

CAPITULO IV

ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCION

Las relaciones del HDM-III que predicen el deterioro de los caminos no pavimentados y los efectos del mantenimiento, se han mantenido en el HDM-4. En el HDM-III las unidades de rugosidad se especificaron en términos del “Índice Cuarto Carro”, QI. Considerando que la rugosidad en el HDM-4 se especifica como IRI en m/km, es que la nueva versión del HDM ha reformulado las relaciones de los modelos de deterioro declaradas por Paterson¹ y Watanatada² para reflejar la rugosidad en unidades de IRI.

A causa de la alta variabilidad de las propiedades de los materiales, drenaje, erosión de la superficie y los altos niveles de rugosidad de los caminos no pavimentados, los errores de la predicción tienden a ser grandes, el error estándar del estudio brasileño es del orden de 1,5 a 2,5 m/km IRI, para un nivel del confianza del 95%.

El modelo adoptado por el HDM circunscribe a la rugosidad a un límite superior, o rugosidad máxima (RI_{max}), desde la cual una función convexa decreciente con tasa exponencial inversa desciende hasta el valor esperado.

En el estudio de Brasil, la rugosidad máxima (RI_{max}) se fundamentó en función de las propiedades de los materiales y la geometría del camino, mientras que la proporción de progresión de rugosidad está en función de la rugosidad en un tiempo determinado, la rugosidad máxima, el tiempo, el tránsito (vehículos livianos y pesados), las propiedades de los materiales y el clima.

Se determinó, además, que la magnitud de reducción de la rugosidad depende de la rugosidad antes de las actividades de mejoramiento, de las propiedades

¹ William Paterson D.O. (1987). “Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. Highway Desing and Maintenance Standards Series”, World Bank Transportation department, Washington D.C.

² Watanatada et al. (1987), The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1 - Description, The World Bank, John Hopkins University Press.

de los materiales y de la rugosidad mínima (RI_{\min}).

El modelo del efecto de Reperfilado, nace de la condición de rugosidad más baja que puede alcanzar el camino (RI_{\min}) y sobre la cual las actividades de mantenimiento no tienen mayor efecto. La relación para predecir la rugosidad después del reperfilado se expresa como una función lineal de la rugosidad antes de las actividades de mantenimiento, de la relación de polvo y la rugosidad mínima.

Para el caso del presente estudio, las vías consideradas son aquellas que están insertas en el programa del Ministerio de Obras Públicas “Caminos Básicos 5.000”, rutas que no consultas estrategias de conservación. Por tanto, se consideró que la rugosidad máxima es aquella alcanzada por el camino luego de transcurrido tres o más años desde la puesta en operación y sin ningún tipo de mantenimiento.

El HDM-4 fue desarrollado como parte del “International Study of Highway Development and Management Tools” (ISOHDM), proyecto internacional para desarrollar nuevos mecanismos de análisis de inversión vial, que contó con el patrocinio del Banco Mundial, la AIPCR, el Departamento de Desarrollo Internacional del Reino Unido, El Banco de Desarrollo Asiático y la Administración Nacional de Caminos Sueca entre otros. La Dirección Nacional de Vialidad de Chile adoptó el HDM-4, para la asignación de los recursos de la red vial, permitiendo evaluar económicamente los proyectos viales y asignar recursos más eficientemente.

Las variables explicativas de las condiciones consideradas en los modelos de deterioro de los caminos no pavimentados (grado de curvatura en planta de los caminos, pendiente de la vías, relación de gradación de polvo del material granular, precipitación media mensual de la zona, etc.), desde el punto de vista ingenieril, son las más incidentes en las variables respuestas (rugosidad máxima, mínima y progresión de la misma). No obstante, la variable pluviométrica, sobre todo en la extensa aridez de la macro zona norte de Chile, sería la menos atingente o con menor poder explicativo, debido a que es casi

nula en toda época del año, lo que podría hacer aconsejable su exclusión del modelo.

Por otro lado, es válido pensar que las características geográficas y climáticas de la zona en que se emplazan los caminos de la región de Antofagasta, sugieran otras variables a considerar en el modelo. Por ejemplo, el gradiente térmico (temperaturas bajo cero por la noche y sobre 35 grados Celsius por el día) y/o la cohesión. La temperatura incide en la humedad relativa del ambiente, la que a su vez incide en la humedad natural de las carpetas granulares. Al disminuir la humedad del material granular también disminuye su cohesión y por tanto se incrementa el desprendimiento de material fino de las carpetas y con ello acrecienta el efecto “calamina” (ondulación transversal al eje del camino de la superficie de rodado).

Otra variable que el modelo de Paterson³ y Watanatada⁴ no consulta es el peralte, el cual controla y disminuye el efecto de la fuerza centrífuga en las curvas circulares de pequeño radio, como es el caso de los caminos por laderas de cerros (caminos cornisas).

En definitiva, ante la ausencia de lluvias y el alto gradiente térmico en la región de Antofagasta, lo recomendable desde el punto de vista de la ingeniería vial, sería eliminar la variable pluviométrica del modelo e incorporar la variable cohesión.

Ante la incorporación y/o eliminación de variables del modelo, estaríamos desarrollando un nuevo modelo de deterioro, y lo que se ha planteado en el presente estudio es ajustar los parámetros lineales de los modelos en cuestión.

Las variables, que podrían mejorar el ajuste del modelo a las condiciones de la región de Antofagasta, no han sido incorporadas en primer lugar, por que en el estudio se plantea ajustar los parámetros lineales de los modelos de deterioro

³ William Paterson D.O. (1987). “Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. Highway Design and Maintenance Standards Series”, World Bank Transportation department, Washington D.C.

⁴ Watanatada et al. (1987), The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1 - Description, The World Bank, John Hopkins University Press.

definidos en el HDM-4, y en segundo lugar, debido a que el modelo original no consulta dichas variables, la Dirección de Vialidad de Chile no ha considerado evaluarlas en el tiempo. Situación que el autor ha informado a la Dirección de Vialidad, lo relevante que en el futuro se realicen mediciones y pueda ser evaluada su incidencia en los modelos de deterioro y comportamiento de los caminos no pavimentados.

Por tanto, dada la falta de datos, desde el punto de vista ingenieril, no se ha considerado incorporar otras variables que pudiesen influir en las condiciones de los caminos no pavimentados en la Región de Antofagasta.

No obstante, en el contexto del presente estudio, se buscar ajustar los diferentes modelos de deterioro, estimando los parámetros asociados a las variables explicatorias de los modelos de Paterson para Brasil, en función de las características físicas geométricas y naturales del entorno de las vías no pavimentadas de la región de Antofagasta, Chile.

La Dirección de Vialidad de Chile ha desarrollado un sistema de medición que permita ajustar el HDM-4 para todo el país. Sin embargo la heterogeneidad de la geografía hace aconsejable realizar mediciones adicionales que capturen los efectos de la diversidad de climas presentes en el territorio nacional sobre los caminos no pavimentados.

Respecto de la base de datos con que se trabajó para determinar los ajustes a las variables independientes de los modelos de deterioro del HDM-4, estos se obtienen de datos históricos de la Dirección Nacional de Vialidad de Chile, de la Dirección de Meteorología de Chile, Mapas Isoyetas de WMO (Organización Mundial de Meteorología) y de los datos levantado en campo, en el marco del presente estudio.

Referente al levantamiento de datos, es importante dejar presente, que estos se realizaron bajo estándares metodológicos establecidos y aceptados por los estamentos internacionales de medición. Las mediciones pluviométricas son realizadas por centros de medición de superficie que pertenecen a la red nacional de meteorología. Los muestreos y ensayos de laboratorio de

materiales son realizados por el laboratorio regional de Vialidad, según los estándares establecidos en las Normas Chilenas de Ensayos o Normas Internacionales de Ensayos de Materiales (ASTM). Las mediciones de tránsito medio anual de vehículos y las mediciones de rugosidad (IRI – índice de rugosidad internacional) son realizadas por la unidad de Gestión Vial del Ministerio de Obras Públicas. Lo expuesto garantiza la homogeneidad en la recolección de la información.

Por tanto, todos los datos (bases históricas y de mediciones recientes) componen el “Marco Estadístico” con que se trabajó en los ajustes de los parámetros lineales que gobiernan las variables independientes, mediante modelos de regresión lineal múltiple.

Los datos que conforman el marco estadístico se encuentran tabulados (ordenados y detallados) a lo largo del desarrollo del presente capítulo, en cada uno de los apartados en que se analiza y ajusta alguno de los modelos de deterioro.

En resumen, en atención a lo expuesto, en el presente capítulo se estiman los parámetros asociados a las variables independientes de los modelos originales de deterioro, formulados en los estudios del HDM-4, de tal forma, de obtener los nuevos parámetros que definan la incidencia de las variables independiente en los modelos de deterioro, para las condiciones particulares de la región de Antofagasta, Chile.

4.2 CARACTERÍSTICAS MEDIDAS EN LOS TRAMOS

4.2.1 Características Geométricas

Las características geométricas de los 21 tramos seleccionados para este estudio se resumen en la tabla 4.1. No obstante, las variables curvaturas y subidas/bajadas señaladas en la tabla 4.1 denotan bastante heterogeneidad, se ha preferido ajustar el modelo bajo esta condición de diversidad; primero por ser la condición topográfica de las vías no pavimentadas de la región de Antofagasta y en segundo lugar con la finalidad de ajustar el modelo para una

condición general.

Tabla 4.1: Características geométricas de los tramos

TRAMO	LARGO	ANCHO	CURVA Horizontal	SUBIDAS + BAJADAS	ALTURA
	(m)	(m)	(°/km)	(m/km)	(msnm)
CR1	1.500	7	28,0	17,00	3.000
CR2	1.500	7	92,7	17,00	3.030
CR3	3.000	6	8,0	5,00	1.150
CR4	3.000	6	10,7	5,00	950
CR5	3.000	8	0,0	8,00	2.700
CR6	3.000	8	0,0	8,00	2.800
CR7	2.000	8	3,0	20,00	2.700
CR8	2.000	8	9,0	20,00	2.800
CR9	2.000	8	3,0	20,00	2.900
CR10	3.000	7	47,7	5,00	2.500
CR11	3.000	7	7,7	5,00	2.570
CR12	3.000	7	5,0	5,00	1.300
CR13	3.000	7	13,0	5,00	1.400
CR14	2.500	9	128,8	5,00	3.150
CR15	2.500	9	69,2	5,00	3.200
CR16	4.000	7	13,0	33,00	500
CR17	4.000	7	65,8	25,00	400
CR18	4.000	7	54,5	22,00	320
CR19	4.000	7	2,0	20,00	250
CR20	3.000	6	0,0	9,00	1.300
CR21	3.000	6	11,3	9,00	1.600
Media	2.857	7	27	13	1.930
Desviación Est.	760,64	0,89	35,74	8,50	1057,92
Mínimo	1.500	6	0	5	250
Máximo	4.000	9	129	33	3.200

La geometría del camino queda definida por las siguientes variables:

- **Subidas del camino (RF):** Promedio de las pendientes en el tramo de análisis, se expresa en metros por kilómetros y su medición se realiza según se indica en el esquema de la figura 3.6 del capítulo tres.
- **Curvatura horizontal (HC):** Promedio de grado de curvatura en el tramo de análisis, se expresa en grados sexagesimales por kilómetro y se cuantifica según se señala en la figura 3.6 del capítulo tres.

- **Ancho del camino:** Distancia entre los bordes del camino, se expresa en metros.
- **Espesor de la capa de grava:** Corresponde al espesor remanente que presenta la capa de material granular en el tramo en estudio, se expresa en milímetros.

4.2.2 Características Geotécnicas

El Tipo de Suelo se caracteriza principalmente con las siguientes variables:

- **Tamaño Máximo:** Es el tamaño de los áridos, definidos como la abertura de la malla ASTM equivalente, a través de la cual pasa el 95% del material en peso y se mide en milímetros.
- **Material Que Pasa Tamiz:** Es la cantidad de material granular que pasa la malla ASTM expresado en porcentajes de la masa:
 - ASTM N° 10 = abertura de 2,0 mm
 - ASTM N° 40 = abertura de 0,425 mm
 - ASTM N° 200 = abertura de 0,075 mm
- **Índice De Plasticidad (IP):** Es la capacidad de absorción de humedad de un material, sin que pierda su consistencia plástica, definida según los límites de Atterberg entre el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP) expresado en porcentaje.
- **Límite Líquido (LL):** Es el contenido de humedad, en que el suelo pasa de consistencia plástica a líquida, expresado en el % y según el ensayo normal del LL.
- **Límite Plástico (LP):** Es el contenido de humedad, en que el suelo deja de tener consistencia plástica, según el ensayo normal del LP y expresado en %.

Los ensayos para determinar las características del suelo de la carpeta de

rodadura fueron realizados y entregados por Laboratorio Nacional de Vialidad y por el Laboratorio Regional Metropolitano.

El estudio sólo se centró en los caminos no pavimentados de la Región de Antofagasta incluidos en el programa de gobierno “Caminos Básicos 5.000”; que corresponden a aquellos caminos con capas de rodado de gravas estabilizadas con bischofita.

En la tabla 4.2 se resume las características geotécnicas de los tramos y en el anexo fotos se puede observar la textura de los suelos.

Tabla 4.2: Características geotécnicas de los tramos

TRAMO	ESPESOR CARPETA mm	TAMAÑO MÁXIMO mm	% PASA MALLA			LL %	IP %	DENSIDAD TOTAL kg / m ³	CBR %
			10	40	200				
CR1	120	40	50	33	17	22,5	5	2.076	100
CR2	120	40	53	36	17	23,7	4,8	2.101	100
CR3	150	40	55	34	22	35	6	2.153	80
CR4	150	40	55	34	22	35	6	2.153	80
CR5	120	40	53	36	14	23	4	2.088	98
CR6	120	40	55	38	14	24	4	2.035	100
CR7	150	40	46	26	8	IND	N.P.	2.249	84
CR8	150	40	46	26	8	IND	N.P.	2.249	84
CR9	150	40	46	26	8	IND	N.P.	2.249	84
CR10	120	25	47	28	17	25	9	2.138	88
CR11	120	25	49	30	18	28	10	2.145	92
CR12	200	40	50	35	20	20	1,5	2.020	80
CR13	200	40	69	44	30	30	2	2.105	92
CR14	150	40	55	35	21	20,5	6,8	2.188	85
CR15	150	40	55	35	22	21	8	2.185	79
CR16	200	40	41	22	8	17	2	2.230	100
CR17	200	40	41	22	8	17	2	2.230	100
CR18	200	40	46	27	8	19	2	2.281	100
CR19	200	40	46	27	8	19	2	2.281	100
CR20	150	40	40	30	12	25	N.P.	2.219	100
CR21	150	40	44	30	16	24	N.P.	2.254	100
Media	155,7	38,6	49,6	31,1	15,1	23,8	4,7	2172,8	91,7
Desv. Estándar	31,4	4,5	6,7	5,6	6,4	5,3	2,7	80,0	8,6
Mínimo	120,0	25,0	40,0	22,0	8,0	17,0	1,5	2020,0	79,0
Máximo	200,0	40,0	69,0	44,0	30,0	35,0	10,0	2281,0	100,0

4.2.3 Tránsito solicitante

La forma de medir el tránsito de estos caminos se efectuó basándose en los estudios del Plan Nacional de Censo de los años 2002, 2004 y 2006 realizados por la Dirección de Vialidad, dicho plan, sólo se realiza en años pares.

