

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCION
MAESTRÍA EN INGENIERIA VIAL



Proyecto:
Modelo para mejorar la regularidad superficial mediante la técnica de cepillado

Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Máster en Ingeniería Vial grado profesional de Maestría

Realizado por:
Luis Chavarría Bravo

Cartago, agosto de 2018

DEDICATORIA

*De manera especial dedico este esfuerzo
a mi esposa Jacqueline Muñoz, por su
apoyo incondicional.*

*A mis hijos Melanny, Luis David y
mi nieta Camila; quienes son el motor
que me ha impulsado.*

*A mis padres que, aunque ya no los
tengo a mi lado, sé que me acompañan
en todo momento.*

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento al Ing. Pedro Castro, compañero, maestro y amigo por más de 15 años.

Al Ing. Amed Aldi por su excelente trabajo en LGC y su colaboración en el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades	2
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. Alcances y limitaciones.....	5
1.4.1. Limitaciones	5
1.4.2. Alcances	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Definición del Índice de Regularidad Internacional.....	6
2.2. Esquema del modelo de Cuarto de coche.....	7
2.3. Conceptos asociados a la definición y medición del IRI.....	9
2.4. Definición de sector homogéneo y singularidad.	11
2.5. Descripción del Perfilómetro laser inercial RTP-300.....	12
2.6. Procedimiento de verificación de los dispositivos y sensores del Perfilómetro.....	14
2.6.1. Comprobaciones del equipo	14
2.6.2. Montaje.....	14
2.6.3. Selección de la superficie para la comprobación.....	15
2.6.4. Rutinas de comprobación	16
2.6.5. Frecuencia de las comprobaciones	18
2.6.6. Comprobación del dispositivo de medición de distancia (odómetro)	19
2.6.7. Comprobación del sensor de pendiente.....	21
2.6.8. Comprobación estática de los acelerómetros	25
2.6.9. Comprobación de los sensores láser.....	27
2.7. Prueba de rebote realizada con el programa SSI Profiler.....	31
2.8. Reporte de las comprobaciones	33
2.9. Recopilación de datos de campo.	35
CAPÍTULO III: EQUIPO DE CEPILLADO DE PAVIMENTOS.....	38
3.1. Funcionamiento general del equipo de cepillado.	38
3.2. Operación del equipo de cepillado.	40
3.3. Mantenimiento del equipo de cepillado.....	41
Capítulo IV: Metodología de Análisis.....	43

4.1. Modelo MCP para mejorar el IRI a partir del cepillado.....	43
4.2. Análisis de datos para elaborar el modelo de cepillado MCP.....	43
4.2.1. Característica de los datos de IRI	43
4.2.2. Tramos de prueba de cepillado para las diferentes condiciones del perfil	50
4.3. Análisis estadístico de los datos obtenidos para los tres tratamientos de cepillado	51
Capítulo V: Análisis de Resultados	56
5.1. Regresión lineal para establecer una función de cepillado para MCP	56
5.2. Plantilla de la herramienta MCP (Modelo de Cepillado de Pavimento)	58
5.3. Ejemplo plan de cepillado con MCP.	66
5.4. Comparación entre plan de cepillado obtenido mediante el modelo MCP y la herramienta PROVAL.	71
5.5. Elaboración de un plan de cepillado a partir de Proval.	71
5.6. Comparación estadística entre plan de cepillado con MCP y Proval	81
Capítulo VI: Estado del arte en Costa Rica	87
6.1. Costo del área cepillada para un proyecto en Costa Rica.....	87
6.2. Ahorro con el cepillado de pavimentos en mantenimiento vial	87
6.3. Comparación de la normativa nacional de cepillado de pavimentos con la norma chilena.....	89
6.3.1. Norma Chilena.....	90
6.3.2 Norma de Costa Rica.....	92
6.4. El micro fresado para mejorar el perfil del pavimento.....	97
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
7.1. Conclusiones.....	101
7.2. Recomendaciones	103
BIBLIOGRAFIA	104
ANEXOS	107
Anexo 1: Teorema de Límite Central	107
Anexo 2: Precios Unitarios para perfilado y carpeta asfáltica.....	113
Anexo 3: Cotización para cepillado, Proyecto Cañas - Liberia.....	115
Anexo 4: Comparación entre programa de cepillado obtenido con PROVAL Y MCP.	116
Anexo 5: Código Fuente de MCP	136

