	1,5	10,2	1,93	3,46
20	300	40	C	6,0	5,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	3,0	2,5	6,0	4,0	8,0	7,0	6,0	6,0	7,0	5,0	7,0	7,0	5,0	5,3	1,6	0,3	2,2	8,4	1,79	3,51
21	300	20	D	7,0	5,0	4,0	3,0	5,0	3,5	7,0	5,0	3,0	6,0	4,5	10,0	8,0	7,0	8,0	10,0	5,0	8,0	8,0	5,0	6,1	2,1	0,3	1,8	10,4	1,83	3,28
22	300	40	B	6,0	5,0	3,0	2,5	4,0	3,5	5,0	3,0	1,5	5,0	3,0	7,0	6,0	6,0	4,0	7,0	4,0	6,0	6,0	5,0	4,6	1,6	0,3	1,5	7,7	2,01	3,54
23	40	20	C	9,0	7,0	4,0	3,5	5,0	6,0	9,0	6,0	3,0	7,0	4,5	8,0	9,0	7,0	6,0	7,0	5,0	8,0	8,0	7,0	6,5	1,8	0,3	2,8	10,1	1,89	3,28
24	300	40	D	10,0	5,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	4,0	3,0	6,0	4,5	10,0	8,0	6,0	6,0	10,0	5,0	8,0	9,0	6,0	6,1	2,3	0,4	1,5	10,7	1,68	3,02
25	7	40	A	9,0	5,0	3,0	2,0	4,0	3,5	8,0	5,0	2,0	6,0	4,0	6,0	8,0	7,0	3,0	7,0	4,0	6,0	8,0	8,0	5,4	2,2	0,4	1,1	9,8	1,64	3,20
26	300	20	A	7,0	5,0	3,0	1,5	4,0	3,5	5,0	4,0	1,5	4,0	3,0	6,0	5,0	6,0	3,0	7,0	4,0	5,0	6,0	4,0	4,4	1,6	0,4	1,2	7,5	1,83	3,50
27	7	20	E	6,0	8,0	5,0	3,5	5,0	8,0	10,0	8,0	4,0	8,0	5,5	12,0	10,0	9,0	12,0	10,0	5,0	9,0	11,0	10,0	8,0	2,6	0,3	2,7	13,2	1,69	3,22
28	7	20	B	6,0	5,0	3,0	3,5	4,0	6,0	8,0	6,0	3,0	8,0	4,0	7,0	9,0	8,0	6,0	7,0	4,0	7,0	9,0	8,0	6,1	2,0	0,3	2,1	10,0	1,56	3,04
29	300	20	C	7,0	5,0	4,0	3,0	5,0	3,5	6,0	4,0	3,0	6,0	4,0	8,0	7,0	6,0	6,0	7,0	5,0	7,0	8,0	4,0	5,4	1,6	0,3	2,2	8,6	1,61	3,13
30	40	40	A	11,0	5,0	3,0	2,0	4,0	3,5	7,0	4,0	2,0	6,0	3,5	6,0	6,0	7,0	3,0	7,0	4,0	5,0	6,0	7,0	5,1	2,2	0,4	0,8	9,4	2,72	4,15
PROMEDIO				8,3	5,7	3,8	3,0	4,6	5,0	7,7	5,3	2,7	6,6	4,4	8,6	8,3	7,2	6,5	8,2	4,6	7,3	8,2	7,2	6,15	2,08	0,34	2,00	10,31	1,65	2,83