En la tabla 4.3 se sintetizan los tránsitos consultados para los tramos seleccionados.

Tabla 4.3: Tránsito de los tramos en estudio – Año 2006 (veh/día)

TRAMO	AUTO	CAMIONETA	CAMION		BUS	TOTAL
			2 EJES	MÁS 2 EJES		
CR1	1	31	9	22	3	66
CR2	1	31	9	22	3	66
CR3	12	34	16	62	2	126
CR4	12	34	16	62	2	126
CR5	1	13	1	1	1	17
CR6	1	13	1	1	1	17
CR7	12	13	2	1	1	29
CR8	10	12	4	2	2	30
CR9	10	12	4	2	2	30
CR10	1	18	1	1	1	22
CR11	1	18	1	1	1	22
CR12	102	124	24	34	35	319
CR13	102	124	24	34	35	319
CR14	7	10	1	0	2	20
CR15	7	10	1	0	2	20
CR16	12	46	21	108	3	190
CR17	12	46	21	108	3	190
CR18	12	46	21	108	3	190
CR19	12	46	21	108	3	190
CR20	1	10	6	43	2	62
CR21	1	10	6	43	2	62
Tasa/Anual	5,50%	6,00%	5,00%	4,00%	4,50%	5,00%
Tasa/mensual	0,46%	0,50%	0,42%	0,33%	0,38%	0,42%
Total	330	701	210	763	109	2.113
Media	16	33	10	36	5	101
Desv. ST.	29,10	33,09	8,96	41,00	9,94	97,07
Mínimo	1	10	1	0	1	17
Máximo	102	124	24	108	35	319

4.3 ANALISIS PLUVIOMETRICO EN EL AREA DE ESTUDIO

En virtud del análisis estadístico de la lluvia caída durante el período de la experiencia, enero del año 2005 a agosto del año 2006, de la ubicación geográfica de la zona de estudio – Desierto de Atacama – y al no contar con registros de IRI durante los exiguos períodos de lluvias, se determinó, en lo fundamental, que al contar con registros pluviométricos tan bajos no existe la posibilidad de hacer una diferenciación entre zona seca y zona húmeda, por ello se ha considerado los 12 meses del año como estación seca.

Tabla 4.4: Precipitación año 2005 del norte grande

ESTACIONES	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN MM - 2005												Total año (mm)	Prom/mes (mm)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
Central Chapiquiña	26,0	68,5	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	22,3	126,3	10,53
Ollagüe	31,8	29,6	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	1,8	2,4	3,9	75,6	6,3
Embalse Conchi	18,5	3,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	28,5	2,38
Calama	0,0	0,5	0,0	3,5	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,54
Antofagasta	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,04
Copiapó	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	10,2	6,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,7	1,56
Embalse Lautaro	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	10,0	4,0	2,0	0,0	0,0	0,0	31,5	2,63
Vallenar	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	7,5	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0	28,6	2,38
Media	9,5	12,8	1,0	2,7	0,4	0,0	3,5	3,9	1,9	0,2	0,3	3,3	39,5	3,3
Desv. Estándar	13,6	24,7	1,9	5,3	0,9	0,0	4,8	7,0	2,9	0,6	0,8	7,8	41,7	3,5
Mínima	31,8	68,5	5,3	15,5	2,5	0,0	10,2	20,1	7,5	1,8	2,4	22,3	126,3	10,5
Máxima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0

Tabla 4.5: Precipitación año 2006 del norte grande

ESTACIONES	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN MM - 2006								Total año	Prom/mes
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul			
Central Chapiquiña	26,5	94,5	34,5	0,0	0,0	0,0	0,0	155,5	22,2	
Ollagüe	31,8	29,6	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	9,5	
Embalse Conchi	9,0	24,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,2	4,7	
Calama	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,1	
Antofagasta	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Copiapó	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Embalse Lautaro	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,1	
Vallenar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0	0,3	
Media	8,4	18,6	5,0	0,0	0,1	0,1	0,1	32,4	4,6	
Desviación Estándar	13,2	33,0	12,1	0,0	0,4	0,4	0,4	55,2	7,9	
Mínima	31,8	94,5	34,5	0,0	1,0	1,0	1,0	155,5	22,2	
Máxima	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tabla 4.6: Precipitaciones totales y promedios de la zona de estudio

ESTACIONES	Pluviometría Enero 2005 a Agosto 2006 (mm)				
	Total 19 meses	Prom 12 meses	Prom/mes Ene_05 - Ago_06	Prom/año normal	Prom/mes normal
Ollagüe	142,30	89,87	7,49	40,80	3,40
Embalse Conchi	61,70	38,97	3,25	17,20	1,43
Calama	7,20	4,55	0,38	5,70	0,48
Antofagasta	0,50	0,32	0,03	1,70	0,14
Media	23,1	14,6	1,2	8,2	0,7
Desviación Estándar	33,6	21,2	1,8	8,0	0,7
Mínima	61,7	39,0	3,2	17,2	1,4
Máxima	0,5	0,3	0,0	1,7	0,1

En las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 se entregan los valores de precipitación mensual promedio, medidos en las Estaciones Pluviométricas descritas en el Capítulo tres y que se han considerado en el presente estudio.

4.4 DATOS DE RUGOSIDAD EN LOS TRAMOS TESTIGOS

En las tablas siguientes se muestran los datos de rugosidad obtenidos de la base de datos de la Dirección Regional de Vialidad y aquellos medidos en el área de estudio durante el período de observación.

Las primeras mediciones realizadas por el Laboratorio Nacional de Vialidad datan del mes de octubre del año 2003 y las últimas son las que se llevaron a efecto durante el presente estudio en el mes enero del año 2006.

En la medición de la rugosidad de los caminos, según lo detallado en el capítulo tres, se utilizó el rugosímetro MIS4, el que permitió la recolección y presentación de la regularidad del pavimento o IRI. Los valores que conforman la base del marco Estadístico, fueron procesaron y tabulados en las tablas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17.

Recordemos que el principio de funcionamiento está basado directamente en la evaluación de la respuesta dinámica del vehículo, lo que permite definir al rugosímetro MIS4 de clase 3.

Tabla 4.7: Rugosidad medida en tramo CR1

IRI (m/km) Tramo CR1 - Ruta 21 - Ch					
Kilómetro		Oct-03	Abr-04	Nov-04	Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	(m/km)	(m/km)	(m/km)
70,00	70,10	3,6	3,0	2,2	8,4
70,10	70,20	2,3	2,1	2,6	5,3
70,20	70,30	3,3	2,8	2,3	4,9
70,30	70,40	2,9	2,1	2,2	4,6
70,40	70,50	3,4	3,2	2,6	4,6
70,50	70,60	3,0	2,7	2,5	3,9
70,60	70,70	3,3	2,8	2,2	5,5
70,70	70,80	2,3	3,0	3,5	4,0
70,80	70,90	2,5	2,7	2,7	3,9
70,90	71,00	2,3	4,3	3,6	4,8
71,00	71,10	3,3	3,6	3,0	4,6
71,10	71,20	2,3	4,1	5,0	10,5
71,20	71,30	3,1	4,3	8,9	11,5
71,30	71,40	3,0	6,8	9,1	12,1
71,40	71,50	2,7	7,3	8,5	12,0
Media		2,9	3,7	4,1	6,7
Desviación Estándar		0,45	1,54	2,57	3,22
Máximo		3,6	7,3	9,1	12,1
Mínimo		2,3	2,1	2,2	3,9

Tabla 4.8: Rugosidad medida en tramo CR2

IRI (m/km) Tramo CR2 - Ruta 21 - Ch					
Kilómetro		Oct-03	Abr-04	Nov-04	Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	(m/km)	(m/km)	(m/km)
71,50	71,60	3,6	4,3	3,5	6,0
71,60	71,70	2,6	2,8	3,5	6,2
71,70	71,80	2,6	2,6	2,9	5,1
71,80	71,90	2,9	2,8	3,5	5,8
71,90	72,00	3,2	4,0	3,9	7,0
72,00	72,10	2,9	2,9	3,9	6,5
72,10	72,20	6,0	5,0	9,7	8,1
72,20	72,30	3,4	6,5	9,0	13,2
72,30	72,40	2,7	7,8	10,1	9,1
72,40	72,50	3,2	5,0	5,7	9,8
72,50	72,60	2,5	2,6	4,7	6,9
72,60	72,70	2,6	2,6	3,2	6,6
72,70	72,80	2,5	2,4	2,7	7,7
72,80	72,90	2,8	2,5	3,7	8,7
72,90	73,00	2,7	2,7	2,5	9,5
Media		3,1	3,8	4,8	7,7
Desviación Estándar		0,88	1,66	2,59	2,07
Máximo		6,0	7,8	10,1	13,2
Mínimo		2,5	2,4	2,5	5,1

Tabla 4.9: Rugosidad medida en tramo CR3 y CR4

IRI (m/km) Tramo CR3 - Ruta B-55			IRI (m/km) Tramo CR4 - Ruta B-55		
Kilómetro		Ene-06	Kilómetro		Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)
15,60	15,70	10,1	22,00	22,10	6,2
15,70	15,80	9,8	22,10	22,20	8,4
15,80	15,90	10,4	22,20	22,30	6,6
15,90	16,00	10,3	22,30	22,40	4,8
16,00	16,10	10,1	22,40	22,50	6,9
16,10	16,20	9,6	22,50	22,60	6,2
16,20	16,30	9,4	22,60	22,70	5,5
16,30	16,40	8,5	22,70	22,80	5,8
16,40	16,50	9,0	22,80	22,90	7,5
16,50	16,60	9,3	22,90	23,00	4,6
16,60	16,70	6,6	23,00	23,10	5,8
16,70	16,80	4,0	23,10	23,20	4,8
16,80	16,90	6,5	23,20	23,30	5,5
16,90	17,00	7,1	23,30	23,40	5,1
17,00	17,10	5,8	23,40	23,50	3,7
17,10	17,20	4,0	23,50	23,60	5,0
17,20	17,30	8,7	23,60	23,70	3,8
17,30	17,40	7,7	23,70	23,80	3,4
17,40	17,50	8,4	23,80	23,90	3,0
17,50	17,60	8,1	23,90	24,00	3,8
17,60	17,70	8,0	24,00	24,10	3,6
17,70	17,80	7,5	24,10	24,20	4,0
17,80	17,90	6,9	24,20	24,30	3,2
17,90	18,00	7,4	24,30	24,40	3,8
18,00	18,10	5,7	24,40	24,50	3,9
18,10	18,20	7,4	24,50	24,60	4,0
18,20	18,30	5,8	24,60	24,70	8,2
18,30	18,40	5,0	24,70	24,80	10,2
18,40	18,50	8,2	24,80	24,90	10,1
18,50	18,60	7,3	24,90	25,00	8,0
Media		7,8	Media		5,5
Desviación Estándar		1,79	Desviación Estándar		1,98
Máximo		10,4	Máximo		10,20
Mínimo		4,0	Mínimo		3,0

Tabla 4.10: Rugosidad medida en tramo CR5 y CR6

IRI (m/km) Tramo CR5 - Ruta B-155			IRI (m/km) Tramo CR6 - Ruta B-155		
Kilómetro		Ene-06	Kilómetro		Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)
1,00	1,10	4,1	4,50	4,60	3,9
1,10	1,20	2,5	4,60	4,70	4,4
1,20	1,30	2,8	4,70	4,80	5,8
1,30	1,40	3,8	4,80	4,90	8,2
1,40	1,50	3,3	4,90	5,00	5,4
1,50	1,60	4,0	5,00	5,10	5,6
1,60	1,70	3,4	5,10	5,20	3,8
1,70	1,80	3,4	5,20	5,30	3,4
1,80	1,90	3,2	5,30	5,40	4,2
1,90	2,00	3,4	5,40	5,50	4,2
2,00	2,10	4,2	5,50	5,60	3,7
2,10	2,20	5,5	5,60	5,70	4,1
2,20	2,30	3,4	5,70	5,80	3,2
2,30	2,40	4,3	5,80	5,90	3,5
2,40	2,50	3,9	5,90	6,00	3,9
2,50	2,60	5,3	6,00	6,10	3,1
2,60	2,70	3,4	6,10	6,20	3,2
2,70	2,80	4,8	6,20	6,30	3,1
2,80	2,90	4,0	6,30	6,40	2,9
2,90	3,00	4,0	6,40	6,50	2,8
3,00	3,10	4,9	6,50	6,60	3,0
3,10	3,20	3,6	6,60	6,70	3,5
3,20	3,30	3,7	6,70	6,80	3,4
3,30	3,40	4,2	6,80	6,90	4,6
3,40	4,00	7,9	6,90	7,00	4,9
3,50	3,60	4,6	7,00	7,10	3,8
3,60	3,70	3,3	7,10	7,20	4,6
3,70	3,80	3,1	7,20	7,30	4,7
3,80	3,90	3,0	7,30	7,40	4,0
3,90	4,00	3,8	7,40	7,50	4,4
Media		3,9	Media		4,1
Desviación Estándar		1,02	Desviación Estándar		1,11
Máximo		7,9	Máximo		8,2
Mínimo		2,5	Mínimo		2,8

Tabla 4.11: Rugosidad medida en tramo CR7, CR8 y CR9

IRI (m/km) Tramo CR7 Ruta B-165				IRI (m/km) Tramo CR8 Ruta B-165				IRI (m/km) Tramo CR9 Ruta B-165			
Kilómetro		Nov-04	Ene-06	Kilómetro		Nov-04	Ene-06	Kilómetro		Nov-04	Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)	(m/km)
37,00	37,10	2,5	3,3	39,00	39,10	3,6	4,4	41,00	41,10	4,8	5,6
37,10	37,20	2,7	3,2	39,10	39,20	3,1	5,3	41,10	41,20	2,9	4,9
37,20	37,30	2,3	3,1	39,20	39,30	4,4	4,2	41,20	41,30	3,8	4,3
37,30	37,40	2,2	3,8	39,30	39,40	4,0	6,1	41,30	41,40	2,8	4,6
37,40	37,50	3,2	3,5	39,40	39,50	3,8	4,6	41,40	41,50	4,5	6,5
37,50	37,60	3,6	4,6	39,50	39,60	3,1	5,0	41,50	41,60	3,0	4,7
37,60	37,70	3,2	4,3	39,60	39,70	3,3	5,9	41,60	41,70	3,5	4,5
37,70	37,80	2,9	4,2	39,70	39,80	3,0	4,6	41,70	41,80	3,9	5,0
37,80	37,90	6,6	8,1	39,80	39,90	3,0	5,4	41,80	41,90	2,8	5,9
37,90	38,00	2,6	5,1	39,90	40,00	3,4	5,1	41,90	42,00	7,9	9,8
38,00	38,10	2,0	4,1	40,00	40,10	6,9	8,5	42,00	42,10	2,4	5,5
38,10	38,20	2,5	4,5	40,10	40,20	3,4	4,1	42,10	42,20	2,4	4,5
38,20	38,30	3,2	5,5	40,20	40,30	3,0	4,5	42,20	42,30	3,1	6,5
38,30	38,40	2,7	5,0	40,30	40,40	2,5	3,9	42,30	42,40	2,1	5,2
38,40	38,50	2,9	4,6	40,40	40,50	3,5	6,6	42,40	42,50	3,1	4,3
38,50	38,60	3,3	3,4	40,50	40,60	3,5	4,5	42,50	42,60	3,4	5,3
38,60	38,70	2,8	5,2	40,60	40,70	2,4	6,7	42,60	42,70	3,0	3,9
38,70	38,80	3,3	3,8	40,70	40,80	2,3	3,6	42,70	42,80	2,8	4,6
38,80	38,90	2,0	3,3	40,80	40,90	2,4	4,6	42,80	42,90	3,0	4,1
38,90	39,00	3,5	6,7	40,90	41,00	3,4	5,3	42,90	43,00	3,5	4,4
Media		3,0	4,4	Media		3,4	5,1	Media		3,4	5,20
Desv. Estándar		0,97	1,26	Desv. Estándar		0,99	1,16	Desv. Estándar		1,26	1,31
Máximo		6,6	8,1	Máximo		6,9	8,5	Máximo		7,9	9,8
Mínimo		2,0	3,1	Mínimo		2,3	3,6	Mínimo		2,1	3,9