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estadísticas descriptivas de los 200 datos de MRI (Minitab18, 2017).....	46
Tabla 2 Estadísticas descriptivas para los diferentes tamaños de muestra. (Minitab18, 2017)	48
Tabla 3 Datos de Valor p para los diferentes tamaños de muestra. (Minitab18, 2017)	48
Tabla 4 Datos de MRI inicial y final para los diferentes tratamientos. (Fuente: El autor)...	50
Tabla 5 Prueba de homogeneidad de varianzas para los tres tratamientos. (Minitab18, 2017)	52
Tabla 6 Prueba Anova de un Factor para los tres tratamientos. (Minitab18, 2017).....	53
Tabla 7 Regresión lineal entre IRI inicial y el IRI de tratamiento. (Minitab18, 2017)	56
Tabla 8 Datos para el ejemplo Uso de MCP	67
Tabla 9 Datos de longitud de cepillado y MRI para 20 perfiles a partir de MCP y Proval..	81
Tabla 10 Estadísticas de la Prueba T-Student medias de MRI (Minitab18, 2017)	82
Tabla 11 Resultado Prueba T-Student para medias de MRI (Minitab18, 2017)	82
Tabla 12 Análisis del ahorro para cepillado de pavimento flexible	89
Tabla A- 1 Datos de 1+000 a 1+500 Sección Río Potrero – Río Urraca.....	108
Tabla A- 2 Datos de 1+500 a 2+000 Sección Río Potrero – Río Urraca.....	108
Tabla A- 3 Datos de 2+000 a 2+500 Sección Río Potrero – Río Urraca.....	110
Tabla A- 4 Datos de 2+500 a 3+000 Sección Río Potrero – Río Urraca.....	110
Tabla A- 5 Datos de 3+000 a 3+500 Sección Río Potrero – Río Urraca.....	112
Tabla A- 6 Datos de 3+500 a 4+000 Sección Río Potrero – Río Urraca.....	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Modelo del cuarto de carro (Badilla, 2009).....	8
Ilustración 2 Variación en el valor del IRI según la longitud de evaluación. (Badilla, 2009)	11
Ilustración 3 Ejemplos de singularidad (Salazar, 2015).....	12
Ilustración 4 Ejemplo ilustrativo de las partes del equipo. (LGC, 2016)	13
Ilustración 5 Perfilómetro RTP-300 (LGC, 2016).....	14
Ilustración 6 Esquema de distancia de separación entre sensores láser. (LGC, 2016).....	15
Ilustración 7 Nivelación de equipo. (LGC, 2016)	15
Ilustración 8 Interface del programa SSI Profiler (LGC, 2016).....	16
Ilustración 9 Ventana de interface de Collect Data. (LGC, 2016)	17
Ilustración 10 Funcionalidad del Sistema de Perfil. (LGC, 2016)	17
Ilustración 11 Ventana del botón Calibration. (LGC, 2016).....	18
Ilustración 12 Calibración>Distancia de Calibración (LGC, 2016).....	20
Ilustración 13 Comprobación del dispositivo de medición de distancia (LGC, 2016)	20
Ilustración 14 Reemplazo de la distancia recorrida por la longitud real del segmento. (LGC, 2016).....	21
Ilustración 15 Creación de un archivo nuevo. (LGC, 2016)	21
Ilustración 16 Inclinómetro y base (LGC, 2016).....	22
Ilustración 17 Ventana del programa: Inclinometer>Inclinometer Calibration (LGC, 2016)	22
Ilustración 18 Ingreso de ángulo de la base del inclinómetro. (LGC, 2016).....	23
Ilustración 19 Mensaje de comprobación exitosa del inclinómetro (LGC, 2016).....	23
Ilustración 20 Ventana de comprobación del Pitch. (LGC, 2016)	24
Ilustración 21 Mensaje del programa indicando la rotación del inclinómetro (LGC, 2016)	24
Ilustración 22 Comprobación exitosa del Pitch (LGC, 2016)	25
Ilustración 23 Montaje del acelerómetro y láser. (LGC, 2016).....	26
Ilustración 24 Módulo del programa para la comprobación de los acelerómetros. (LGC, 2016).....	26
Ilustración 25 Comprobación exitosa del acelerómetro. (LGC, 2016).....	27
Ilustración 26 Placa Base y bloque de medición con dos incrementos en altura. (LGC, 2016).....	27
Ilustración 27 Ventana del programa “Calibration>Laser Verification” (LGC, 2016).....	28
Ilustración 28 Opciones para comprobación de láser. (LGC, 2016)	28
Ilustración 29 Selección de tipo de sensor láser. (LGC, 2016)	29
Ilustración 30 Ventana del programa “Calibration>Laser Verification” y selección de unidades (LGC, 2016)	29
Ilustración 31 Comprobación de la altura del láser con la placa base y los bloques. (LGC, 2016).....	30
Ilustración 32 Cuadro de diálogo: ¿hay otro bloque por medir? (LGC, 2016)	30
Ilustración 33 Ventana del programa para la comprobación de la prueba de rebote. (LGC, 2016).....	31
Ilustración 34 Ventana del programa informando procedimiento para prueba de rebote. (LGC, 2016)	32
Ilustración 35 Prueba de rebote estática. (LGC, 2016).....	32