Escenario	Características del camino			Respuestas de expertos respecto al IRI																								Estadísticas							
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 1	Experto 2	Experto 4	Experto 5	Experto 6	Experto 7	Experto 8	Experto 10	Experto 12	Experto 13	Experto 14	Experto 15	Experto 16	Experto 17	Experto 18	Experto 20	Experto 21	Experto 22	Experto 23	Experto 24	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior	Grubber 1	Grubber 2					
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]																																
1	300	20	B	9,0	8,0	4,0	5,0	6,0	6,0	9,0	6,0	7,0	4,5	9,0	9,0	11,0	10,0	8,0	12,0	6,0	12,0	12,0	6,0	8,0	2,5	0,3	2,9	13,1	1,58	3,14					
2	300	40	E	13,0	10,0	6,0	6,0	12,0	6,0	10,0	6,0	10,0	7,0	15,0	10,0	13,0	12,0	12,0	22,0	6,0	18,0	15,0	8,0	10,9	4,4	0,4	2,1	19,6	2,54	3,64					
3	40	40	E	15,0	10,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	8,0	12,0	7,0	15,0	12,0	13,0	12,0	13,0	16,0	8,0	18,0	16,0	11,0	11,9	3,4	0,3	5,1	18,6	1,83	3,57					
4	7	40	D	16,0	10,0	7,0	6,0	12,0	12,0	13,0	9,0	11,0	7,0	12,0	12,0	14,0	14,0	15,0	12,0	8,0	16,0	16,0	12,0	11,7	3,1	0,3	5,5	17,9	1,85	3,25					
5	40	40	B	10,0	8,0	4,5	5,5	6,0	6,0	12,0	6,0	10,0	5,0	9,0	11,0	12,0	12,0	10,0	8,0	6,0	12,0	12,0	8,0	8,7	2,7	0,3	3,3	14,0	1,55	2,79					
6	300	40	A	6,0	8,0	4,0	4,0	6,0	6,0	8,0	5,0	6,0	4,5	8,0	8,0	10,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0	10,0	6,0	7,1	2,3	0,3	2,5	11,8	2,09	3,44					
7	7	20	D	15,0	10,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	12,0	10,0	7,0	12,0	12,0	15,0	14,0	15,0	10,0	8,0	16,0	16,0	12,0	11,8	3,1	0,3	5,6	17,9	1,87	3,25					
8	7	40	E	17,0	10,0	8,0	6,0	15,0	12,0	14,0	10,0	12,0	7,0	15,0	12,0	14,0	14,0	15,0	14,0	8,0	18,0	17,0	14,0	12,6	3,5	0,3	5,7	19,5	1,91	3,47					
9	7	40	C	14,0	8,0	7,0	5,5	10,0	12,0	13,0	8,0	10,0	6,5	10,0	12,0	13,0	14,0	12,0	10,0	8,0	14,0	15,0	10,0	10,6	2,8	0,3	5,0	16,2	1,82	3,39					
10	40	20	B	13,0	8,0	4,5	5,5	6,0	6,0	13,0	7,0	9,0	5,0	9,0	11,0	12,0	12,0	10,0	8,0	6,0	12,0	13,0	8,0	8,9	2,9	0,3	3,1	14,7	1,51	2,91					
11	7	20	A	8,0	8,0	5,0	4,0	8,0	6,0	12,0	8,0	8,0	5,0	8,0	10,0	13,0	14,0	7,0	6,0	6,0	12,0	13,0	10,0	8,6	3,0	0,3	2,6	14,5	1,84	3,37					
12	40	40	D	12,0	10,0	6,0	6,0	10,0	10,0	13,0	9,0	11,0	6,5	12,0	12,0	13,0	12,0	15,0	14,0	8,0	16,0	15,0	11,0	11,1	2,9	0,3	5,2	17,0	1,73	3,40					
13	300	20	E	15,0	8,0	6,0	6,0	12,0	6,0	11,0	8,0	11,0	7,0	15,0	10,0	13,0	12,0	15,0	20,0	6,0	18,0	16,0	8,0	11,2	4,3	0,4	2,5	19,8	2,05	3,25					
14	40	20	A	11,0	8,0	4,5	4,0	6,0	8,0	12,0	6,0	8,0	5,0	8,0	9,0	12,0	12,0	7,0	6,0	6,0	12,0	12,0	8,0	8,2	2,7	0,3	2,7	13,7	1,54	2,91					
15	40	20	E	15,0	10,0	7,0	6,0	12,0	12,0	14,0	12,0	12,0	7,5	15,0	12,0	14,0	12,0	15,0	14,0	8,0	18,0	17,0	10,0	12,1	3,3	0,3	5,6	18,7	1,86	3,65					
16	7	20	C	10,0	10,0	7,0	5,5	10,0	10,0	14,0	10,0	11,0	6,5	10,0	12,0	14,0	14,0	12,0	8,0	8,0	14,0	14,0	10,0	10,5	2,7	0,3	5,2	15,8	1,89	3,21					
17	40	20	D	14,0	10,0	6,0	6,0	10,0	10,0	14,0	12,0	10,0	6,5	12,0	12,0	14,0	12,0	12,0	12,0	8,0	16,0	16,0	10,0	11,1	3,0	0,3	5,2	17,1	1,73	3,37					
18	40	40	C	13,0	8,0	6,0	5,5	8,0	10,0	12,0	7,0	9,0	6,0	10,0	11,0	12,0	12,0	10,0	12,0	8,0	14,0	13,0	10,0	9,8	2,6	0,3	4,7	14,9	1,69	3,32					
19	7	40	B	13,0	8,0	5,0	6,0	8,0	6,0	12,0	7,0	10,0	5,5	9,0	12,0	13,0	14,0	8,0	10,0	6,0	12,0	13,0	10,0	9,4	2,9	0,3	3,5	15,2	1,58	3,08					
20	300	40	C	9,0	8,0	5,0	5,0	8,0	6,0	9,0	5,0	10,0	5,5	10,0	9,0	12,0	10,0	10,0	18,0	6,0	14,0	12,0	6,0	8,9	3,4	0,4	2,1	15,6	2,70	3,85					
21	300	20	D	11,0	8,0	5,0	5,0	10,0	6,0	10,0	7,0	10,0	6,0	12,0	10,0	13,0	12,0	12,0	18,0	6,0	16,0	14,0	8,0	10,0	3,6	0,4	2,7	17,2	2,21	3,56					
22	300	40	B	8,0	8,0	4,0	5,0	6,0	6,0	9,0	5,0	7,0	4,5	9,0	9,0	11,0	10,0	8,0	12,0	6,0	12,0	11,0	6,0	7,8	2,5	0,3	2,8	12,8	1,66	3,19					
23	40	20	C	13,0	10,0	6,0	5,5	8,0	8,0	13,0	8,0	11,0	6,0	10,0	11,0	13,0	12,0	10,0	10,0	8,0	14,0	14,0	9,0	10,0	2,7	0,3	4,7	15,3	1,68	3,20					
24	300	40	D	14,0	10,0	5,0	5,0	10,0	6,0	10,0	6,0	11,0	6,0	12,0	10,0	13,0	12,0	10,0	20,0	6,0	16,0	14,0	8,0	10,2	4,0	0,4	2,2	18,2	2,45	3,75					
25	7	40	A	11,0	8,0	5,0	4,0	8,0	8,0	12,0	6,0	9,0	5,5	8,0	10,0	13,0	14,0	6,0	8,0	6,0	12,0	13,0	10,0	8,8	3,0	0,3	2,9	14,7	1,75	3,39					
26	300	20	A	9,0	8,0	4,0	4,0	6,0	6,0	9,0	6,0	6,0	4,5	8,0	8,0	10,0	10,0	5,0	10,0	6,0	12,0	11,0	6,0	7,4	2,4	0,3	2,6	12,2	1,90	3,33					
27	7	20	E	12,0	12,0	8,0	6,0	15,0	12,0	15,0	12,0	12,0	7,0	15,0	12,0	15,0	14,0	17,0	12,0	8,0	18,0	17,0	14,0	12,7	3,4	0,3	5,9	19,4	1,98	3,57					
28	7	20	B	9,0	8,0	5,0	6,0	8,0	8,0	13,0	8,0	10,0	5,5	9,0	12,0	14,0	14,0	10,0	8,0	6,0	12,0	14,0	10,0	9,5	2,9	0,3	3,7	15,3	1,57	3,11					
29	300	20	C	10,0	8,0	5,0	5,0	8,0	6,0	10,0	6,0	9,0	5,5	10,0	9,0	12,0	10,0	10,0	16,0	6,0	14,0	14,0	6,0	9,0	3,2	0,4	2,6	15,4	2,19	3,43					
30	40	40	A	13,0	8,0	4,5	4,0	6,0	8,0	11,0	6,0	8,0	5,0	8,0	9,0	12,0	12,0	8,0	6,0	6,0	12,0	12,0	8,0	8,3	2,8	0,3	2,7	13,9	1,66	3,20					
PROMEDIO				11,9	8,9	5,6	5,3	9,1	8,3	11,8	7,7	9,7	5,9	10,8	10,6	12,8	12,3	10,7	12,1	6,8	14,4	13,9	9,1	9,88	3,06	0,31	3,76	16,00	1,50	2,97					