Tabla 4.12: Rugosidad medida en tramo CR10 y CR11

IRI (m/km) Tramo CR10 - Ruta B-169			IRI (m/km) Tramo CR11 - Ruta B-169		
Kilómetro		Ene-06	Kilómetro		Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)
3,00	3,10	3,4	7,00	7,10	4,2
3,10	3,20	4,1	7,10	7,20	4,1
3,20	3,30	6,0	7,20	7,30	4,4
3,30	3,40	4,2	7,30	7,40	4,4
3,40	3,50	3,3	7,40	7,50	4,1
3,50	3,60	3,2	7,50	7,60	4,5
3,60	3,70	4,6	7,60	7,70	3,2
3,70	3,80	2,9	7,70	7,80	5,6
3,80	3,90	5,2	7,80	7,90	4,6
3,90	4,00	3,9	7,90	8,00	5,4
4,00	4,10	2,9	8,00	8,10	7,4
4,10	4,20	2,6	8,10	8,20	7,0
4,20	4,30	3,2	8,20	8,30	4,3
4,30	4,40	2,0	8,30	8,40	5,6
4,40	4,50	2,0	8,40	8,50	6,3
4,50	4,60	2,0	8,50	8,60	3,9
4,60	4,70	2,7	8,60	8,70	7,1
4,70	4,80	2,0	8,70	8,80	6,0
4,80	4,90	2,8	8,80	8,90	8,6
4,90	5,00	4,3	8,90	9,00	5,9
5,00	5,10	5,7	9,00	9,10	4,8
5,10	5,20	4,8	9,10	9,20	5,5
5,20	5,30	9,0	9,20	9,30	4,2
5,30	5,40	4,7	9,30	9,40	3,7
5,40	5,50	4,4	9,40	9,50	2,5
5,50	5,60	3,6	9,50	9,60	3,8
5,60	5,70	3,2	9,60	9,70	4,5
5,70	5,80	4,1	9,70	9,80	4,4
5,80	5,90	6,3	9,80	9,90	3,8
5,90	6,00	7,0	9,90	10,00	3,9
Media		4,0	Media		4,9
Desviación Estándar		1,61	Desviación Estándar		1,36
Máximo		9,0	Máximo		8,6
Mínimo		2,0	Mínimo		2,5

Tabla 4.13: Rugosidad medida en tramo CR12 y CR13

IRI (m/km) Tramo CR12 - Ruta B-180			IRI (m/km) Tramo CR13 - Ruta B-180		
Kilómetro		Ene-06	Kilómetro		Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)
13,00	13,10	7,8	25,00	25,10	5,3
13,10	13,20	3,3	25,10	25,20	5,6
13,20	13,30	3,5	25,20	25,30	7,0
13,30	13,40	3,9	25,30	25,40	4,1
13,40	13,50	3,6	25,40	25,50	5,2
13,50	13,60	3,5	25,50	25,60	5,1
13,60	13,70	2,7	25,60	25,70	3,7
13,70	13,80	3,7	25,70	25,80	3,1
13,80	13,90	3,9	25,80	25,90	3,3
13,90	14,00	3,9	25,90	26,00	2,8
14,00	14,10	4,1	26,00	26,10	2,5
14,10	14,20	3,8	26,10	26,20	2,5
14,20	14,30	3,6	26,20	26,30	2,4
14,30	14,40	3,5	26,30	26,40	2,5
14,40	14,50	3,2	26,40	26,50	2,4
14,50	14,60	4,5	26,50	26,60	2,2
14,60	14,70	3,6	26,60	26,70	3,4
14,70	14,80	3,4	26,70	26,80	2,9
14,80	14,90	3,9	26,80	26,90	3,0
14,90	15,00	3,4	26,90	27,00	3,3
15,00	15,10	3,0	27,00	27,10	3,1
15,10	15,20	3,0	27,10	27,20	3,0
15,20	15,30	3,0	27,20	27,30	2,8
15,30	15,40	2,9	27,30	27,40	3,0
15,40	15,50	4,8	27,40	27,50	3,0
15,50	15,60	3,8	27,50	27,60	2,6
15,60	15,70	2,7	27,60	27,70	2,8
15,70	15,80	2,5	27,70	27,80	3,2
15,80	15,90	2,8	27,80	27,90	3,0
15,90	16,00	2,3	27,90	28,00	2,5
Media		3,6	Media		3,4
Desviación Estándar		0,98	Desviación Estándar		1,14
Máximo		7,8	Máximo		7,0
Mínimo		2,3	Mínimo		2,2

Tabla 4.14: Rugosidad medida en tramo CR14 y CR15

IRI (m/km) Tramo CR14 - Ruta B-207			IRI (m/km) Tramo CR15 - Ruta B-207		
Kilómetro		Ene-06	Kilómetro		Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)
6,30	6,40	4,6	9,00	9,10	3,7
6,40	6,50	4,6	9,10	9,20	3,3
6,50	6,60	4,0	9,20	9,30	9,2
6,60	6,70	2,8	9,30	9,40	5,5
6,70	6,80	2,8	9,40	9,50	5,4
6,80	6,90	3,6	9,50	9,60	3,6
6,90	7,00	4,1	9,60	9,70	2,5
7,00	7,10	4,0	9,70	9,80	3,0
7,10	7,20	6,4	9,80	9,90	3,5
7,20	7,30	11,2	9,90	10,00	3,3
7,30	7,40	6,2	10,00	10,10	5,5
7,40	7,50	6,0	10,10	10,20	4,3
7,50	7,60	5,3	10,20	10,30	4,9
7,60	7,70	4,0	10,30	10,40	5,6
7,70	7,80	4,4	10,40	10,50	5,7
7,80	7,90	3,5	10,50	10,60	5,2
7,90	8,00	5,4	10,60	10,70	5,5
8,00	8,10	4,7	10,70	10,80	5,4
8,10	8,20	3,2	10,80	10,90	4,4
8,20	8,30	3,8	10,90	11,00	4,4
8,30	8,40	3,1	11,00	11,10	4,2
8,40	8,50	3,2	11,10	11,20	4,6
8,50	8,60	3,4	11,20	11,30	7,0
8,60	8,70	4,0	11,30	11,40	4,8
8,70	8,80	4,8	11,40	11,50	4,0
Media		4,5	Media		4,7
Desviación Estándar		1,72	Desviación Estándar		1,40
Máximo		11,2	Máximo		9,2
Mínimo		2,8	Mínimo		2,5

Tabla 4.15: Rugosidad medida en tramo CR16 y CR17

IRI (m/km) Tramo CR16 - Ruta B-400				IRI (m/km) Tramo CR17 - Ruta B-400			
Kilómetro		Nov-05	Ene-06	Kilómetro		Nov-05	Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)	(m/km)
1,00	1,10	3,4	3,6	6,00	6,10	3,7	4,2
1,10	1,20	2,6	3,0	6,10	6,20	3,0	3,3
1,20	1,30	3,0	3,2	6,20	6,30	3,6	4,1
1,30	1,40	2,5	2,8	6,30	6,40	3,0	3,2
1,40	1,50	2,9	3,2	6,40	6,50	3,3	3,5
1,50	1,60	3,1	3,2	6,50	6,60	3,0	3,4
1,60	1,70	2,5	3,1	6,60	6,70	3,7	3,8
1,70	1,80	2,5	2,8	6,70	6,80	3,3	3,6
1,80	1,90	2,6	2,8	6,80	6,90	3,5	3,7
1,90	2,00	2,8	3,0	6,90	7,00	3,3	3,9
2,00	2,10	3,0	3,1	7,00	7,10	4,0	4,7
2,10	2,20	2,5	2,7	7,10	7,20	4,0	4,3
2,20	2,30	2,9	3,2	7,20	7,30	3,9	4,0
2,30	2,40	2,6	2,8	7,30	7,40	3,5	4,1
2,40	2,50	2,4	3,2	7,40	7,50	3,7	4,0
2,50	2,60	2,6	3,1	7,50	7,60	2,3	3,5
2,60	2,70	3,5	3,7	7,60	7,70	3,0	3,3
2,70	2,80	2,9	3,3	7,70	7,80	3,5	3,8
2,80	2,90	3,3	3,5	7,80	7,90	3,3	3,7
2,90	3,00	2,5	2,8	7,90	8,00	3,6	4,2
3,00	3,10	2,9	3,6	8,00	8,10	3,3	4,5
3,10	3,20	2,7	3,4	8,10	8,20	3,7	4,3
3,20	3,30	3,7	3,9	8,20	8,30	4,2	4,4
3,30	3,40	2,6	2,9	8,30	8,40	4,0	4,3
3,40	3,50	3,4	6,7	8,40	8,50	3,9	4,3
3,50	3,60	4,7	8,0	8,50	8,60	3,8	4,5
3,60	3,70	3,3	6,5	8,60	8,70	4,5	5,5
3,70	3,80	2,9	3,5	8,70	8,80	4,2	4,5
3,80	3,90	3,1	3,2	8,80	8,90	3,4	3,9
3,90	4,00	2,2	2,5	8,90	9,00	4,5	6,2
4,00	4,10	2,2	3,6	9,00	9,10	5,6	8,3
4,10	4,20	3	3,2	9,10	9,20	4,8	6,5
4,20	4,30	3,6	3,8	9,20	9,30	3,6	5,3
4,30	4,40	3	3,2	9,30	9,40	3,0	4,3
4,40	4,50	2,8	3,1	9,40	9,50	4,2	4,5
4,50	4,60	2,8	3,5	9,50	9,60	3,6	4,1
4,60	4,70	2,9	3,5	9,60	9,70	3,3	3,4
4,70	4,80	3	3,3	9,70	9,80	4,6	5,5
4,80	4,90	3,5	3,5	9,80	9,90	4,0	4,2
4,90	5,00	2,6	2,9	9,90	10,00	3,0	3,3
Media		2,9	3,50	Media		3,7	4,30
Desviación Estándar		0,47	1,09	Desviación Estándar		0,60	0,99
Máximo		4,7	8,0	Máximo		5,6	8,3
Mínimo		2,2	2,5	Mínimo		2,3	3,2

Tabla 4.16: Rugosidad medida en tramo CR18 y CR19

IRI (m/km) Tramo CR18 - Ruta B-400				IRI (m/km) Tramo CR19 - Ruta B-400			
Kilómetro		Nov-05	Ene-06	Kilómetro		Nov-05	Ene-06
Inicial	(m/km)	(m/km)	(m/km)	(m/km)	(m/km)		(m/km)
16,00	16,10	4,5	7,0	21,00	21,10	2,7	3,1
16,10	16,20	4,0	5,1	21,10	21,20	2,6	2,8
16,20	16,30	3,3	4,0	21,20	21,30	2,7	2,8
16,30	16,40	2,9	3,4	21,30	21,40	2,6	2,7
16,40	16,50	3,8	4,0	21,40	21,50	3,3	3,4
16,50	16,60	3,3	3,2	21,50	21,60	2,8	2,9
16,60	16,70	4,0	4,3	21,60	21,70	3,0	3,4
16,70	16,80	2,2	2,6	21,70	21,80	3,8	4,5
16,80	16,90	3,6	4,1	21,80	21,90	3,2	6,3
16,90	17,00	2,6	3,2	21,90	22,00	3,5	5,1
17,00	17,10	3,5	3,8	22,00	22,10	3,2	3,3
17,10	17,20	3,1	3,5	22,10	22,20	3,0	3,3
17,20	17,30	3,4	3,6	22,20	22,30	3,0	3,4
17,30	17,40	3,0	3,3	22,30	22,40	2,8	2,8
17,40	17,50	2,6	2,9	22,40	22,50	3,7	3,8
17,50	17,60	2,4	2,6	22,50	22,60	3,7	3,7
17,60	17,70	2,7	3,2	22,60	22,70	3,5	4,3
17,70	17,80	2,7	2,9	22,70	22,80	3,0	3,2
17,80	17,90	3,1	3,2	22,80	22,90	3,5	3,5
17,90	18,00	2,7	2,9	22,90	23,00	3,1	3,2
18,00	18,10	3,1	3,8	23,00	23,10	3,5	3,8
18,10	18,20	3,1	3,6	23,10	23,20	3,2	3,2
18,20	18,30	3,6	3,9	23,20	23,30	2,6	2,8
18,30	18,40	3,3	3,8	23,30	23,40	2,7	2,8
18,40	18,50	3,8	4,1	23,40	23,50	3,0	3,2
18,50	18,60	2,6	2,9	23,50	23,60	3,4	3,8
18,60	18,70	3,7	4,1	23,60	23,70	4,0	4,1
18,70	18,80	3,0	3,4	23,70	23,80	3,8	3,9
18,80	18,90	3,5	6,5	23,80	23,90	3,5	3,6
18,90	19,00	5,3	8,0	23,90	24,00	3,4	3,4
19,00	19,10	4,0	5,9	24,00	24,10	3,2	3,7
19,10	19,20	2,9	4,9	24,10	24,20	3,3	3,6
19,20	19,30	4,0	4,6	24,20	24,30	3,0	3,8
19,30	19,40	3,4	3,7	24,30	24,40	3,5	4,7
19,40	19,50	3,3	3,5	24,40	24,50	4,3	6,8
19,50	19,60	3,1	3,3	24,50	24,60	3,0	4,7
19,60	19,70	4,0	4,5	24,60	24,70	2,3	3,3
19,70	19,80	2,4	2,5	24,70	24,80	2,9	2,8
19,80	19,90	2,7	3,2	24,80	24,90	2,6	2,7
19,90	20,00	2,6	3,1	24,90	25,00	2,4	2,5
Media		3,3	3,9	Media		3,2	3,6
Desviación Estándar		0,64	1,19	Desviación Estándar		0,46	0,91
Máximo		5,3	8,0	Máximo		4,3	6,8
Mínimo		2,2	2,5	Mínimo		2,3	2,5