Ilustración 36 Inicio para la prueba de rebote dinámica. (LGC, 2016)	33
Ilustración 37 Obtener el reporte de las verificaciones internas. (LGC, 2016)	34
Ilustración 38 Reporte de verificaciones. (LGC, 2016).....	34
Ilustración 39 Programa de colección de datos. (LGC, 2016).....	35
Ilustración 40 Finalización de la colección de datos. (LGC, 2016)	36
Ilustración 41 Nombramiento de eventos marcados. (LGC, 2016).....	37
Ilustración 42 Primeros equipos de cepillado que existieron.	38
Ilustración 43 Rodillo de cepillado (EMIN, s.f.).....	39
Ilustración 44 Esquema equipo de cepillado (EMIN, s.f.)	39
Ilustración 45 Máquina de cepillado (EMIN, s.f.).....	40
Ilustración 46 Cobertor del sistema de cepillado (Fuente: LGC).....	41
Ilustración 47 Equipo de trabajo de cepillado (EMIN, s.f.)	41
Ilustración 48 Dureza de agregados (EMIN, s.f.).....	42
Ilustración 49 Datos de MRI Sección Pte. Río Potrero – Pte. Río Urraca Lado Derecho sobre Carril Externo Proyecto Cañas – Liberia de 0+000 a 0+500 (Fuente: LGC)	44
Ilustración 50 Datos de MRI Sección Pte. Río Potrero – Pte. Río Urraca Lado Derecho sobre Carril Externo Proyecto Cañas – Liberia de 0+500 a 1+000 (Fuente: LGC)	45
Ilustración 51 Distribución de los 200 datos de MRI (Minitab18, 2017)	46
Ilustración 52 Histograma de 200 datos de MRI (Minitab18, 2017)	47
Ilustración 53 Prueba de Normalidad para n=2. (Minitab18, 2017).....	49
Ilustración 54 Prueba de Normalidad para n=4. (Minitab18, 2017).....	49
Ilustración 55 Prueba de Normalidad para n=5. (Minitab18, 2017).....	49
Ilustración 56 Condiciones del perfil. (LGC, 2016).....	50
Ilustración 57 Intervalos de confianza. (Minitab18, 2017)	52
Ilustración 58 Intervalos de confianza para la media de los Tratamientos. (Minitab18, 2017)	54
Ilustración 59 Intervalos de confianza para diferencia de medias entre tratamientos. (Minitab18, 2017).....	54
Ilustración 60 Gráfica de regresión lineal. (Minitab18, 2017)	57
Ilustración 61 Condición de residuos para regresión lineal. (Minitab18, 2017)	57
Ilustración 62 Hoja principal del Programa MCP (Modelo Cepillado de Pavimentos)	58
Ilustración 63 Datos de entrada para las variables de regresión lineal.	58
Ilustración 64 Arreglo de los datos en Excel para importarlos a MCP	59
Ilustración 65 Datos cargados en MCP	60
Ilustración 66 Descripción de la columna “Cumple” del MCP	60
Ilustración 67 Función de Cepillado del MCP	61
Ilustración 68 Marcador para optimizar en MCP	62
Ilustración 69 Botón Cepillar S/N	62
Ilustración 70 Proceso de Optimización en MCP.....	63
Ilustración 71 Datos finales de Optimización en MCP.	64
Ilustración 72 Selección del IRI de la Fila 4 por medio de Cepillar S/N	65
Ilustración 73 Eliminación de la selección en Cepillar S/N para la Fila 4	65
Ilustración 74 Longitud de cepillado y su porcentaje respecto al total	66
Ilustración 75 Aplicación de función de cepillado en MCP	67
Ilustración 76 Aplicación de OPTIMIZACION en MCP.....	68
Ilustración 77 Comparación datos de MCP con el perfil. (Excel, 2016).....	68
Ilustración 78 Cambios en plan de cepillado a partir del perfil.....	69