Análisis de los resultados obtenidos

Se puede ver para el caso de IRI objetivo e IRI umbral que luego de los análisis exploratorios de los datos, los test de consistencia y homogeneidad propuestos se cumplen. Por lo tanto, los datos quedan listos para realizar los análisis estadísticos posteriores.

Con los datos correspondientes a la media de cada escenario, se realizan Análisis de Varianza, con el objetivo de determinar una ecuación de correlación de las características del camino con el IRI_objetivo y con el IRI_umbral determinado por los expertos.

IRI objetivo

Aplicando para el IRI_objetivo el ANOVA del tipo “modelo lineal general” se obtiene la significancia que tiene cada parámetro en el modelo. De este análisis, presentado en la Tabla K-1, se desprende que, si bien el coeficiente de determinación es altísimo ($R^2 = 97,94\%$), la variable “TMDApesado” no es significativa en el modelo ($p = 0,124 > 0,05$), por lo que se descarta esta variable para el modelo final. En la tabla K-2 se muestra otro ANOVA realizado luego de la eliminación de esta variable.

Tabla K-1: ANOVA IRI_objetivo

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,7803	0,1146	76,60	0,000
TMDApesado	-0,004667	0,002932	-1,59	0,124
TMDA	-0,004239	0,000224	-18,94	0,000
ClaseN	-0,66333	0,02073	-31,99	0,000
S = 0,160607 R-Sq = 98,16% R-Sq(adj) = 97,94%				

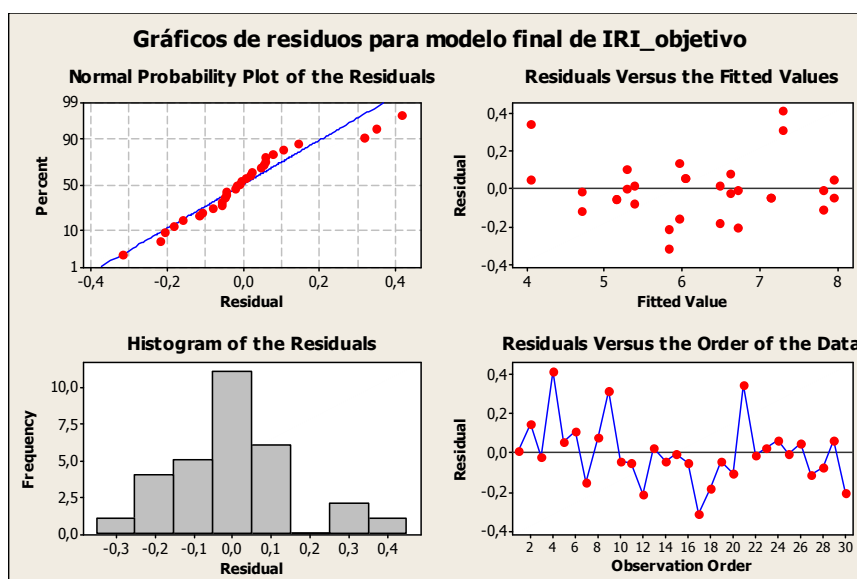
Tabla K-2: ANOVA IRI_objetivo sin “TMDApesado”

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8,64028	0,07553	114,39	0,000
TMDA	-0,004239	0,000230	-18,43	0,000
ClaseN	-0,66333	0,02131	-31,12	0,000
S = 0,165103 R-Sq = 97,98% R-Sq(adj) = 97,83%				

Vemos que en este segundo análisis, se mantiene el altísimo coeficiente de determinación, siendo todos los parámetros significativos en el modelo. Además, el modelo presenta un error típico muy bajo ($S = 0,165$). Por este motivo, el modelo propuesto es el presentado en la siguiente ecuación (en la Figura K-1 se muestra el análisis de residuos correspondiente).

$$\text{IRI}_{\text{objetivo}} = 8,640 - 0,00424 \text{ TMDA} - 0,6633 \text{ Clase}$$

Figura K-1: Análisis gráfico de residuos del modelo.



De los gráficos de residuos para el IRI objetivo podemos ver que éstos se comportan de manera normal, por lo que no existe evidencia estadística para negar la relación lineal propuesta entre las variables estudiadas.

IRI umbral

Aplicando para el IRI_umbral el ANOVA del tipo “modelo lineal general” se obtiene la significancia que tiene cada parámetro en el modelo. De este análisis, presentado en la Tabla K-3, se desprende que, si bien el coeficiente de determinación es altísimo ($R^2 = 97,32\%$), la variable “TMDA pesado” tampoco es significativa en este modelo ($p = 0,405 > 0,05$), por lo que se descarta esta variable para el modelo final. En la Tabla K-4 se muestra otro ANOVA realizado luego de la eliminación de esta variable.