Tabla 4.17: Rugosidad medida en tramo CR20 y CR21

IRI (m/km) Tramo CR20 - Ruta B-955			IRI (m/km) Tramo CR21 - Ruta B-955		
Kilómetro		Ene-06	Kilómetro		Ene-06
Inicial	Final	(m/km)	Inicial	Final	(m/km)
43,00	43,10	9,4	46,00	46,10	7,0
43,10	43,20	9,1	46,10	46,20	8,4
43,20	43,30	10,5	46,20	46,30	7,7
43,30	43,40	9,9	46,30	46,40	5,9
43,40	43,50	10,1	46,40	46,50	8,6
43,50	43,60	10,2	46,50	46,60	8,2
43,60	43,70	9,8	46,60	46,70	6,1
43,70	43,80	9,3	46,70	46,80	6,5
43,80	43,90	9,1	46,80	46,90	6,9
43,90	44,00	8,9	46,90	47,00	7,2
44,00	44,10	8,3	47,00	47,10	6,2
44,10	44,20	6,6	47,10	47,20	5,8
44,20	44,30	7,3	47,20	47,30	6,0
44,30	44,40	6,9	47,30	47,40	5,9
44,40	44,50	4,0	47,40	47,50	5,7
44,50	44,60	6,8	47,50	47,60	6,3
44,60	44,70	7,3	47,60	47,70	4,1
44,70	44,80	6,7	47,70	47,80	4,4
44,80	44,90	8,6	47,80	47,90	4,0
44,90	45,00	9,4	47,90	48,00	3,8
45,00	45,10	10,5	48,00	48,10	3,9
45,10	45,20	8,7	48,10	48,20	4,1
45,20	45,30	8,7	48,20	48,30	3,7
45,30	45,40	7,6	48,30	48,40	3,7
45,40	45,50	6,4	48,40	48,50	3,7
45,50	45,60	7,8	48,50	48,60	3,8
45,60	45,70	6,1	48,60	48,70	7,7
45,70	45,80	5,9	48,70	48,80	8,9
45,80	45,90	9,0	48,80	48,90	9,8
45,90	46,00	7,2	48,90	49,00	8,8
Media		8,2	Media		6,1
Desviación Estándar		1,60	Desviación Estándar		1,87
Máximo		10,5	Máximo		9,80
Mínimo		4,0	Mínimo		3,7

4.5 DATOS DE PÉRDIDA DE MATERIAL EN TRAMOS TESTIGOS

4.5.1 Valores medidos en tramos del estudio

En el período de enero a julio del 2006 se procedió a realizar las mediciones según el plan predefinido, las que se desarrollaron sin contratiempos pero sí con una salvedad. La aprensión comentada en el capítulo tres, respecto al daño de la carpeta de rodado con la apertura de calicatas fue evidente, por tanto en los tramos de la ruta B-400 no se realizaron estas excavaciones, ya que ésta es una ruta que en el último tiempo se ha vuelto muy importante en el transporte de cobre de la Mina de Chuquicamata al Puerto de Mejillones.

Con el objeto de disminuir al mínimo el daño a la capa de rodado por la apertura de calicatas, el punto de medición cada vez fue el mismo, es decir, en cada oportunidad se abría la misma calicata para medir su espesor remanente, la que posteriormente se rellenaba con el mismo material y se compactaba, obviamente no pretendiendo reproducir las condiciones iniciales de consolidación de la capa de rodado.

No obstante, haber medido la pérdida de material por el método de calicatas, sólo en las rutas B-55 y B-207, estos no fueron considerados en el presente estudio por estimar que la metodología induce a un mayor error asociado a la operatoria. Los valores medidos son los indicados en la tabla 4.18.

Tabla 4.18: Pérdida de material – Método calicatas

Fecha	Espesor remanente de la carpeta (mm)						Media (mm)	Desviación Estándar
	B-55			B-207				
	CPM4	CPM5	CPM6	CPM7	CPM8	CPM9		
Enero	187	197	98	163	130	160	155.8	36.7
Marzo	184	189	92	157	125	153	150.0	36.6
Mayo	181	180	86	151	120	146	144.0	36.4
Julio	178	171	78	144	115	139	137.5	37
Perdida Parcial	8	27	20	19	15	21	18.3	6.3
Perdida Anual	19	56	45	44	31	43	39.6	12.8

En tanto que los valores medidos por el método topográfico, considerados en el presente estudio, para las rutas B-55, B-207 y B-400, son los indicados en la tabla 4.19. Los valores anuales de pérdida de material se obtuvieron a través de una función matemática.

Tabla 4.19: Pérdida de material (mm) – Método topográfico (mm)

FECHA	Diferencia de cota (mm)									Media (mm)	Desv. Estándar
	B-400			B-55			B-207				
	CPM1	CPM2	CPM3	CPM4	CPM5	CPM6	CPM7	CPM8	CPM9		
Enero - Marzo	-6	20	5	9	4	8	10	1	2	5.9	7.2
Marzo - Mayo	17	-9	6	6	11	6	-2	7	6	5.3	7.3
Mayo - Julio	6	6	6	6	6	5	4	4	4	5.2	0.9
Perd. Parcial (mm)	17	17	17	21	21	19	12	12	12	16.4	3.6
Perd. Anual (mm)	23	12	45	42	35	34	16	21	20	27.5	11.7

4.5.2 Sumario del análisis de la metodología de medición

Como conclusión a esta etapa de medición, se puede decir, que una vez analizados los resultados obtenidos y contrastadas las posibilidades que confieren ambos métodos en terreno, es mucho más recomendable el uso del taquímetro. Las principales razones para esta elección se sustentan en el hecho que la perforación de la carpeta genera una discontinuidad superficial en el camino, situación que obliga al conductor a esquivar esta singularidad y con ello el punto de medición, cambiando así las condiciones iniciales de tránsito y de medición del punto. Por otra parte, el hecho de hacer las calicatas conlleva a una dificultad operativa mayor, en términos de trabajo realizado, tiempo invertido y de la posibilidad de hacer un mayor número de observaciones. Además, cada pique es un bache en potencia que termina por dañar la carpeta más que ayudar a predecir su comportamiento.

A pesar de no contar con la certeza de medir en cada oportunidad en el punto exacto, el método topográfico entrega resultados con un mayor grado de precisión, una menor dispersión de los datos tomados, y por último, da la

oportunidad de tomar una mayor cantidad de observaciones en un menor tiempo y sin producir alteraciones en la capa de rodado.

La tabla siguiente muestra los valores para el análisis de pérdida de material en caminos de la Región de Antofagasta.

Tabla 4.20: Valores para el análisis de pérdida de material

PERDIDA DE MATERIAL (mm)				
TRAMO	TMDA veh/día	MMP mm/mes	PERD. PARCIAL mm	PERD. ANUAL mm/año
CPM1	131	0,14	17	23
CPM2	132	0,14	17	13
CPM3	133	0,14	17	45
CPM4	20	0,48	21	42
CPM5	21	0,48	21	35
CPM6	22	0,48	19	34
CPM7	190	0,14	12	16
CPM8	190	0,14	12	21
CPM9	190	0,14	12	20

4.6 ANALISIS DE RUGOSIDAD EN LOS TRAMOS TESTIGOS

4.6.1 Rugosidad mínima medida en terreno

Recordemos que la rugosidad mínima corresponde a la cota inferior de la rugosidad alcanzada por un camino dada ciertas condiciones granulométricas de la capa de rodado, el tránsito y las condiciones climáticas.

Del conjunto de datos expuestos en la tabla 4.21 se puede apreciar que la rugosidad mínima medida corresponde a:

Rugosidad Mínima Medida = 2,0 m/km IRI

Además no se aprecia una relación directa entre la rugosidad mínima y el tamaño máximo de partícula o el tránsito medio diario anual (TMDA).

Tabla 4.21: Rugosidades mínimas

Tramo	Rugosidad - IRI m/km	Tamaño Máximo mm	TMDA veh/día
CR1	2,3	40	66
CR2	2,5	40	66
CR3	4,0	25	126
CR4	3,0	25	126
CR5	2,5	25	17
CR6	2,8	25	17
CR7	2,0	50	29
CR8	2,3	50	30
CR9	2,1	50	30
CR10	2,0	25	22
CR11	2,5	25	22
CR12	2,3	20	319
CR13	2,2	20	319
CR14	2,8	40	20
CR15	2,5	40	20
CR16	2,2	50	190
CR17	2,3	50	190
CR18	2,2	50	190
CR19	2,3	50	190
CR20	4,0	50	62
CR21	3,7	50	62
Media	2,6	36,1	99,9
Desviación Estándar	0,61	12,07	102,17
Máximo	4,0	50,0	319,0
Mínimo	2,0	20,0	17,0

4.6.2 Rugosidad máxima medida en terreno

Las rugosidades máximas medidas en cada uno de los tramos del estudio se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 4.22: Rugosidad máxima

Tramo	Rugosidad - IRI m/km	Tamaño Máximo mm	TMDA veh/día
CR1	12,1	40	66
CR2	13,2	40	66
CR3	10,4	25	126
CR4	10,2	25	126
CR5	7,9	25	17
CR6	8,2	25	17
CR7	8,1	50	29
CR8	8,5	50	30
CR9	9,8	50	30
CR10	9,0	25	22
CR11	8,6	25	22
CR12	7,8	20	319
CR13	7,0	20	319
CR14	11,2	40	20
CR15	9,2	40	20
CR16	8,0	50	190
CR17	8,3	50	190
CR18	8,0	50	190
CR19	6,8	50	190
CR20	10,5	50	62
CR21	9,8	50	62
Media	9,2	36,1	99,9
Desviación Estándar	1,65	12,07	102,17
Máximo	13,2	50,0	319,0
Mínimo	6,8	20,0	17,0

Se puede apreciar en la tabla que la máxima rugosidad alcanzada en las mediciones hechas en el seguimiento de los tramos en estudio corresponde a:

Rugosidad Máxima Medida = 13,2 IRI m/Km

4.6.3 Rugosidad media de cada tramo

Si bien es cierto, la rugosidad media en la realidad corresponde a un promedio

de la rugosidad entre perfilados, en nuestro estudio al no existir estrategias de mantenimiento y conservación para estas rutas, la rugosidad media que se indica en la tabla siguiente, corresponde al promedio de la última medición de la rugosidad en cada tramo.

Tabla 4.23: Rugosidad media de cada tramo

Tramo	Rugosidad - IRI m/km	Tamaño Máximo mm	TMDA veh/día
CR1	6,7	40	66
CR2	7,7	40	66
CR3	7,8	25	126
CR4	5,5	25	126
CR5	3,9	25	17
CR6	4,1	25	17
CR7	4,4	50	29
CR8	5,1	50	30
CR9	5,2	50	30
CR10	4,0	25	22
CR11	4,9	25	22
CR12	3,6	20	319
CR13	3,4	20	319
CR14	4,5	40	20
CR15	4,7	40	20
CR16	3,5	50	190
CR17	4,3	50	190
CR18	3,9	50	190
CR19	3,6	50	190
CR20	8,2	50	62
CR21	6,1	50	62
Media	5,0	36,1	99,9
Desviación Estándar	1,48	12,07	102,17
Máximo	8,2	50,0	319,0
Mínimo	3,4	20,0	17,0

Algunos resultados importantes de este análisis corresponden a los valores alcanzados para la media, desviación estándar, máxima y mínima rugosidad, los cuales, además se muestran en la gráfica siguiente:

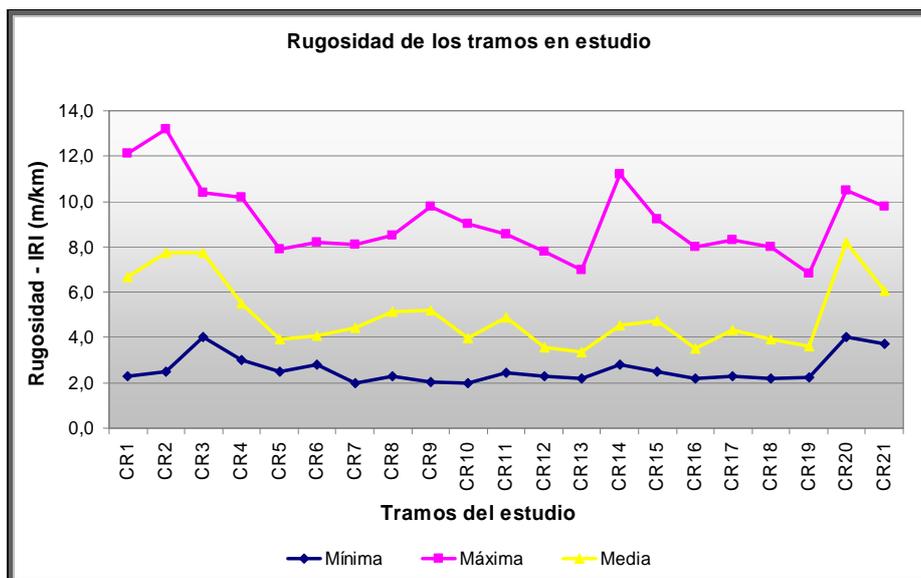


Figura 4.1: Grafica de rugosidad máx., mín. y media

4.6.4 Análisis de rugosidad antes y después de un reperfilado

Los caminos no pavimentados considerados en el presente estudios y que corresponden al programa de gobierno “Caminos Básicos 5000”, son rutas que fueron diseñadas siguiendo la metodología AASHTO, con horizontes de vida sobre los tres años. La construcción de estas rutas, se iniciaron a mediados del año 2003, por tanto a la fecha de esta investigación ninguna de estas vías ha recibido trabajo alguno de conservación. En consecuencia, no fue posible medir la variable rugosidad antes y después del reperfilado.

4.6.5 Rugosidad en las estaciones climáticas

En el capítulo tres (3.7.3) se explicó detalladamente la particularidad pluviométrica de la Región de Antofagasta, la que geográficamente se ubica en el Desierto de Atacama, el más árido del mundo. Esta singularidad asociada a la errática recurrencia de las lluvias en la zona y la poca extensión en el tiempo de este estudio, confabularon para no hacer posible la obtención de mediciones de rugosidad en períodos de lluvia.

En definitiva, no fue posible obtener una apreciación comparativa del comportamiento de los caminos bajo régimen de lluvias versus régimen seco para la Región de Antofagasta.

4.7 AJUSTE DE LOS MODELOS DE DETERIORO

En el presente acápite se persigue ajustar los modelos de deterioro del HDM-4 a las reales y particulares condiciones de la Región de Antofagasta de Chile, de acuerdo a lo observado en la zona propósito del estudio, siguiendo los procedimientos detallados en el capítulo tres.

Las relaciones del HDM-III que predicen el deterioro de los caminos no pavimentados y los efectos del mantenimiento, se han mantenido íntegramente en el HDM-4. Sin embargo, en atención a que en el HDM-III las unidades de rugosidad se especificaron en términos del “Índice Cuarto Carro”, QI, y que la rugosidad en el HDM-4 se especifica como IRI (m/km), es que la nueva versión del HDM ha reformulado las relaciones de los modelos de deterioro declaradas por Paterson⁵ y Watanatada⁶ para reflejar la rugosidad en unidades de IRI.

4.7.1 Ajuste del modelo de Rugosidad Máxima

En el ajuste de los modelos de rugosidad se mantuvo la forma funcional del modelo entregados por Paterson⁷ y reformulado en el HDM-4, efectuando modificaciones en los parámetros que acompañan a las variables independientes comprendidas en el modelo.

Se explicita el modelo del HDM-4 para la variable dependiente Rugosidad máxima ($RI_{m\acute{a}x}$) como lineal en los parámetros y su expresión es la siguiente⁸:

$$\hat{RI}_{m\acute{a}x} = 21,5 - 32,4 * (0,5 - MGD)^2 + 0,017 * (HC) - 0,764 * (RF) * (MMP/1000)$$

Donde:

HC = Curvatura horizontal promedio del camino, en grados/km

⁵ William Paterson D.O. (1987). “Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. Highway Design and Maintenance Standards Series”, World Bank Transportation department, Washington D.C.