Ilustración 79 Comparación con el perfil para decidir sobre el plan de cepillado. (Excel, 2016).....	69
Ilustración 80 Plantilla final para el Plan de Cepillado. (Excel, 2016)	69
Ilustración 81 Mensaje de MCP cuando no se cumple con la norma.....	70
Ilustración 82 Caso en que no se cumple con la norma y existen subtramos para seleccionar	71
Ilustración 83 Archivo con extensión. .erd para exportar a Proval. (Proval.3.61, 2015)	72
Ilustración 84 Perfil exportado a Proval. (Proval.3.61, 2015).....	72
Ilustración 85 Proceso de selección del subtramo en Editor. (Proval.3.61, 2015)	73
Ilustración 86 Extracción del subtramo para analizar el proceso de cepillado. (Proval.3.61, 2015).....	73
Ilustración 87 Perfil final de 100 metros para análisis. (Proval.3.61, 2015)	74
Ilustración 88 Módulo SAM de Proval. (Proval.3.61, 2015)	75
Ilustración 89 Opción Navigate en Proval. (Proval.3.61, 2015).....	75
Ilustración 90 Datos de entrada en Función Grinding de Proval. (Proval.3.61, 2015).....	76
Ilustración 91 Función Auto Grind en Proval. (Proval.3.61, 2015)	76
Ilustración 92 Tramos seleccionados por Proval para cepillar. (Proval.3.61, 2015).....	77
Ilustración 93 Longitud de cepillado según Proval. (Proval.3.61, 2015)	77
Ilustración 94 Función para aplicar las secciones por cepillar. (Proval.3.61, 2015).....	77
Ilustración 95 Análisis de tramos cortos continuos sin cepillar (Proval.3.61, 2015)	78
Ilustración 96 Análisis de tramos cortos continuos después de aplicar el cepillado (Proval.3.61, 2015)	78
Ilustración 97 Análisis de tramos largos continuos sin cepillar. (Proval.3.61, 2015)	79
Ilustración 98 Análisis de tramos largos continuos luego del cepillado. (Proval.3.61, 2015)	79
Ilustración 99 Análisis de tramos de intervalo fijo. (Proval.3.61, 2015).....	80
Ilustración 100 MRI antes y después del proceso de cepillado y la proyección de los perfiles. (Proval.3.61, 2015)	80
Ilustración 101 Gráfica de intervalos para MRI de ambos métodos (Minitab18, 2017).....	82
Ilustración 102 Intervalos de confianza para análisis de varianza de MRI para ambos métodos. (Minitab18, 2017)	83
Ilustración 103 Prueba F para varianzas de MRI (Minitab18, 2017)	83
Ilustración 104 Prueba de normalidad datos de longitud cepillado con MCP (Minitab18, 2017).....	84
Ilustración 105 Prueba de normalidad datos de longitud cepillado con Proval (Minitab18, 2017).....	84
Ilustración 106 Intervalos de confianza para longitud de cepillado de ambos métodos (Minitab18, 2017).....	85
Ilustración 107 Prueba T-Student para medias de longitud de cepillado (Minitab18, 2017).....	85
Ilustración 108 Estadísticas descriptivas prueba F para longitud de cepillado (Minitab18, 2017).....	86
Ilustración 109 Prueba F para varianzas de longitud de cepillado (Minitab18, 2017).....	86
Ilustración 110 Intervalos de confianza de Prueba F para longitud de cepillado (Minitab18, 2017).....	86