Tabla K-3: ANOVA IRI_umbral

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,5395	0,1847	73,30	0,000
TMDA	-0,004722	0,000361	-13,09	0,000
TMDApesado	-0,004000	0,004725	-0,85	0,405
ClaseN	-0,99333	0,03341	-29,73	0,000
S = 0,258822 R-Sq = 97,60% R-Sq(adj) = 97,32%				

Tabla K-4: ANOVA IRI_umbral sin TMDApesado

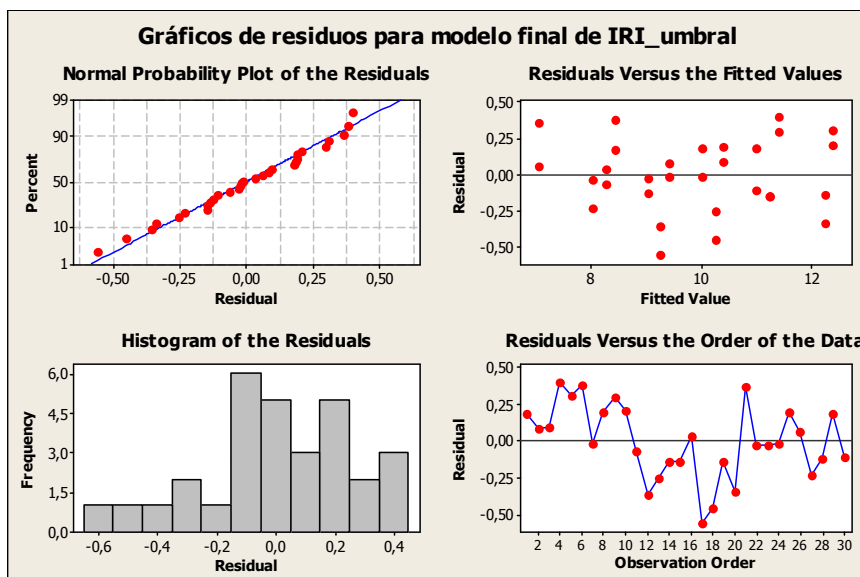
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13,4195	0,1178	113,93	0,000
TMDA	-0,004722	0,000359	-13,16	0,000
ClaseN	-0,99333	0,03324	-29,89	0,000
S = 0,257460 R-Sq = 97,53% R-Sq(adj) = 97,35%				

Vemos que en este segundo análisis, se mantiene el altísimo coeficiente de determinación, siendo todos los parámetros significativos en el modelo. Además, este presenta un error típico muy bajo ($S = 0,257$). Por este motivo, el modelo propuesto es el

presentado en la siguiente ecuación (en la Figura K-2 se presenta el análisis de residuos correspondiente).

$$\text{IRI_umbral} = 13,420 - 0,00472 \text{ TMDA} - 0,993 \text{ Clase}$$

Figura K-2: Análisis gráfico de residuos del modelo del modelo.



De los gráficos de residuos para el IRI umbral podemos ver que éstos se comportan de manera normal, por lo que no existe evidencia estadística para negar la relación lineal propuesta entre las variables estudiadas.

**ANEXO L - ALTERNATIVAS DE MANTENCIÓN PROPUESTAS SEGÚN TIPO
DE DETERIORO**

Tabla L-1: Alternativas de operaciones según tipo y nivel de deterioro.

Defectos	Alternativas de solución
Ahuellamiento o	(i) casos de menor nivel de gravedad: simple nivelación de la plataforma con la motoniveladora (ii) se puede incluir la nivelación y conformación de la superficie, con la adición de materiales en la correcta proporción, y su esparcimiento y compactación con equipos adecuados (iii) casos en que se encuentran surcos de rueda más profundos y donde se comprueba la presencia de elevados niveles de humedad en la capa de revestimiento, se recomienda una intervención más radical, que incluya: trabajos de drenaje, recomposición del área afectada y ejecución de capa de revestimiento.
Baches	(i) bacheo: tarea rápida, consistente en una leve regularización con la motoniveladora, que por medio de "arrastre" realizará una especie de nivelación de la superficie. Cuando la pista presenta pequeños baches distribuidos en forma dispersa, se recomienda su relleno manual con el uso de material seleccionado. (ii) reconformación: en tramos que presentan elevada incidencia de baches, se indica el uso de motoniveladora, disponiendo ésta de su cuchilla de manera tal para cortar a una profundidad no inferior a la de las depresiones, realizando una reconformación de la plataforma revolviendo los materiales.
Calaminas	(i) en caso de clima seco, el operador de la motoniveladora debe simplemente regularizar la vía (ii) en caso de clima húmedo, el operador debe cortar y mezclar el material de unos 2 a 3 cm. por debajo del nivel de las ondulaciones, luego se compacta con rodillos.
Erosión	Sección transversal debe trabajarse con una inclinación de carril del orden del 4%, para que pueda suministrar la conducción de las aguas.
Exceso de Polvo	Se propone la realización de un tratamiento antipolvo (económicamente rentable para TMDA sobre 100 a 130 veh./día) consistente en los siguientes pasos: (i) escarificación de la capa final de la pista de circulación, (ii) remover y remezclar esta capa con la motoniveladora (iii) aplicación del reductor por el método de aspersión con alta presión, en cantidades suficientes para el efectivo control de la formación de polvo (tasa de 2.3 litros/m² de compuestos del tipo Linosulfato, Clorato de Calcio o Clorato de Magnesio) (iv) procedimientos finales: conformación de pendiente final, compactación a humedad óptima y restauración del drenaje superficial.
Pérdida de agregados	(i) regularización de la superficie de circulación (ii) regularización con la adición de la fracción de material faltante en la mezcla. (iii) corte de toda la capa, adición de fracciones de agregados ausentes, mezcla, humedecimiento en proporciones óptimas, reconformación de la vía y compactación final.
Drenaje Inadecuado	Puede ser suficiente realizar solo la recomposición de las cunetas, mediante la utilización de la punta de la cuchilla de la motoniveladora

Fuente: Baesso y Gonçalves, 2003.