⁶ Watanatada et al. (1987), The Highway Design and Maintenance Standards Model, Volume 1 - Description, The World Bank, John Hopkins University Press.

⁷ William Paterson D.O. (1987). “Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management. Highway Design and Maintenance Standards Series”, World Bank Transportation department, Washington D.C.

⁸ Se explicita que las ecuaciones con gorro (hat) son las estimadas, en tanto que aquellas sin él, son las calculadas directamente de las variables recolectadas.

RF = Promedio de subidas más bajadas del camino, en m/km

MGD = Relación del material en gradación polvo

MGD = 1 si: P425 = 0

MGD = P075 / P425 si: P425 > 0

P425 = Cantidad de material que pasa el tamiz 0,425, % de la masa

P075 = Cantidad de material que pasa el tamiz 0,075, % de la masa

MMP = Precipitación media mensual, en mm/mes

De la linealidad del algoritmo podemos decir que si las variables independientes fuesen cero, el menor valor que alcanzaría la variable dependiente sería considerablemente mayor que cero. Lo que permite proyectar linealmente la rugosidad máxima sin riesgo significativo de subestimación.

Las variables independientes no presentan correlaciones estadísticamente significativas entre ellas, lo que permite la aplicación del análisis de regresión y avala la estabilidad de los coeficientes estimados del modelo. La matriz de correlación siguiente muestra que ninguna resulta estadísticamente distinta de cero.

Tabla 4.24: Correlaciones entre cada variable para 21 muestras

Variables		HC	(0.5 – MGD) ²	RF * MMP/1000
HC	Correlación		-0,2652	-0.0788
	p-valor		0,245	0,7342
(0.5 – MGD) ²	Correlación	-0,2652		0,1622
	p-valor	0,245		0,4825
RF * MMP/1000	Correlación	-0,0788	0,1622	
	p-valor	0,7342	0,4825	

Esto refuerza la idea, por ejemplo, que la variable grado de curvatura (curvas del camino - HC) sería independiente de la variable subidas y bajadas (pendientes del camino - RF), de igual forma, la gradación de polvo (relación

entre el material retenido en la malla 200 y la malla 40 – MGD), sería independiente de los valores de pendiente y de curvatura del camino.

En consecuencia, la ecuación de la variable dependiente “Rugosidad Máxima - $RI_{m\acute{a}x}$ ” puede ser escrita de la forma siguiente:

$$RI_{max} = K_1 + K_2 * (0,5 - MGD)^2 + K_3 * HC + K_4 * RF * MMP + e$$

Donde: “ K_i ” son los parámetros por determinar y “ e ” es el error aleatorio que representa todas aquellas otras condiciones que afectan las condiciones del camino y que no son capturadas por el modelo. Los parámetros estimados del Modelo HDM-4 y sus respectivos estadísticos se presentan en la tabla 4.25.

Tabla 4.25: Variable Dependiente: “ $RI_{m\acute{a}x}$ ”

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-valor
Constante	9,41466	0,56808	16,5728	0,000
$(0,5 - MGD)^2$	-65,0699	19,8819	-3,27283	0,0045
HC	0,0163323	0,00753278	2,16817	0,0446
RF*MMP/1000	59,9149	24,8411	2,41192	0,0275

Adicionalmente, en la tabla 4.26 se muestra el análisis de varianza que permite rechazar la hipótesis nula de que todos los parámetros son iguales a cero, y por lo tanto aseverar que al menos uno de los parámetros del modelo sería significativamente distinto de cero. Esto sería congruente con los resultados de la tabla 4.25, que muestra que las tres variables del modelo son estadísticamente significativa en la explicación de las variaciones de la rugosidad máxima de los caminos no pavimentados de la región de Antofagasta (p -valor < 0.05).

Tabla 4.26: Análisis de la Varianza

Fuente	Suma cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Cociente F	P-valor
Modelo	31,4012	3	10,4671	7,78	0,0018
Residuo	22,8816	17	1,34598		
Total (Correl.)	54,2829	20			

La estimación del modelo para describir la relación entre la variable dependiente RI_{\max} y las tres variables independientes, queda de la forma siguiente:

$$\hat{RI}_{\max} = 9,4146 - 65,069 * (0,5 - MGD)^2 + 0,016332 * HC + 59,914 * RF * MMP/1000$$

El modelo estimado tiene una capacidad de explicar el 51% de las variaciones de la variable dependiente (R^2 ajustado = 0,51), lo que sería significativamente mayor al ajuste alcanzado por Paterson en su modelo para Brasil.

Adicionalmente los signos encontrados para las variables gradación de polvo ($(0,5-MGD)^2$) y grado de curvatura (HC), son similares a los esperados y a los obtenidos por Paterson y Watanatada para Brasil. Sin embargo, el signo para la variable pendiente del camino ($RF * MMP/1000$) es contrario y significativo al esperado. Aunque esto pudiese parecer una debilidad del modelo estimado respecto al modelo con el cual se está comparando, para la desértica región de Antofagasta tiene una explicación plausible, debido a que en el estudio para Brasil se podría esperar que las pendientes de los caminos no pavimentados, redujeran la rugosidad causadas por las precipitaciones. Esto implica que para Brasil el efecto capturado por esta variable esté asociado principalmente a la cantidad de agua caída.

En contraste, la pluviosidad en la región de Antofagasta es muy baja, lo que hace que el efecto del agua caída sobre el camino sea marginal y que el efecto capturado por esta variable esté dominado por la pendiente de los caminos. Mostrando que la rugosidad será mayor, mientras mayor sean las pendientes. Lo que contrasta con las zonas lluviosas donde los caminos no pavimentados tienen mayor deterioro en los sectores planos producto de las precipitaciones, y donde las pendientes juegan un rol de protección debido a que evitan la acumulación de agua sobre la superficie del camino.

La Figura 4.2 denota una varianza homoscedástica, al mostrar valores positivos y negativos de los errores estimados, encontrándose la mayoría relativamente

cercanos a cero. No evidenciando un comportamiento sistemático de los errores alrededor de su valor esperado o cero, con una distribución uniforme y similar dispersión. Por tanto, la figura evidencia que no existen indicios de heterocedasticidad en los errores de estimación del modelo, lo que es una condición para la aplicación de los modelos de regresión lineal.

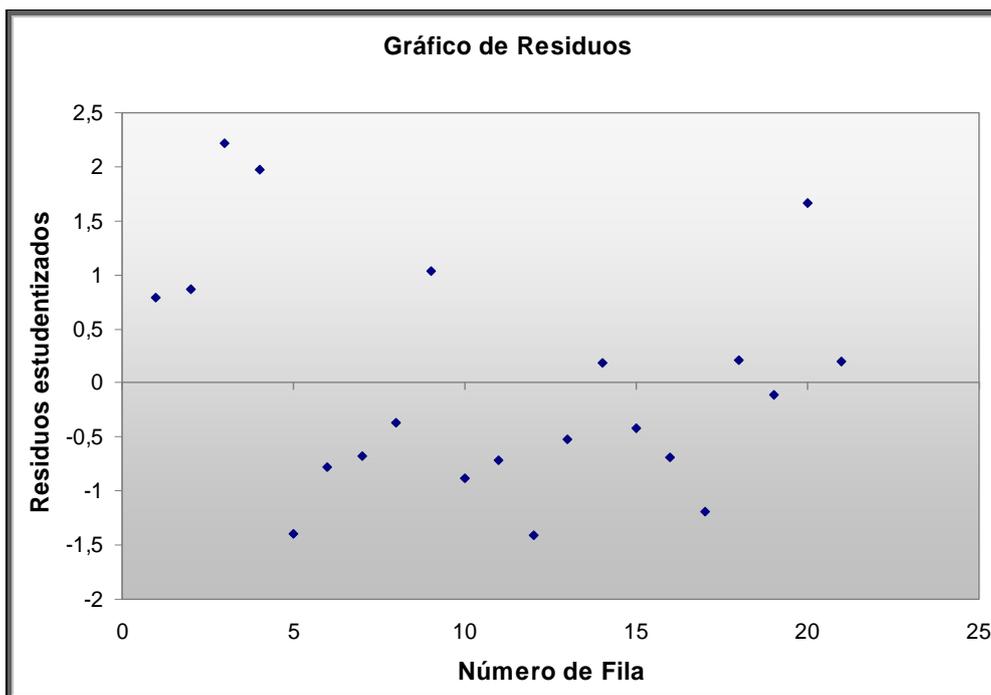


Figura 4.2: Gráfica de residuos - RI_{\max}

En análisis de regresión de datos de corte transversal en general, la autocorrelación o correlación serial no sería relevante, ya que no existe una dependencia temporal. De todas maneras, se estimó el índice de Durbin y Watson para medir autocorrelación y este resultó ser mayor a dos (2,40848), indicando la no presencia de autocorrelación serial.

En la tabla 4.27 se resumen los valores medidos de las variables independientes, utilizadas en la estimación del modelo, curvatura horizontal, pendientes, pluviometría, gradación de polvo y de las rugosidades medidas en terreno, además de las estimadas por el modelo ajustado.

En la siguiente tabla podemos observar que la variable dependiente (RI_{\max} Ajustada), se encuentra lejos de valores negativos, es más, los valores que se

obtienen están dentro del rango esperado para la rugosidad máxima (en caminos no pavimentados de la región) y de aquellos valores medidos en terreno.

Tabla 4.27: Determinación Rugosidad Máxima

Tramo	HC (°/km)	RF (m/km)	MMP mm/mes	MGD P075/P425	P075 # 200	P425 # 40	Rlmax m/km		
							Paterson	Medido	Ajustado
CR1	28.0	17	1.43	0.5152	17	33	21.9	12.1	11.3
CR2	92.7	17	1.43	0.4722	17	36	23.0	13.2	12.3
CR3	8.0	5	0.14	0.6471	22	34	20.9	10.4	8.2
CR4	10.7	5	0.14	0.6471	22	34	21.0	10.2	8.2
CR5	0.0	8	1.43	0.3889	14	36	21.1	7.9	9.3
CR6	0.0	8	1.43	0.3684	14	38	20.9	8.2	9.0
CR7	3.0	20	1.43	0.3077	8	26	20.3	8.1	8.8
CR8	9.0	20	1.43	0.3077	8	26	20.4	8.5	8.9
CR9	3.0	20	1.43	0.3077	8	26	20.3	9.8	8.8
CR10	47.7	5	1.43	0.6071	17	28	21.9	9.0	9.9
CR11	7.7	5	1.43	0.6000	18	30	21.3	8.6	9.3
CR12	5.0	5	0.14	0.5714	20	35	21.4	7.8	9.2
CR13	13.0	5	0.14	0.6818	30	44	20.6	7.0	7.5
CR14	128.8	5	0.48	0.6000	21	35	23.4	11.2	11.0
CR15	69.2	5	0.48	0.6286	22	35	22.1	9.2	9.6
CR16	13.0	33	0.14	0.3636	8	22	21.1	8.0	8.7
CR17	65.8	25	0.14	0.3636	8	22	22.0	8.3	9.5
CR18	54.5	22	0.14	0.2963	8	27	21.1	8.0	7.8
CR19	2.0	20	0.14	0.2963	8	27	20.2	6.8	6.9
CR20	0.0	9	0.14	0.4000	12	30	21.2	10.5	8.8
CR21	11.3	9	0.14	0.5333	16	30	21.7	9.8	9.6

En la figura 4.3 se pueden notar las diferencias que presentan las predicciones de los modelos de Paterson, para Brasil con datos para la región de Antofagasta, y el modelo ajustado para Antofagasta, versus los datos medidos en terreno. En la figura se puede apreciar que el modelo de Paterson se mantiene por sobre el valor real, distando bastante de lo medido en terreno. En tanto, el modelo estimado se ajusta considerablemente mejor a los datos medidos en terreno.

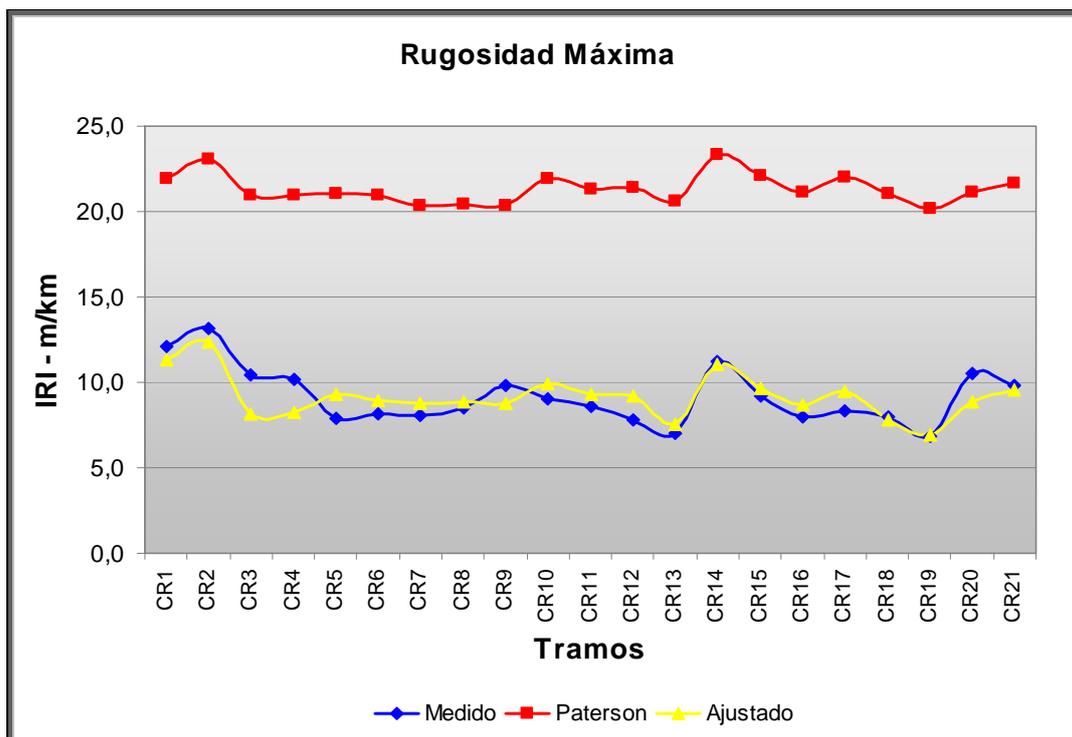


Figura 4.3: Comportamiento de la Rugosidad Máxima

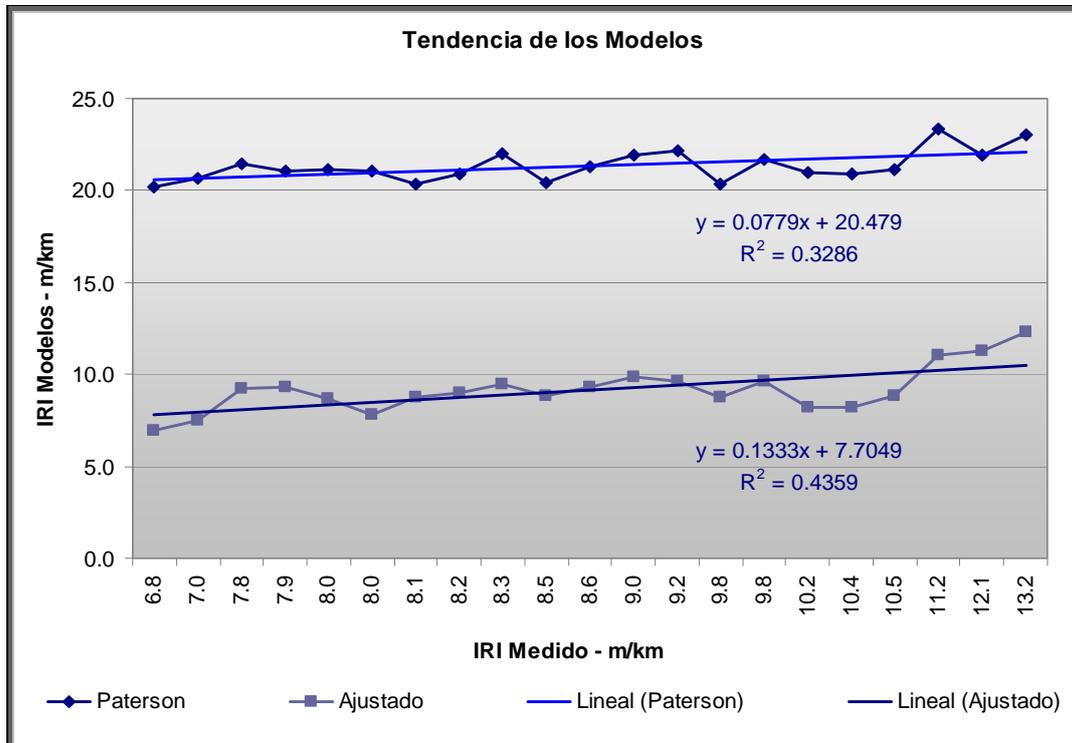


Figura 4.4: Modelo ajustado versus modelo de Paterson

En la figura 4.4 podemos apreciar que la tendencia del modelo ajustado tiene

mayor pendiente respecto al modelo original de Paterson, indicando por tanto, que se ajustaría mejor a la realidad de las vías de la Región de Antofagasta.