Ilustración A- 1 Licencia de Minitab para LGC Ingeniería.	107
Ilustración A- 2 Datos de 1+000 a 2+000 No normales.....	109
Ilustración A- 3 Datos de 1+000 a 2+000 normales.....	109
Ilustración A- 4 Datos de 2+000 a 3+000 No normales.....	111
Ilustración A- 5 Datos de 2+000 a 3+000 normales.....	111
Ilustración A- 6 Datos de 3+000 a 4+000 No normales.....	113
Ilustración A- 7 Datos de 3+000 a 4+000 normales.....	113
Ilustración A- 8 Salida de datos MCP Tramo 1	116
Ilustración A- 9 Salida de datos Proval Tramo 1	116
Ilustración A- 10 Salida de datos MCP Tramo 2	117
Ilustración A- 11 Salida de datos Proval Tramo 2	117
Ilustración A- 12 Salida de datos MCP Tramo 3	118
Ilustración A- 13 Salida de datos Proval Tramo 3	118
Ilustración A- 14 Salida de datos MCP Tramo 4	119
Ilustración A- 15 Salida de datos Proval Tramo 4	119
Ilustración A- 16 Salida de datos MCP Tramo 5	120
Ilustración A- 17 Salida de datos MCP Tramo 5	120
Ilustración A- 18 Salida de datos MCP Tramo 6	121
Ilustración A- 19 Salida de datos MCP Tramo 6	121
Ilustración A- 20 Salida de datos MCP Tramo 7	122
Ilustración A- 21 Salida de datos Proval Tramo 7	122
Ilustración A- 22 Salida de datos MCP Tramo 8	123
Ilustración A- 23 Salida de datos MCP Tramo 8	123
Ilustración A- 24 Salida de datos MCP Tramo 9	124
Ilustración A- 25 Salida de datos MCP Tramo 9	124
Ilustración A- 26 Salida de datos MCP Tramo 10	125
Ilustración A- 27 Salida de datos Proval Tramo 10	125
Ilustración A- 28 Salida de datos MCP Tramo 11	126
Ilustración A- 29 Salida de datos Proval Tramo 11	126
Ilustración A- 30 Salida de datos MCP Tramo 12	127
Ilustración A- 31 Salida de datos Proval Tramo 12	127
Ilustración A- 32 Salida de datos MCP Tramo 13	128
Ilustración A- 33 Salida de datos Proval Tramo 13	128
Ilustración A- 34 Salida de datos MCP Tramo 14	129
Ilustración A- 35 Salida de datos Proval Tramo 14	129
Ilustración A- 36 Salida de datos MCP Tramo 15	130
Ilustración A- 37 Salida de datos Proval Tramo 15	130
Ilustración A- 38 Salida de datos MCP Tramo 16	131
Ilustración A- 39 Salida de datos Proval Tramo 16	131
Ilustración A- 40 Salida de datos MCP Tramo 17	132
Ilustración A- 41 Salida de datos MCP Tramo 17	132
Ilustración A- 42 Salida de datos MCP Tramo 18	133
ilustración A- 43 Salida de datos Proval Tramo 18.....	133
Ilustración A- 44 Salida de datos MCP Tramo 19	134
Ilustración A- 45 Salida de datos Proval Tramo 19	134
Ilustración A- 46 Salida de datos MCP Tramo 20	135
Ilustración A- 47 Salida de datos Proval Tramo 20.....	135

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En 1982, bajo la promoción del Banco Mundial y con el objetivo de unificar los parámetros que se utilizaban en diferentes países para medir la regularidad superficial de los pavimentos, se realizó en Brasil, el proyecto Experimento Internacional de la Rugosidad de la Carretera, “International Road Roughness Experiment” (IRRE); en el que participaron equipos de investigación de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica. En el proyecto se realizó la medición controlada de la regularidad superficial de pavimentos para vías bajo diferentes condiciones y con una variedad de instrumentos y métodos, de donde se seleccionó un parámetro de medición de la regularidad superficial denominado Índice de Regularidad Internacional (en adelante IRI, International Roughness Index). Con este modelo definido, el concepto de IRI se materializa como la representación de un modelo matemático, que simula el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de coche “Reference Quarter Car Simulation”), al transitar por una determinada longitud del perfil de carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h. Las unidades en las que se mide este valor son: mm/km o m/km. (Badilla, 2009)