ANEXO M - EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Detección de necesidades de conservación en tramos testigo																											
Código	Rol	Carpeta	Origen	Destino	K_ini	K_fin	Ancho	Material	Bombeo	Drenaje	Gala_prof	Ahue_prof	Matg_tipo	Matg_tama	Bach_nume	Bach_diam	Bach_prof	Eros_anch	Eros_prof	IRI_tram	IRI_UM	IRI_estimad	Clase	TMDA	IRI_umbra	Dif IRI_umbra - IRI estimado	Dif IRI_umbra - IRI real
13.21	G-157	Tierra	Reina Norte	-	2,5	3,0	3,4	N	M	M	0,0	7,0	I	20,0	25,0	120,0	6,0	0,0	0,0	22,7	20,6	22,5	1	10,0	12,4	10,1	10,3
13.6	G-556	Ripio	Agua Sur	Norte	0,0	1,0	7,2	S	M	B	0,0	0,5	A	17,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	19,3	17,2	1	10,0	12,4	4,8	4,8
13.20	G-130	Tierra	Reina Sur	-	1,5	2,0	3,7	N	M	M	0,0	4,5	I	20,0	20,0	100,0	6,0	0,0	0,0	19,6	22,3	16,2	1	10,0	12,4	3,8	7,2
13.7	G-566	Ripio	Champa	Colipeumo	2,0	3,0	5,0	S	M	M	0,0	0,0	A	12,0	20,0	60,0	2,5	0,0	0,0	15,6	13,6	14,2	1	189,0	11,5	2,6	4,1
13.13	G-66X	Tierra	Callejón Los Paltos	-	0,0	1,0	4,0	N	M	M	0,0	1,0	A	20,0	20,0	90,0	8,0	5,0	2,0	12,5	14,4	14,6	1	10,0	12,4	2,2	0,1
7.1	J-115	Ripio	R5	Morza	0,0	1,0	6,0	S	B	B	0,0	0,0	I	9,0	30,0	45,0	2,0	0,0	0,0	11,1	12,1	12,4	2	163,0	10,7	1,7	0,5
7.3	K-610	Ripio	Colin	Linares de Perales	7,0	8,0	4,5	N	B	B	2,5	0,5	A	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	8,1	10,6	2	500,0	9,1	1,5	-2,3
13.3	G-16	Ripio	Quilicura	Rungue	54,0	54,5	7,3	S	B	B	1,5	1,0	A	3,0	3,0	50,0	2,0	0,0	0,0	8,9	8,0	8,8	4	222,0	8,4	0,4	0,4
13.1	G-102	Tierra	Rungue - Caleu	Cuesta La Dormida	5,0	6,0	5,1	N	B	B	2,5	4,0	A	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,7	13,9	11,6	1	132,0	11,8	-0,2	-3,1
5.2	G-950	Ripio	Las Palmas	ElTurco-LoZárate	15,0	16,0	4,7	S	M	B	2,5	0,0	A	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	14,1	8,8	2	500,0	9,1	-0,3	3,5
13.12	G-760	Tierra	El Dibujo	-	0,0	1,0	5,0	N	M	M	3,0	3,0	A	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,9	9,9	11,4	1	130,0	11,8	-0,4	-2,9
8.3	Q-35	Tierra	Los Ángeles	Cerro Colorado	0,0	1,0	6,8	N	B	B	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	7,5	8,7	2	500,0	9,1	-0,4	0,0
4.1	D-215	Tierra	41 CH	Viñita Baja	18,0	19,0	5,8	N	M	M	2,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	10,3	8,4	2	500,0	9,1	-0,7	-0,2
3.7	C-309	Tierra	Ruta C19	Quebrada Salitrosa	59,0	60,0	4,3	N	M	M	3,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,2	12,6	10,5	2	12,0	11,4	-0,9	-4,2
7.8	L-75	Tierra	Parral	Limite Argentina	32,0	33,0	4,5	S	M	M	1,5	2,5	I	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	7,4	8,7	2	360,0	9,7	-1,0	-2,6
13.15	G-672	Ripio	Ruta 66	Quincangue	6,0	7,0	5,5	S	B	B	1,0	1,0	I	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	12,7	10,6	1	108,0	11,9	-1,3	-1,2
3.4	C-261	Tierra	Flamenco	Carrera Pinto	49,0	50,0	6,0	N	M	M	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	15,5	9,0	3	16,0	10,4	-1,4	2,3
13.14	G-668	Ripio	Codigua - Quincangue	San Pedro	15,0	16,0	5,4	S	M	B	0,0	1,0	A	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	9,8	9,4	2	122,0	10,9	-1,5	0,2
8.1	O-680	Tierra	Agua de la Gloria	Hualqui	0,0	1,0	4,0	N	M	M	0,0	1,0	A	25,0	45,0	60,0	2,5	0,0	0,0	7,2	9,4	9,5	2	60,0	11,2	-1,6	-4,0
13.8	G-526	Ripio	Santa Victoria	-	0,0	1,0	4,2	S	M	M	0,0	1,0	I	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	9,9	8,8	1	378,0	10,6	-1,9	2,0
5.3	G-952	Tierra	El Turco	La Rudilla	5,0	6,0	5,3	S	M	M	2,0	2,0	A	10,0	2,0	80,0	3,0	0,0	0,0	9,5	6,2	9,3	2	42,0	11,2	-1,9	-1,7
6.4	I-704	Ripio	Acceso a Rinconada	-	1,0	2,0	8,7	S	B	B	3,5	0,0	A	3,0	10,0	30,0	3,0	0,0	0,0	4,9	8,9	8,8	2	69,0	11,1	-2,3	-6,2
3.12	C-472	Tierra	Maintencillo	Ojo de Agua	2,0	3,0	8,3	N	M	M	2,5	0,0	A	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,6	8,3	7,9	2	245,0	10,3	-2,4	1,3
3.6	C-285	Tierra	Cruce ruta C273	Mina El Desierto	1,0	2,0	5,1	N	M	M	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,7	9,8	9,0	2	3,0	11,4	-2,4	0,3
3.8	C-327	Tierra	R5	Mina Galleguillos	30,0	35,0	7,4	N	M	M	3,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	12,0	9,6	1	10,0	12,4	-2,8	-0,9
6.2	I-520	Tierra	Paredones	El Quillay	0,0	3,0	7,6	N	B	B	1,0	0,5	A	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	7,6	6,1	2	536,0	8,9	-2,8	-5,5
13.18	G-186	Tierra	Lipangue	-	2,5	3,5	8,5	N	M	M	1,5	2,0	A	7,0	10,0	100,0	2,0	0,0	0,0	10,8	8,4	9,6	1	10,0	12,4	-2,8	-1,6
7.5	L-322	Tierra	El Morro	La Quebrada	1,0	2,0	3,1	N	M	B	1,5	2,0	0,0	0,0	20,0	60,0	1,5	0,0	0,0	5,4	6,6	9,4	1	10,0	12,4	-2,9	-7,0
3.5	C-285	Tierra	Cruce ruta C273	Mina El Desierto	0,0	1,0	2,7	N	M	M	1,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	11,3	8,4	2	3,0	11,4	-3,0	-1,2
13.19	G-140	Ripio	Lo Vargas	El Lucero	0,0	1,0	4,7	S	M	M	0,0	2,0	A	4,0	5,0	70,0	2,0	0,0	0,0	11,7	10,9	9,4	1	10,0	12,4	-3,0	-0,7
13.9	G-506	Ripio	Viluco	Valdivia de Paine	0,0	1,0	4,8	S	M	M	1,5	2,0	I	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	5,5	9,4	1	10,0	12,4	-3,0	-5,6
8.2	O-680	Tierra	Agua de la Gloria	Hualqui	1,0	2,0	4,5	N	M	M	0,0	2,0	A	60,0	26,0	60,0	2,0	60,0	4,0	8,7	7,5	8,0	2	60,0	11,2	-3,1	-2,5
13.4	G-678	Tierra	El Sauce	Los Culenes	2,0	5,0	5,3	N	B	B	2,5	0,0	I	7,0	5,0	70,0	3,0	0,0	0,0	7,7	7,6	8,6	1	130,0	11,8	-3,2	-4,1
5.1	E-627	Tierra	Las Compuertas	Las Mercedes	0,0	1,0	3,8	N	M	M	2,5	0,0	A	8,0	8,0	50,0	3,0	0,0	0,0	11,0	11,9	8,7	1	100,0	12,0	-3,2	-1,0
3.11	C-423	Tierra	R5	Potrero Seco	1,0	2,0	8,6	N	M	M	2,5	0,0	A	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	12,6	7,9	2	54,0	11,2	-3,3	0,1
7.7	L-75	Tierra	Parral	Limite Argentina	31,0	32,0	5,2	S	B	B	0,0	1,5	0,0	0,0	22,0	30,0	2,0	0,0	0,0	5,0	5,3	6,4	2	360,0	9,7	-3,3	-4,8
4.6	C-37	Tierra	D85	Pedegua	90,0	91,0	5,5	N	B	B	0,0	1,0	A	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	6,2	5,1	3	388,0	8,6	-3,5	-0,7
13.5	G-844	Tierra	Alhue	Barrancas	0,0	4,5	5,2	N	M	M	1,5	2,0	I	4,0	0,0	0,0	0,0	10,0	3,0	6,2	6,1	8,2	1	126,0	11,8	-3,6	-5,6
13.10	G-670	Ripio	Huico	Huechún Bajo	0,0	1,0	7,2	S	M	M	2,5	1,5	A	2,0	5,0	50,0	2,0	0,0	0,0	8,9	11,1	8,2	1	126,0	11,8	-3,7	-2,9
13.11	G-670	Ripio	Huico	Huechún Bajo	1,0	2,0	7,3	S	M	M	1,5	4,0	A	2,0	10,0	70,0	3,0	0,0	0,0	8,0	7,8	8,2	1	126,0	11,8	-3,7	-3,8
6.1	I-312	Tierra	Peralillo	Los Parronales	0,0	5,0	4,8	N	B	B	2,0	0,0	A	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	3,6	7,2	2	50,0	11,2	-4,0	-6,1