Los resultados anteriores, permiten inferir que los parámetros estimados para Brasil no son útiles para predecir la rugosidad máxima de los caminos no pavimentados de la región de Antofagasta, ya que estos sobrestiman significativamente la rugosidad máxima. Esto justifica la necesidad de ajustar el modelo con datos locales, para obtener predicciones adecuadas de la regularidad de los caminos no pavimentados.

4.7.2 Ajuste del modelo de Progresión de la Rugosidad

El modelo de progresión de la rugosidad o variación de la rugosidad en el tiempo, tiene como finalidad predecir la condición superficial del camino en el tiempo, en función de la rugosidad en un tiempo determinado, la rugosidad máxima, el tiempo, el tránsito (vehículos livianos y pesados), la pluviometría y las propiedades de los materiales.

Desde el punto de vista de la ingeniería vial y en el contexto de la región de Antofagasta de Chile, las variables independientes y parámetros que sustentan el modelo de Paterson para Brasil (tránsito liviano y pesado, periodo de medición, rugosidad máxima y rugosidad en un tiempo determinado), se condicen con las características propias de los caminos no pavimentados de la región. Por el contrario, la pluviosidad en la región de Antofagasta es muy baja, lo que hace que el efecto del agua caída sobre el camino sea marginal y que el efecto capturado por esta variable sea irrelevante para la realidad regional. Lo que contrasta con las zonas lluviosas donde los caminos no pavimentados pudiesen tener mayor deterioro en los sectores planos, producto de las precipitaciones, y donde las pendientes juegan un rol de protección debido a que evitan la acumulación de agua sobre la superficie del camino, permitiendo así, capturar parte del agua en beneficio de la cohesión del material componente de la capa granular.

El modelo desarrollado en el estudio de Brasil es de forma lineal y se sintetiza en la siguiente ecuación:

$$\hat{R}_{I_{TG2}} = R_{I_{max}} - \hat{b} * (R_{I_{max}} - R_{I_{TG1}})$$

Donde:

$$\hat{b} = \exp[\hat{c} * (TG_2 - TG_1)] \quad \text{En el que: } 0 < b < 1$$

$$\hat{c} = -0,001 * [0,461 + 0,0174 * (ADL) + 0,0114 * (ADH) - 0,0287 * (ADT) * (MMP/1000)]$$

En tanto que las variables son:

$R_{I_{TG1}}$ = Rugosidad al tiempo TG_1 , en m/km IRI

$R_{I_{TG2}}$ = Rugosidad al tiempo TG_2 , en m/km IRI

TG_i = Tiempo desde la última nivelación, en días

ADL = Tránsito medio diario liviano (bajo 3.500 Kg) en ambas direcciones, en vehículos/días

ADH = Tránsito medio diario pesado (sobre 3.500 Kg) en ambas direcciones, en vehículos/días

ADT = Todo el tránsito medio diario (livianos más pesados) en ambas direcciones, en vehículos/días

Dada la forma analítica del modelo y los valores medidos en terreno, se buscó ajustar el parámetro "c" de manera recursiva, en función del parámetro "b" y de los datos recolectados en terreno. Para ello se despejó el parámetro "b" de la ecuación de la progresión de la rugosidad, quedando de la forma siguiente:

$$b = (R_{I_{max}} - R_{I_{TG2}}) / (R_{I_{max}} - R_{I_{TG1}})$$

Despejando "c" de la expresión original del modelo queda de la forma:

$$c = \ln b / (TG_2 - TG_1)$$

De donde podemos obtener "b" y "c" basados en las mediciones realizadas en terreno en distintos períodos de tiempo.

Ajuste del parámetro “c”

Por otra parte, se puede estimar el parámetro “c” como una función lineal de un conjunto de variables, cuya expresión es la siguiente:

$$c = K_1 + K_2 * ADL + K_3 * ADH + K_4 * ADT * MMP/1000 + e$$

Siendo “Ki” los parámetros a estimar y “e” es el error aleatorio que representa todas aquellas otras condiciones que afectan las condiciones del camino y que no son capturadas por el modelo.

En el modelo original de Paterson, el tránsito es separado entre tránsito liviano (ADL) y tránsito pesado (ADH). Sin embargo, en el análisis preliminar de los datos, la correlación de estas dos variables estuvo por sobre 95%, lo que hizo recomendable trabajar con el tránsito total en la estimación, ya que ambas variables contenían la misma información.

Por lo tanto, las variables independientes no presentan correlaciones estadísticamente significativas entre ellas, lo que permite la aplicación del análisis de regresión y avala la estabilidad de los coeficientes estimados del modelo, lo que podemos observar en la matriz de correlación siguiente, donde ninguna resulta estadísticamente distinta de cero (es decir, no existe multicolinealidad significativa).

Tabla 4.28: Correlaciones entre cada variable para 16 muestras

Variables		(ADL+ADH)	ADT*MMP/1000
(ADL+ADH)	Correlación p-valor		-0,4080 0.1167
ADT*MMP/1000	Correlación p-valor	-0,4080 0.1167	

Esto refuerza la idea, por ejemplo, que la variable tránsito liviano más tránsito pesado (ADL+ADH) es independiente de la variable producto tránsito total por pluviometría media mensual (ADT*MMP/1000).

Los parámetros estimados y sus respectivos estadísticos se presentan en la tabla 4.29.

Tabla 4.29: Variable Dependiente: “c”

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-valor
Constante	-0,00076697	0,000167545	-4,57769	0,0005
ADL	-0,0000080869	0,00000099467	-8,13013	0,0000
ADH	-0,0000080869	0,00000099467	-8,13013	0,0000
ADT*MMP/1000	0,00361885	0,0018859	1,9189	0,0772

Adicionalmente, en la tabla 4.30 se muestra el análisis de varianza que permite rechazar la hipótesis de que todos los parámetros son iguales a cero, y por lo tanto aseverar que al menos uno de los parámetros sería significativamente distinto de cero. Esto sería congruente con los resultados de la tabla 4.29, que muestra que las dos primeras variables del modelo son estadísticamente significativas al 99% de confianza, en tanto la última lo es al 90%.

Tabla 4.30: Análisis de la Varianza

Fuente	Suma cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Cociente F	P-valor
Modelo	0,000165043	2	0,00000267335	49,49	0,0000
Residuo	0,0000118276	13	0,000000054016		
Total (Correl.)	0,0000060489	15			

El ajuste del modelo para describir la relación entre el parámetro “c” y tres variables independientes, queda de la forma siguiente:

$$\hat{c} = -0,001 * (0,76697 + 0,0080869 * ADL + 0,0080869 * ADH - 3,61885 * ADT * MMP/1000)$$

El ajuste obtenido tiene una capacidad de explicar el 86% de las variaciones del parámetro “c” (R^2 ajustado = 0,86), valor que se puede considerar aceptable, dado que mejora los resultados entregados en estudios anteriores.

La Figura 4.5 denota una varianza homoscedástica, al mostrar valores positivos

y negativos de los errores estimados, encontrándose la mayoría relativamente cercanos a cero. No evidenciando un comportamiento sistemático de los errores alrededor de su valor esperado o cero, con una distribución uniforme y similar dispersión. Por tanto, la figura evidencia que no existen indicios de heterocedasticidad en los errores de la estimación, lo que es una condición para la aplicación de los modelos de regresión lineal.

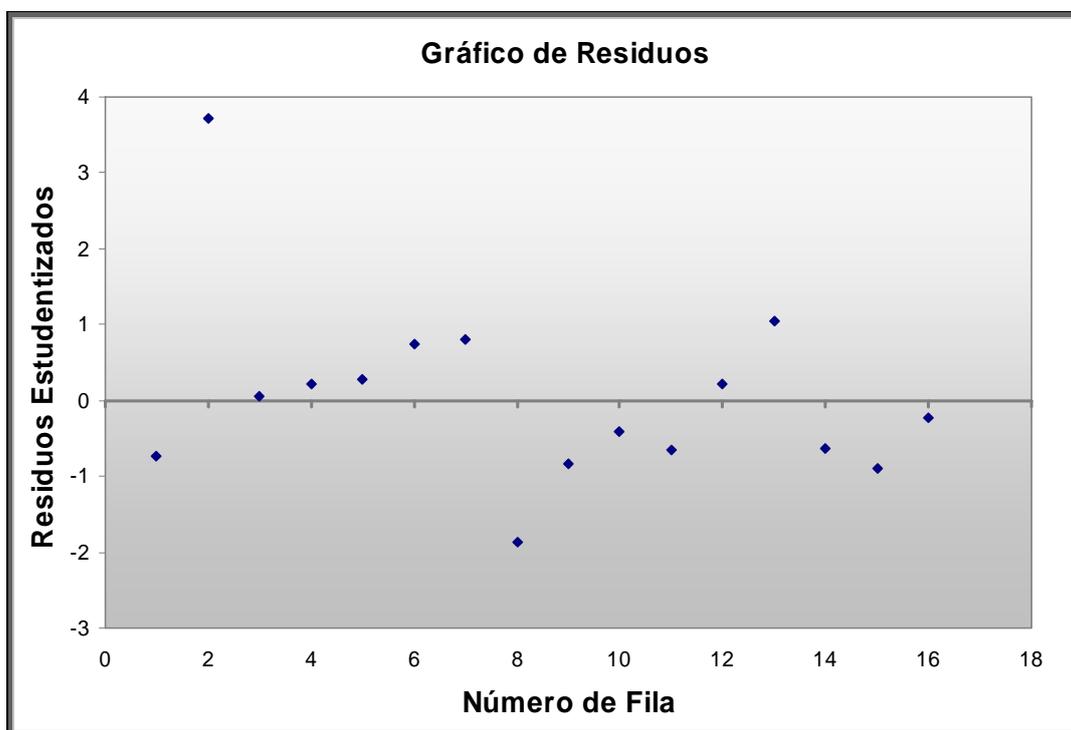


Figura 4.5: Gráfico de residuos – “c”

En atención a lo expuesto, se sugiere adoptar el ajuste propuesto para el parámetro “c”, por adaptarse de mejor forma a las condiciones de los caminos no pavimentados de la Región de Antofagasta.

El resumen de los resultados y valores de terreno utilizados en la búsqueda del parámetro “c” se detallan en la tabla 4.31.

Tabla 4.31: Determinación variable "c"

Tramo	MMP	ADL	ADH	ADT	Parámetro "c"		
					medido	medido	medido
CR1-a	1,43	29	33	62	-0.001111	-0.001111	-0.001111
CR1-b	1,43	30	33	63	-0.000378	-0.000378	-0.000378
CR1-c	1,43	31	33	64	-0.000940	-0.000940	-0.000940
CR2-a	1,43	29	33	62	-0.000898	-0.000898	-0.000898
CR2-b	1,43	29	33	62	-0.000885	-0.000885	-0.000885
CR2-c	0,48	31	34	65	-0.001014	-0.001014	-0.001014
CR7-a	0,48	23	4	27	-0.000781	-0.000781	-0.000781
CR8-a	3,40	20	8	28	-0.001014	-0.001014	-0.001014
CR9-a	3,40	20	8	28	-0.000828	-0.000828	-0.000828
CR7-b	0,48	25	8	33	-0.001059	-0.001059	-0.001059
CR8-b	0,48	22	8	30	-0.001088	-0.001088	-0.001088
CR9-b	2,40	22	8	30	-0.000700	-0.000700	-0.000700
CR16	0,14	58	132	190	-0.001995	-0.001995	-0.001995
CR17	0,14	58	132	190	-0.002337	-0.002337	-0.002337
CR18	0,14	58	132	190	-0.002389	-0.002389	-0.002389
CR19	0,14	58	132	190	-0.002257	-0.002257	-0.002257

Cálculo del parámetro "b"

Con los resultados obtenidos del ajuste del parámetro "c", más los datos medidos en terreno, se calculó el valor de "b", utilizando la forma funcional antes mostrada.

$$\hat{b} = \exp(\hat{c} * (TG_2 - TG_1))$$

El parámetro "c" se obtuvo del resultado de su propio ajuste, en tanto que los días que comprende el período de análisis, corresponde a los datos recolectados en el estudio.

El valor calculado para "b" se detalla en la tabla 4.32.

Tabla 4.32: Valores del parámetro "b"

Tramo	TG1 – TG2	"c" Ajustado	Parámetro "b"		
			Medido	Calculado	Paterson
CR1-a	180	-0.000478	0.81867	0.77637	0.78579
CR1-b	210	-0.000465	0.92374	0.77486	0.75210
CR1-c	420	-0.000452	0.67394	0.68711	0.56154
CR2-a	180	-0.000478	0.85076	0.77637	0.78579
CR2-b	210	-0.000478	0.83047	0.75450	0.75484
CR2-c	420	-0.000678	0.65325	0.56585	0.55845
CR7-a	360	-0.000566	0.75490	0.65699	0.72158
CR8-a	360	-0.000325	0.69406	0.66901	0.72391
CR9-a	360	-0.000325	0.74211	0.66901	0.72391
CR7-b	60	-0.000572	0.93846	0.87539	0.94251
CR8-b	60	-0.000602	0.93681	0.85666	0.94547
CR9-b	60	-0.000393	0.95885	0.87750	0.94556
CR16	60	-0.001269	0.88720	0.80621	0.83656
CR17	60	-0.001269	0.86916	0.80621	0.83656
CR18	60	-0.001269	0.86648	0.80621	0.83656
CR19	60	-0.001269	0.87336	0.80621	0.83656

Cálculo de la progresión de la rugosidad

En análisis de regresión de datos de corte transversal en general, la autocorrelación o correlación serial no sería relevante, ya que no existe una dependencia temporal. Por otra parte, en el presente trabajo se realiza una medición que tiene dos puntos en el tiempo para el mismo camino, medición que solo fue usada para calcular la progresión de la rugosidad, que es un solo dato por punto, por lo tanto sigue siendo de corte transversal. De todas maneras, se estimó el índice de Durbin y Watson para medir autocorrelación y este resultó estar muy cercano a dos (1,96748), indicando la no presencia de autocorrelación serial.