Este índice a nivel mundial se ha constituido en un parámetro de evaluación y aceptación de obras viales, principalmente donde los Bancos generan empréstitos a los diferentes países que requieren infraestructura vial, de los que Costa Rica no es la excepción. De tal forma que surge el interés de no solo evaluar el IRI, sino de cómo recuperarlo una vez que la superficie de ruedo de un pavimento, ya sea rígido o flexible, entra en servicio, pues el contratista de un proyecto vial se puede ver sometido a una multa de cientos de miles de dólares, o a la reposición de algún tramo de la vía por incumplimientos en este importante parámetro.

Una técnica para mejorar la condición superficial de un pavimento es mediante el cepillado (“diamond grinding”), procedimiento que consiste en el desgaste de una pequeña capa de la superficie del concreto hidráulico o mezcla asfáltica (2 a 6 mm de espesor), mediante un cabezal compuesto por alrededor de 200 discos de corte diamantados paralelos. La textura final de la superficie resulta en un ligero texturizado.

Este proyecto tiene como propósito, definir de forma clara y ordenada los requerimientos necesarios, a fin establecer un modelo para mejorar la regularidad superficial obtenida por medio del Índice de Regularidad Internacional (IRI), a partir de la técnica de cepillado para un pavimento, sea este flexible o rígido. Este modelo obedece a la necesidad que se presenta actualmente en proyectos viales, donde la valoración de este índice forma parte del establecimiento de penalizaciones a las empresas contratistas; principalmente si no existe una definición para tal efecto en las especificaciones contractuales.

Para tal efecto, este proyecto se basó en las mediciones realizadas durante la construcción del proyecto: Cañas – Liberia, concluido en setiembre del año 2016.

1.1. Generalidades

El cepillado de un pavimento es el proceso de eliminación de una capa delgada de su parte superior, mediante el uso de una pila de cuchillas circulares separadas a intervalos regulares y relativamente pequeños. La acción de rotación del conjunto cilíndrico produce una superficie con una ligera macrotextura. (Buddhavarapu, 2013) . Expertos chilenos describen el efecto en el pavimento de esta forma: *“El resultado inmediato del Cepillado de Pavimentos es una mejora significativa en la suavidad del pavimento; macrotextura superficial; resistencia al deslizamiento; la seguridad y reducción de ruido”*. A su vez, se proporciona al pavimento un importante incremento de su vida útil, debido a la disminución de las cargas dinámicas o de impacto producto de los rebotes de los vehículos al transitar, por sobre los resaltes o depresiones del pavimento. Como se le otorga textura al pavimento, el cepillado mejora la capacidad de adherencia de los neumáticos que, sumado al mejoramiento del drenaje del agua superficial, disminuye el hidroplaneo, lo que se traduce en una menor cantidad de accidentes en las vías. Se encontró, en un proyecto reciente en Estado Unidos, que al disminuir el IRI en un 40%, luego de la aplicación del cepillado, la tasa de accidentes disminuyó en un 15%.

Como ha expresado: *“El cepillado de pavimentos se encuentra ampliamente difundido en los Estados Unidos, donde en promedio más de 12 millones de metros cuadrados de pavimento se pulen cada año. Estudios efectuados a nivel federal en ese país, han demostrado que los pavimentos de concreto hidráulicos cepillados brindan en promedio una vida útil adicional de 14 años antes de requerir algún otro tratamiento”*. Por su parte, el primer proyecto de pulido se efectuó en el año 1965 en una sección de la Autopista San Bernardino al este de Los Ángeles, California, que había sido construida en el año 1946 como parte de la mítica Ruta 66. El cepillado del pavimento fue la única intervención llevada a cabo en el proyecto y permitió un período de servicio adicional de 19 años. Luego se volvió a implementar esta técnica en dos oportunidades (1984, y 1997). Pasados más de 65 años desde su construcción, este pavimento sigue aun prestando servicio a más de 200.000 vehículos por día.