8.5	Q-458	Ripio	Puente Nicudahue	Choroico	0,0	1,0	4,5	S	M	B	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	5,8	7,0	2	90,0	11,0	-4,0	-5,3	
8.6	Q-458	Ripio	Puente Nicudahue	Choroico	2,0	3,0	4,9	S	M	B	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,9	7,9	7,0	2	90,0	11,0	-4,0	-5,2	
13.16	G-834	Tierra	San Pedro	El Prado	0,0	1,0	5,2	N	B	B	2,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	4,8	8,1	1	40,0	12,2	-4,2	-3,6	
7.6	L-330	Tierra	El Sauce	Peumal	0,0	1,0	4,6	N	B	B	1,5	0,0	0,0	0,0	10,0	70,0	1,5	0,0	0,0	8,9	7,1	7,1	2	20,0	11,3	-4,2	-2,4
4.2	D-745	Tierra	D75	El Rodeo	0,0	1,0	5,3	N	M	M	2,0	1,0	A	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	7,5	8,1	1	10,0	12,4	-4,3	-4,1	
5.4	G-970	Tierra	Lo Zárate	Quebrada Onda	0,0	1,0	4,9	S	B	B	2,5	0,0	A	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	7,9	7,9	1	5,0	12,4	-4,5	-5,0	
13.2	G-108	Tierra	Cruce Ruta G-10-F	Caleu (antiguo)	5,0	6,0	5,4	N	M	M	1,5	1,0	A	5,0	5,0	40,0	2,0	0,0	0,0	6,9	9,5	7,6	1	10,0	12,4	-4,8	-5,5
3.1	C-261	Tierra	Flamenco	Carrera Pinto	0,0	1,0	8,8	N	M	B	0,0	1,0	A	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,8	5,3	5,1	3	88,0	10,0	-5,0	-5,2	
7.4	K-645	Ripio	Hacienda Maule	Quiripeumo	5,0	6,0	5,5	S	B	M	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	5,7	7,0	1	90,0	12,0	-5,0	-6,6	
7.2	K-186	Tierra	Cruce Ruta K-16	Rincón de Mellado	0,0	1,0	3,6	N	B	B	1,0	1,0	A	7,0	10,0	40,0	1,0	0,0	0,0	7,4	8,9	6,8	1	60,0	12,1	-5,3	-4,7
8.7	Q-481	Ripio	Antuco	Alto Rucue	4,0	5,0	4,3	S	B	B	1,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	5,5	7,0	1	10,0	12,4	-5,4	-4,6	
8.8	Q-559	Ripio	R5	Charrúa	1,0	2,0	4,4	S	B	B	2,5	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	9,3	7,0	1	10,0	12,4	-5,4	-4,5	
8.4	Q-450	Tierra	Arinco	Mitihue	1,0	2,0	3,3	N	M	M	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6	7,6	6,9	1	10,0	12,4	-5,5	-3,8	
3.10	C-386	Tierra	Travesía	Toledo	1,0	2,0	5,2	N	M	M	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	3,2	6,4	1	98,0	12,0	-5,6	-7,7	
13.17	G-862	Tierra	Ruta G-60	Altos de Loyca	0,0	1,0	4,0	N	B	B	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	6,9	6,6	1	15,0	12,4	-5,8	-6,3	
3.9	C-386	Tierra	Travesía	Toledo	0,0	1,0	9,7	N	M	M	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	6,5	6,1	1	98,0	12,0	-5,9	-7,3	
3.2	C-261	Tierra	Flamenco	Carrera Pinto	1,0	2,0	8,6	N	M	B	0,0	0,0	A	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	4,5	4,1	3	88,0	10,0	-5,9	-5,7	
3.3	C-261	Tierra	Flamenco	Carrera Pinto	11,0	12,0	6,0	E	M	B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	4,5	4,1	3	88,0	10,0	-5,9	-6,8	
4.3	D-759	Tierra	Atelcura	El Arrayán	0,0	1,0	3,2	N	B	M	0,0	1,0	A	3,0	1,0	100,0	3,5	0,0	0,0	7,3	5,5	5,3	1	15,0	12,4	-7,1	-5,1
6.3	I-540	Tierra	Paredones	Lo Valdivia	0,0	1,0	6,3	N	B	B	0,0	0,5	0,0	0,0	15,0	40,0	1,0	0,0	0,0	3,5	5,1	5,0	1	10,0	12,4	-7,4	-8,9