Con el ajuste del parámetro "c" y el cálculo del parámetro "b", se procedió a calcular la progresión de la rugosidad. La forma funcional del modelo está dada por:

$$\hat{RI}_{TG2} = RI_{max} - \hat{b} * (RI_{max} - RI_{TG1})$$

En la tabla 4.33 se detallan los datos utilizados en el cálculo de la progresión de la rugosidad, en ésta podemos observar que la variable estimada (RI_{TG2}), se encuentra lejos de valores negativos, tanto así, que los valores que se obtienen están dentro del rango esperado para la progresión de la rugosidad (en caminos no pavimentados de la región) y de aquellos valores medidos en terreno.

Tabla 4.33: Cálculo de la variable " RI_{TG2} "

Tramo	RI_{max}	"b"		RI_{TG1}	RI_{TG2}		
		Calculado	Paterson		Medido	Paterson	Calculado
CR1-a	7.3	0.84241	0.78579	2.9	3.7	3.8	3.5
CR1-b	9.1	0.84077	0.75210	3.7	4.1	5.0	4.5
CR1-c	12.1	0.74556	0.56154	4.1	6.7	7.6	6.1
CR2-a	7.8	0.84241	0.78579	3.1	3.8	4.1	3.8
CR2-b	10.1	0.81867	0.75484	3.8	4.8	5.3	4.9
CR2-c	13.2	0.61398	0.55845	4.8	7.7	8.5	8.1
CR7-a	7.9	0.71288	0.72158	3.0	4.2	4.4	4.4
CR8-a	8.3	0.72592	0.72391	3.4	4.9	4.8	4.7
CR9-a	9.5	0.72592	0.72391	3.4	5.0	5.1	5.1
CR7-b	8.1	0.94985	0.94251	4.2	4.4	4.4	4.4
CR8-b	8.5	0.92952	0.94547	4.9	5.1	5.1	5.2
CR9-b	9.8	0.95214	0.94556	5.0	5.2	5.3	5.2
CR16	8.0	0.87479	0.83656	2.9	3.5	3.8	3.6
CR17	8.3	0.87479	0.83656	3.7	4.3	4.5	4.3
CR18	8.0	0.87479	0.83656	3.3	3.9	4.0	3.9
CR19	6.8	0.87479	0.83656	3.2	3.6	3.8	3.6

Del análisis de la figura 4.6 se aprecia que los modelos son bastante parecidos y aunque aparentemente mantienen la tendencia en la mayoría de los tramos, el modelo de Paterson entrega valores un tanto superiores a los medidos en terreno y a los calculados con el modelo ajustado. Además se aprecia que el modelo ajustado presenta una buena estimación del comportamiento real.

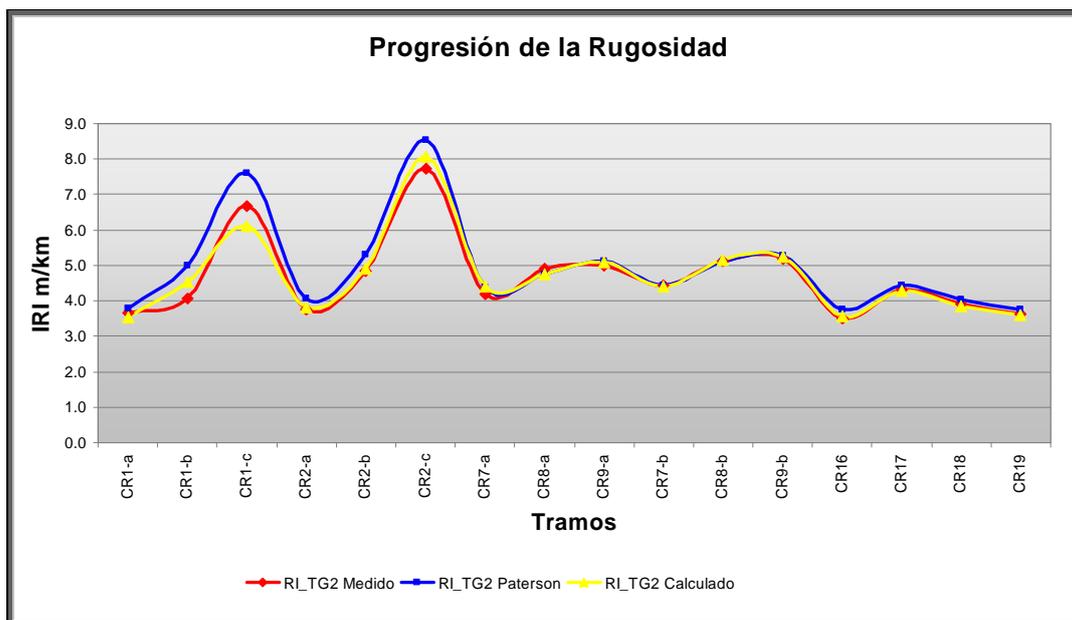


Figura 4.6: Progresión de la Rugosidad

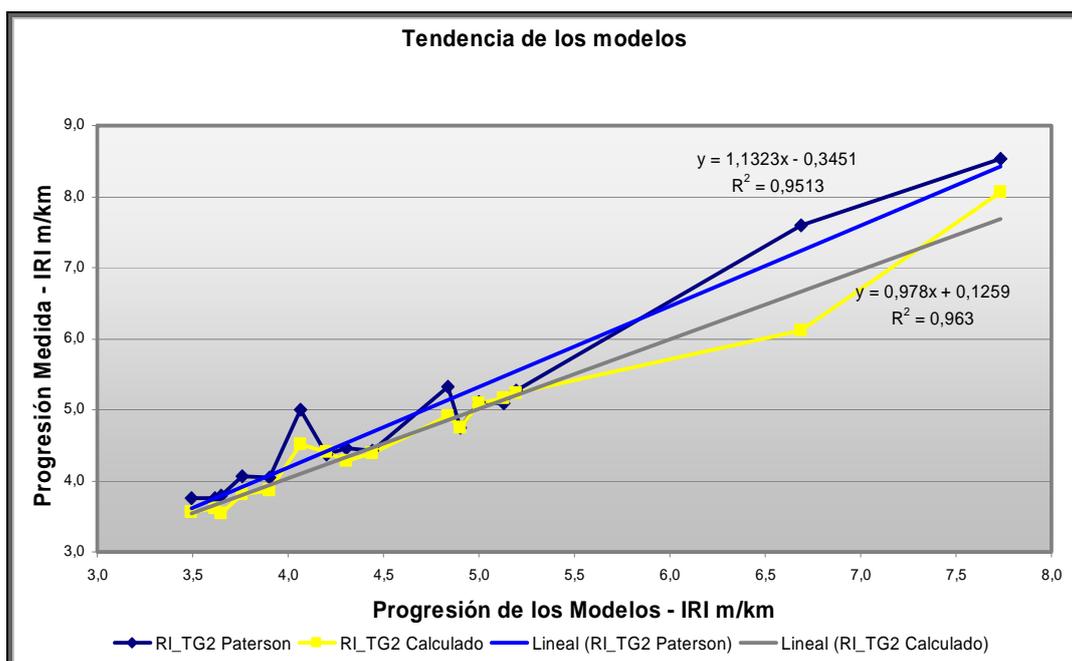


Figura 4.7: Tendencia de los modelos Progresión de RI versus lo medido

En la figura 4.7 podemos apreciar que la tendencia del modelo ajustado tiene una mejor pendiente respecto al modelo de Paterson para Brasil, teniendo un mejor acercamiento a la tangente de 45°, revelando por tanto un ajuste más real a las condiciones y características de los caminos no pavimentados de la Región de Antofagasta.

De los resultados del estudio, se evidencia que el incremento de la rugosidad no es uniforme, lo que queda de manifiesto al realizar una gráfica rugosidad versus tiempo con los datos de los tramos 1 y 2, los cuales tienen más de dos periodos de análisis.

De la figura 4.8 se puede concluir que el incremento de la rugosidad en el tiempo, traza un curva de tendencia es exponencial, observándose un mayor incremento a partir del segundo año de servicio de la vía.

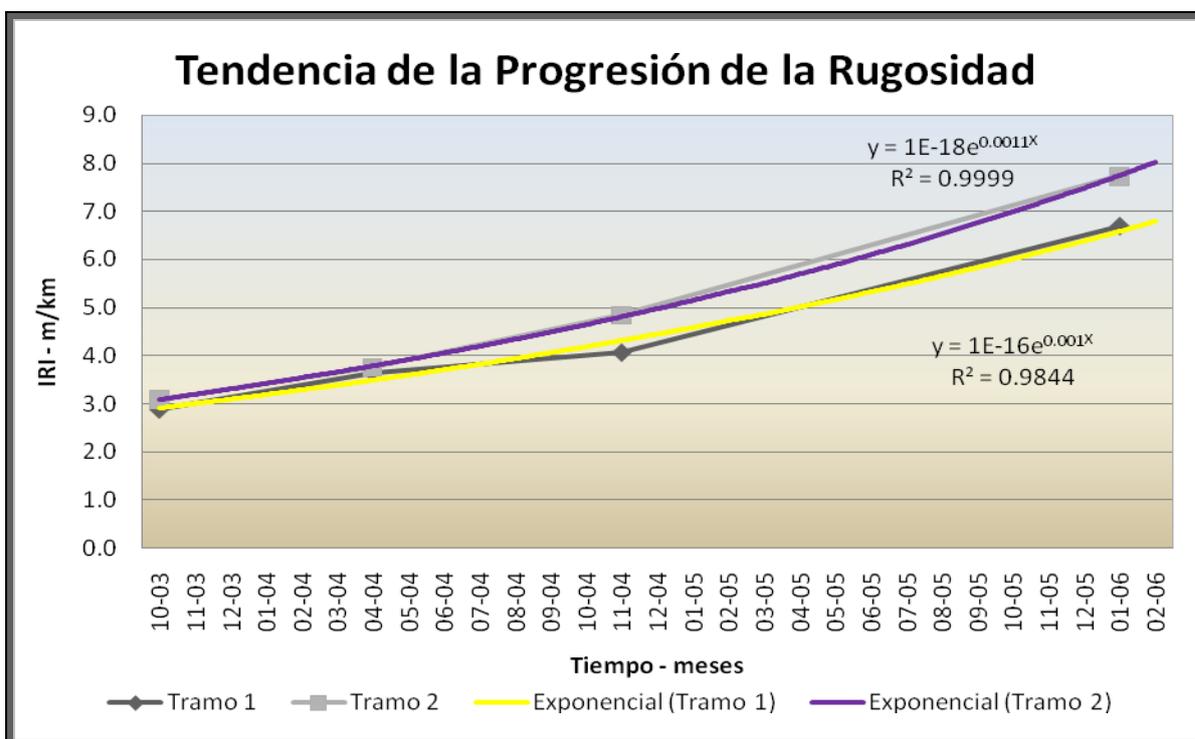


Figura 4.8: Tendencia del incremento de la rugosidad

4.7.3 Ajuste del modelo de Rugosidad Mínima

El modelo de la rugosidad mínima de Parteson para Brasil, corresponde a la cota mínima que la rugosidad puede alcanzar bajo ciertas condiciones granulométricas de la carpeta de rodado de los caminos no pavimentados. Específicamente, es función del tamaño máximo de las partículas que pasan el 95% del material, y de la pendiente de gradación media del material.

Desde el punto de vista de la ingeniería vial, las variables independientes consideradas por Paterson en el estudio de Brasil, para estimar la menor

rugosidad de los caminos no pavimentados, representan una buena estimación, toda vez que al aumentar el tamaño de las partículas de la gradación del material de las carpetas granulares, sería lógico esperar que aumente la irregularidad superficial de éstas, por tanto la gradación del material y el tamaño máximo de éste, son dos buenos predictores de la rugosidad mínima.

El modelo de Paterson para la rugosidad mínima (RI_{\min}) se sintetiza en:

$$\hat{RI}_{\min} = 0,36 * D95 * (1 - 2,78 * MG)$$

Donde:

D95 = Tamaño máximo de la partícula del material, definido como la abertura equivalente de la malla a través de la cual pasa el 95% del material, en mm.

MG = Pendiente de gradación media del material

$$(MG = \min[MGM, (1-MGM), 0,36])$$

La pendiente de gradación media del material es calculada como sigue:

$$MGM = (MG075 + MG425 + MG02)/3$$

$$MG075 = \ln(P075/95) / \ln(0,075/95) \quad \text{si: } D95 > 0,4$$

$$\text{En caso contrario: } MG075 = 0,3$$

$$MG425 = \ln(P425/95) / \ln(0,425/95) \quad \text{si: } D95 > 1,0$$

$$\text{En caso contrario: } MG425 = 0,3$$

$$MG02 = \ln(P02/95) / \ln(2,0/95) \quad \text{si: } D95 > 0,4$$

$$\text{En caso contrario: } MG02 = MG425$$

Donde : MG075 = corresponde al material que pasa la malla #200

MG425 = corresponde al material que pasa la malla #40

MG02 = corresponde al material que pasa la malla #10

Utilizando la forma funcional del modelo original, la expresión se puede representar por:

$$RI_{\min} = K_1 * D95 - K_2 * (D95 * MG) + e$$

Siendo K_i las constantes por determinar y “e” es el error aleatorio que representa todas aquellas otras condiciones que afectan las condiciones del camino y que no son capturadas por el modelo.

El análisis de correlación de las variables del modelo señala que ésta es alta (mayor al 95%) entre las variables tamaño máximo de la partícula del material (D95) y la variable producto tamaño máximo de la partícula del material por pendiente de gradación media del material (D95*MG). Por tanto, se modificó la presentación del algoritmo para evitar los efectos de inestabilidad en los parámetros, producto de la multicolinealidad existente. Para definir la nueva ecuación a estimar, se realizó el siguiente desarrollo algebraico:

$$\hat{RI}_{\min} = B_1 * D95 * (1 - B_2 * MG)$$

$$\hat{RI}_{\min} = B_1 * D95 - B_1 * B_2 * D95 * MG$$

$$\hat{RI}_{\min} = D95 * (B_1 - B_1 * B_2 * MG)$$

Sí : $B_1 = K_1$ y $B_1 * B_2 = K_2$

Luego, reemplazando : $\hat{RI}_{\min} = D95 * (K_1 - K_2 * MG)$

Por lo que la forma a estimar sería:

$$\frac{RI_{\min}}{D95} = K_1 - K_2 * MG + e$$

Siendo K_i las constantes por determinar y “e” es el error aleatorio que

representa todas aquellas otras condiciones que afectan las condiciones del camino y que no son capturadas por el modelo.

Los parámetros estimados y sus respectivos estadísticos se presentan en la tabla 4.34.

Tabla 4.34: Variable Dependiente: “RI_{min} / D95”

Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	P-valor
Constante	0,190201	0,0501554	3,79224	0,0012
MG	-0,43025	0,188539	-2,28202	0,0342

Adicionalmente, en la tabla 4.35 se muestra el análisis de varianza que permite rechazar la hipótesis de que todos los parámetros son iguales a cero, y por lo tanto aseverar que al menos uno de los parámetros del modelo sería significativamente distinto de cero. Esto sería congruente con los resultados de la tabla 4.34, que muestra que la variable del modelo sería estadísticamente significativa al 97% de confianza.

Tabla 4.35: Análisis de la Varianza

Fuente	Suma cuadrados	G.L.	Cuadrado Medio	Cociente F	P-valor
Modelo	0,00455086	1	0,00455086	5,21	0,0342
Residuo	0,0173335	19	0,000912287		
Total (Correl.)	0,0220843	20			

El ajuste del modelo para describir la relación entre “RI_{min} / D95” y la variable independiente, queda de la forma siguiente:

$$\frac{\hat{RI}_{min}}{D95} = 0,190201 - 0,43025 * MG$$

Donde : K₁ = B₁ = 0,190201

$$K_2 = B_1 * B_2 = -0,43025$$

Por tanto : $B_2 = -0,43025/B_1$

$$B_2 = -2,262080641$$

Así, reformulando el algoritmo de RI_{\min} , tenemos:

$$\hat{RI}_{\min} = B_1 * D95 * (1 - B_2 * MG)$$

$$\hat{RI}_{\min} = 0,190201 * D95 * (1 - 2,262080641 * MG)$$

Este modelo tiene una capacidad de explicar el 17,38% de las variaciones de la variable dependiente (R^2 ajustado = 0,1738), lo que sería significativamente mayor al ajuste alcanzado por Paterson para Brasil (R^2 ajustado = 0,11).

La Figura 4.9 denota una varianza homoscedástica, al mostrar valores positivos y negativos de los errores estimados, encontrándose la mayoría relativamente cercanos a cero. No evidenciando un comportamiento sistemático de los errores alrededor de su valor esperado o cero, con una distribución uniforme y similar dispersión. Por tanto, la figura evidencia que no existen indicios de heterocedasticidad en los errores de estimación del modelo, lo que es una condición para la aplicación de los modelos de regresión lineal.

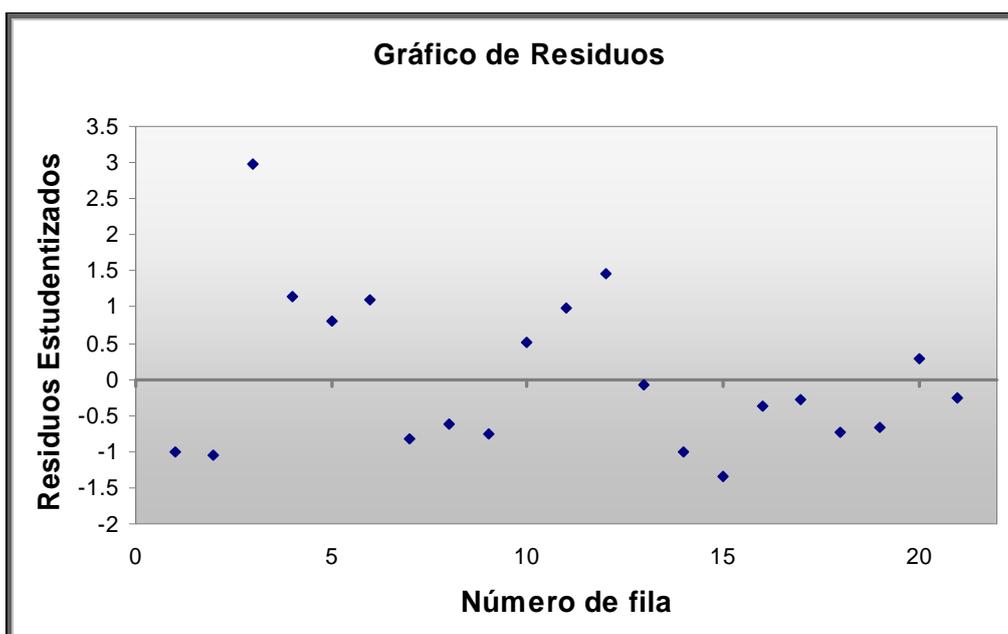


Figura 4.9: Gráfico de residuos - RI_{\min}

En análisis de regresión de datos de corte transversal en general, la autocorrelación o correlación serial no sería relevante, ya que no existe una dependencia temporal. De todas maneras, se estimó el índice de Durbin y Watson para medir autocorrelación y este resultó ser mayor a dos (2,28139), indicando la no presencia de autocorrelación serial.

En la tabla 4.36 se detallan los datos utilizados en el cálculo de la rugosidad mínima. En la cual podemos observar que la variable controlada (RI_{\min} estimada), se encuentra lejos de valores negativos, tanto así, que los valores que se obtienen están dentro del rango esperado para la rugosidad mínima (en caminos no pavimentados de la región) y de aquellos valores levantados en terreno.

Tabla 4.36: Modelo rugosidad mínima

Tramo	MG075	MG425	MG02	MGM	MG	D95	RI_{\min}		
							Medido	Paterson	Ajustado
CR1	0,274	0,233	0,214	0,240	0,240	40	2,3	4,8	3,5
CR2	0,274	0,214	0,195	0,227	0,227	40	2,5	5,3	3,7
CR3	0,252	0,252	0,216	0,240	0,240	25	4,0	3,0	2,2
CR4	0,252	0,252	0,216	0,240	0,240	25	3,0	3,0	2,2
CR5	0,330	0,238	0,231	0,266	0,266	25	2,5	2,3	1,9
CR6	0,330	0,225	0,216	0,257	0,257	25	2,8	2,6	2,0
CR7	0,381	0,272	0,225	0,293	0,293	50	2,0	3,4	3,2
CR8	0,381	0,272	0,225	0,293	0,293	50	2,3	3,4	3,2
CR9	0,381	0,272	0,225	0,293	0,293	50	2,1	3,4	3,2
CR10	0,296	0,300	0,279	0,292	0,292	25	2,0	1,7	1,6
CR11	0,286	0,283	0,262	0,277	0,277	25	2,5	2,1	1,8
CR12	0,279	0,259	0,279	0,272	0,272	20	2,3	1,7	1,5
CR13	0,206	0,200	0,139	0,182	0,182	20	2,2	3,6	2,2
CR14	0,240	0,220	0,182	0,214	0,214	40	2,8	5,8	3,9
CR15	0,233	0,220	0,182	0,212	0,212	40	2,5	5,9	4,0
CR16	0,381	0,307	0,261	0,316	0,316	50	2,2	2,2	2,7
CR17	0,381	0,307	0,261	0,316	0,316	50	2,3	2,2	2,7
CR18	0,381	0,264	0,225	0,290	0,290	50	2,2	3,5	3,3
CR19	0,381	0,264	0,225	0,290	0,290	50	2,3	3,5	3,3
CR20	0,318	0,242	0,269	0,276	0,276	50	4,0	4,2	3,6
CR21	0,274	0,242	0,239	0,252	0,252	50	3,7	5,4	4,1

Del análisis de la figura 4.10 se aprecia que tanto el modelo de Paterson para Brasil, como el modelo ajustado, tienden a sobre estimar la rugosidad mínima. Sin embargo, en aquellos sectores en que el modelo ajustado subestima la rugosidad mínima, este fenómeno puede deberse a que las mediciones fueron realizadas posterior a la puesta en servicio de las vías.

Además, es de recordar que los modelos estiman la rugosidad mínima en función de las características de los materiales (tamaño máximo y gradación granulométrica), no incluyendo la variable tránsito, la cual tendería a elevar el valor de la rugosidad mínima.

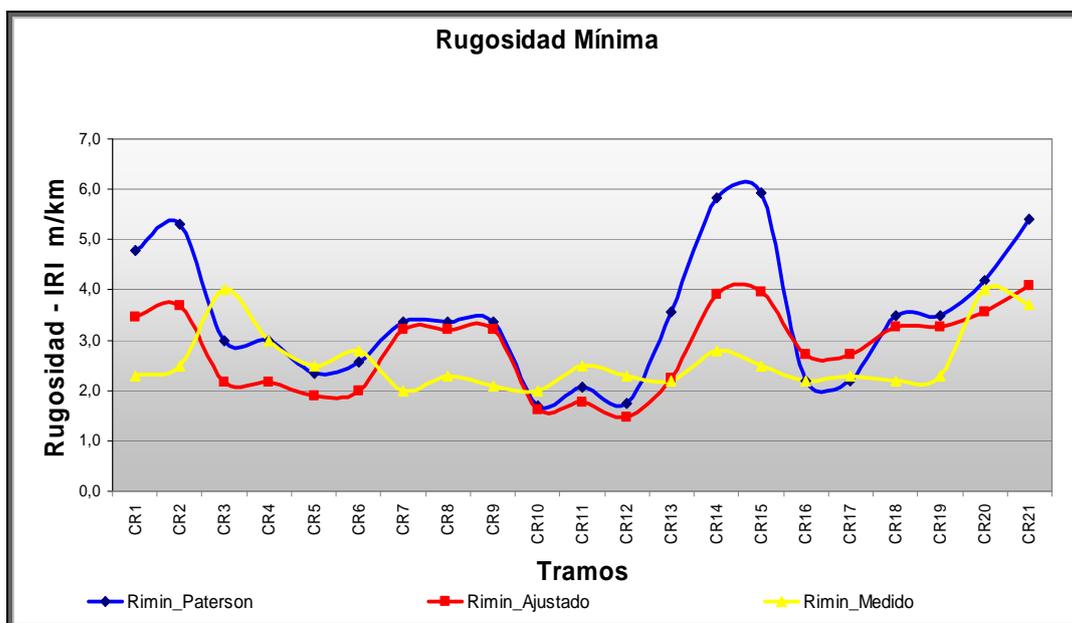


Figura 4.10: Rugosidad Mínima

En la figura 4.11 se apreciar que el modelo de Paterson para Brasil versus el modelo ajustado, sobreestima la rugosidad mínima para igual valor de rugosidad medida en terreno.

Las pendientes para ambos modelos son bajas, lo que reafirma el valor de R^2 ajustado (0,1738) encontrado para la regresión lineal del modelo ajustado.

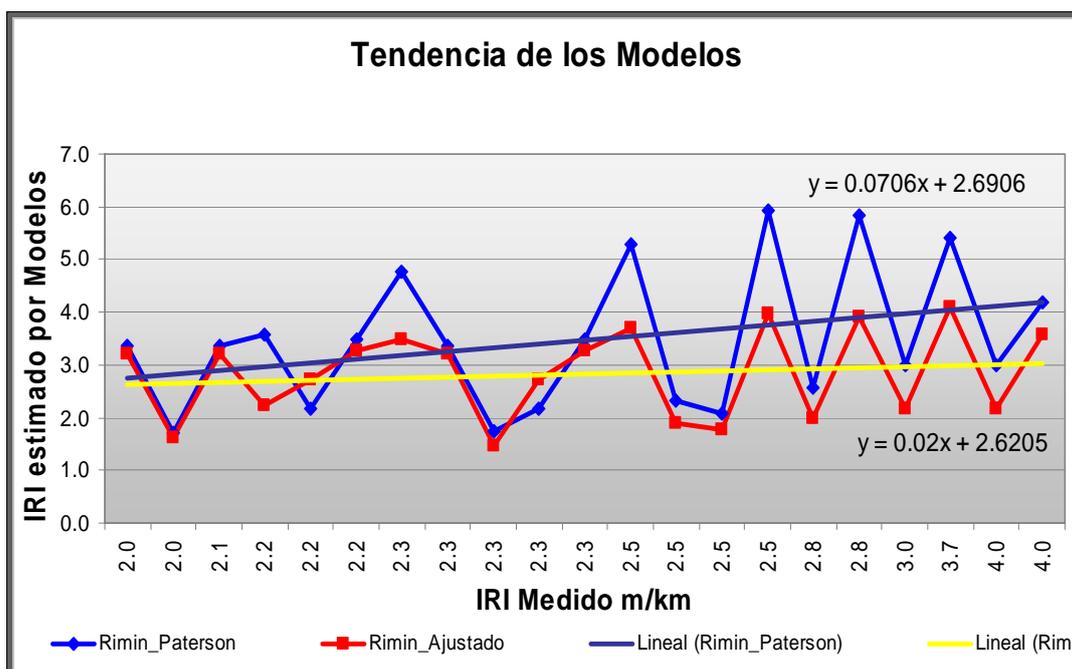


Figura 4.11: Modelo RI_{min} ajustado versus modelo de Paterson

Finalmente, se deduce de lo expuesto que el modelo ajustado tiene un mejor acercamiento a los valores reales de rugosidad mínima, bajo las características propias de la Región desértica de Antofagasta y sus caminos no pavimentados.

4.7.4 Ajuste del modelo de pérdida de material

El recebo es la operación más importante del mantenimiento de un camino no pavimentado, equivalente a la importancia de recubrir un camino pavimentado, su frecuencia requerida es una decisión importante de la planificación.

La pérdida de material se define como el cambio de espesor de la carpeta de grava durante un período de tiempo y se usa para estimar cuando el espesor de la carpeta granular ha disminuido a un nivel dónde el recebo es necesario.

Paterson identificó tres factores importantes que influyen en la pérdida de material de la carpeta granular: el tráfico, las propiedades del material (material fino e índice de plasticidad) y la geometría del camino (grado de curvatura y pendiente). La expresión del modelo de Paterson para Brasil, contempla dentro de sus principales variables independientes, la precipitación mensual, el volumen de tránsito, la geometría del camino y las características geotécnicas

de la carpeta granular.

Este modelo no fue ajustado por las siguientes razones:

- Una de los motivos más importantes, es que la Dirección de Vialidad de Chile no tiene contemplado operaciones de recebo en los caminos no pavimentados del programa “Caminos Básico 5000”. Programa que consiste en el mejoramiento de cinco mil kilómetros de caminos con carpetas granulares estabilizadas con diferentes materiales, dependiendo la región del país. Que para el caso de la región de Antofagasta, estos fueron estabilizados con bischofita.
- Otro factor que no permitió ajustar el modelo fue la falta de una base de dato histórica (marco estadístico) que permitiera estimar el modelo.
- No existe un método confiable para levantar datos de terreno. Las formas originales de medir la pérdida de material es a través de calicatas o por un levantamiento topográfico. Métodos de considerable aleatoriedad, lo que conlleva a sumar errores importantes por medición.
- Sin embargo, se realizaron mediciones en algunos caminos comprendidos en el presente estudio y que se insertan en el programa “Caminos Básico 5000”, para desarrollar una estimación del modelo, las que resultaron infructuosas ya que la gran cantidad de variables independientes del modelo no permite realizar regresiones con muestras pequeñas.

En definitiva, este modelo no se ajusto por las razones expuesta y por tanto debiera ser considerado en un próximo estudio. Es recomendable en primer lugar, diseñar un método científico más confiable para realizar las mediciones, y en segundo lugar, levantar una cantidad de datos en directa relación con el número de variables independiente, que en definitiva definen los grados de libertad del análisis estadístico del modelo.