**ANEXO N - RESPUESTAS DE LOS EXPERTOS UTILIZADOS PARA LA
VALIDACIÓN DE LAS ECUACIONES DE IRI UMBRAL Y OBJETIVO**

Escenario	Características del camino			Respuestas de			Estadísticas						
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 25	Experto 26	Experto 27	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior	Grubb's 1	Grubb's 2
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]										
1	300	20	B	4,0	7,0	1,5	4,2	2,8	0,7	-1,3	9,7	1,03	2,00
2	300	40	E	6,0	11,0	5,0	7,3	3,2	0,4	0,9	13,8	1,14	1,87
3	40	40	E	6,0	11,0	5,0	7,3	3,2	0,4	0,9	13,8	1,14	1,87
4	7	40	D	6,0	10,0	3,0	6,3	3,5	0,6	-0,7	13,4	1,04	1,99
5	40	40	B	4,0	7,0	2,0	4,3	2,5	0,6	-0,7	9,4	1,06	1,99
6	300	40	A	4,0	6,0	1,5	3,8	2,3	0,6	-0,7	8,3	1,03	2,00
7	7	20	D	6,0	10,0	5,0	7,0	2,6	0,4	1,7	12,3	1,13	1,89
8	7	40	E	6,0	11,0	5,0	7,3	3,2	0,4	0,9	13,8	1,14	1,87
9	7	40	C	6,0	8,0	3,0	5,7	2,5	0,4	0,6	10,7	1,06	1,99
10	40	20	B	4,0	7,0	2,0	4,3	2,5	0,6	-0,7	9,4	1,06	1,99
11	7	20	A	4,0	6,0	1,5	3,8	2,3	0,6	-0,7	8,3	1,03	2,00
12	40	40	D	6,0	10,0	5,0	7,0	2,6	0,4	1,7	12,3	1,13	1,89
13	300	20	E	6,0	11,0	5,0	7,3	3,2	0,4	0,9	13,8	1,14	1,87
14	40	20	A	4,0	6,0	1,5	3,8	2,3	0,6	-0,7	8,3	1,03	2,00
15	40	20	E	6,0	11,0	5,0	7,3	3,2	0,4	0,9	13,8	1,14	1,87
16	7	20	C	6,0	8,0	3,0	5,7	2,5	0,4	0,6	10,7	1,06	1,99
17	40	20	D	6,0	10,0	5,0	7,0	2,6	0,4	1,7	12,3	1,13	1,89
18	40	40	C	6,0	8,0	3,0	5,7	2,5	0,4	0,6	10,7	1,06	1,99
19	7	40	B	4,0	7,0	2,0	4,3	2,5	0,6	-0,7	9,4	1,06	1,99
20	300	40	C	6,0	8,0	1,8	5,3	3,2	0,6	-1,1	11,6	1,10	1,96
21	300	20	D	6,0	10,0	2,5	6,2	3,8	0,6	-1,3	13,7	1,02	2,00
22	300	40	B	4,0	7,0	1,5	4,2	2,8	0,7	-1,3	9,7	1,03	2,00
23	40	20	C	6,0	8,0	2,0	5,3	3,1	0,6	-0,8	11,4	1,09	1,96
24	300	40	D	6,0	10,0	3,5	6,5	3,3	0,5	-0,1	13,1	1,07	1,98
25	7	40	A	4,0	6,0	1,8	3,9	2,1	0,5	-0,3	8,1	1,02	2,00
26	300	20	A	4,0	6,0	1,5	3,8	2,3	0,6	-0,7	8,3	1,03	2,00
27	7	20	E	6,0	11,0	5,0	7,3	3,2	0,4	0,9	13,8	1,14	1,87
28	7	20	B	4,0	7,0	2,0	4,3	2,5	0,6	-0,7	9,4	1,06	1,99
29	300	20	C	6,0	8,0	1,8	5,3	3,2	0,6	-1,1	11,6	1,10	1,96
30	40	40	A	4,0	6,0	1,5	3,8	2,3	0,6	-0,7	8,3	1,03	2,00
PROMEDIO				5,2	8,4	3,0	5,5	2,79	0,52	-0,06	11,10		

Escenario	Características del camino			Respuestas de			Estadísticas						
	TMDA	TMDA pesado	Clase	Experto 25	Experto 26	Experto 27	Promedio	Desviación Estándar	Coef. de Variación	Límite inferior	Límite superior	Grubb's 1	Grubb's 2
#	[veh/día]	[%]	[A, B, C, D, E]										
1	300	20	B	6,0	8,0	1,8	5,3	3,2	0,6	-1,1	11,6	1,10	1,96
2	300	40	E	12,0	14,0	10,0	12,0	2,0	0,2	8,0	16,0	1,00	2,00
3	40	40	E	12,0	14,0	12,0	12,7	1,2	0,1	10,4	15,0	1,15	1,73
4	7	40	D	12,0	12,0	3,5	9,2	4,9	0,5	-0,6	19,0	1,15	1,73
5	40	40	B	6,0	8,0	2,8	5,6	2,6	0,5	0,4	10,8	1,07	1,98
6	300	40	A	6,0	7,0	1,8	4,9	2,8	0,6	-0,6	10,5	1,14	1,88
7	7	20	D	12,0	12,0	10,0	11,3	1,2	0,1	9,0	13,6	1,15	1,73
8	7	40	E	12,0	14,0	10,0	12,0	2,0	0,2	8,0	16,0	1,00	2,00
9	7	40	C	10,0	10,0	3,5	7,8	3,8	0,5	0,3	15,3	1,15	1,73
10	40	20	B	6,0	8,0	2,8	5,6	2,6	0,5	0,4	10,8	1,07	1,98
11	7	20	A	6,0	7,0	2,0	5,0	2,6	0,5	-0,3	10,3	1,13	1,89
12	40	40	D	12,0	12,0	8,0	10,7	2,3	0,2	6,0	15,3	1,15	1,73
13	300	20	E	12,0	14,0	10,0	12,0	2,0	0,2	8,0	16,0	1,00	2,00
14	40	20	A	12,0	7,0	2,0	7,0	5,0	0,7	-3,0	17,0	1,00	2,00
15	40	20	E	12,0	14,0	12,0	12,7	1,2	0,1	10,4	15,0	1,15	1,73
16	7	20	C	10,0	10,0	3,8	7,9	3,6	0,5	0,8	15,1	1,15	1,73
17	40	20	D	12,0	12,0	8,0	10,7	2,3	0,2	6,0	15,3	1,15	1,73
18	40	40	C	10,0	10,0	3,8	7,9	3,6	0,5	0,8	15,1	1,15	1,73
19	7	40	B	6,0	8,0	2,8	5,6	2,6	0,5	0,4	10,8	1,07	1,98
20	300	40	C	10,0	10,0	2,6	7,5	4,3	0,6	-1,0	16,1	1,15	1,73
21	300	20	D	12,0	12,0	4,5	9,5	4,3	0,5	0,8	18,2	1,15	1,73
22	300	40	B	6,0	8,0	2,6	5,5	2,7	0,5	0,1	11,0	1,07	1,98
23	40	20	C	10,0	10,0	2,8	7,6	4,2	0,5	-0,7	15,9	1,15	1,73
24	300	40	D	12,0	12,0	4,5	9,5	4,3	0,5	0,8	18,2	1,15	1,73
25	7	40	A	6,0	7,0	2,4	5,1	2,4	0,5	0,3	10,0	1,13	1,90
26	300	20	A	6,0	7,0	2,0	5,0	2,6	0,5	-0,3	10,3	1,13	1,89
27	7	20	E	12,0	14,0	10,0	12,0	2,0	0,2	8,0	16,0	1,00	2,00
28	7	20	B	6,0	8,0	2,4	5,5	2,8	0,5	-0,2	11,1	1,08	1,97
29	300	20	C	10,0	10,0	2,6	7,5	4,3	0,6	-1,0	16,1	1,15	1,73
30	40	40	A	6,0	7,0	2,5	5,2	2,4	0,5	0,4	9,9	1,13	1,90
PROMEDIO				9,4	10,2	5,0	8,19	2,92	0,41	2,35	14,04		