En Suramérica, esta técnica se comenzó a emplear en Chile a partir del año 1999, donde la primera obra realizada fue una sección de la Avenida Kennedy de la ciudad de Santiago, en la cual se aplicó el pulido con discos diamantados a una sección de pavimento de hormigón cuyo índice de rugosidad (IRI) estaba en el orden de 7.000 a 8.000 mm/km, en tanto que, mediante la aplicación de esta técnica, la rugosidad del pavimento fue reducida a 2.000 mm/km. Además, esta técnica se encuentra muy difundida en Brasil, en tanto que en Argentina como en Uruguay ya se han registrado las primeras experiencias de aplicación en proyectos específicos. Debido a las excelentes condiciones de rugosidad que se alcanzan con esta metodología, y a las mejores características de textura que permiten lograr excelentes índices de fricción con baja generación de ruido neumático-calzada, en algunos estados de los EEUU, se comenzó a considerar el empleo del pulido con discos diamantados para el texturizado final, en pavimentos de concreto nuevos”.

Se reconocen 3 tipos de aplicaciones de esta técnica: 1- De Largo plazo: este tipo de aplicación corresponde principalmente a aquellos pavimentos que presentan tanto problemas

de rugosidad como de fricción. De acuerdo con la experiencia internacional, el pulido de un pavimento de hormigón que presenta una adecuada condición estructural, permitirá incrementar su vida útil como mínimo entre 8 a 10 años. 2- De Corto plazo: Si bien no se encuentra dentro de lo estrictamente recomendable para esta técnica, existen antecedentes de aplicación del pulido en pavimentos que experimentan inconvenientes estructurales, con el objetivo principal de restaurar las condiciones de lisura y de seguridad de la vía. De esta manera se busca extender la vida en servicio y demorar la necesidad de aplicación de una rehabilitación mayor o reconstrucción. 3- Localizada: En ocasiones esta técnica puede aplicarse para corregir fallas puntuales que pudiera presentar un proyecto determinado, adecuando la condición del sector a lo requerido por las especificaciones.

En lo concerniente al costo de la aplicación de esta técnica, Departamentos de Transporte en Estados Unidos han encontrado que el costo del cepillado es generalmente menor que el costo de una capa de concreto asfáltico. Gran parte de los ahorros de costos se pueden atribuir al hecho de que el cepillado sólo tendría que aplicarse a los carriles que necesitan el tratamiento correctivo.

En Europa, la técnica de cepillado es utilizada con frecuencia pues su infraestructura vial implica un desarrollado sistema de administración de pavimentos, por ejemplo, en España se ha aplicado, a partir del año 2013, la normativa 6.3-IC, Rehabilitación de Firmes, para definir la aplicación de correcciones en la superficie de los pavimentos, dentro de las cuales figura el cepillado.

Especificaciones para este tipo de trabajos implican también la disposición de los desechos producto del cepillado, los cuales, por derivarse del cemento Portland, deben ser dispuestos de forma ambientalmente correcta.

Para desarrollar la técnica de cepillado, los elementos más importantes son: el equipo de cepillado completo y ajustado, el análisis del perfil del pavimento obtenido a partir de un perfilómetro inercial, las especificaciones contractuales por aplicar, y la comprobación intermedia y final del mejoramiento del perfil.

1.2. Justificación

En Costa Rica no existen experiencias previas a las obras de Cañas - Liberia en el cepillado de pavimentos, debido a que a la fecha no se han ejecutado muchos proyectos donde el IRI sea parámetro de evaluación, o porque, en los que se ha aplicado, se cumplió satisfactoriamente. El caso de Cañas – Liberia es particular pues la norma establecida para definir la multa por incumplimiento del IRI es restrictiva con respecto a los estándares internacionales para la construcción de un pavimento rígido nuevo, el Banco Mundial, por ejemplo, propone un IRI entre 1,5 m/ km a 3,5 m/km (Gillespie T. D, 1986). En este proyecto se aplicó el límite inferior, lo que originó la necesidad de utilizar esta técnica. Considérese lo indicado por un estudio técnico de LanammeUCR realizado para este proyecto: *“en el presente informe se concluye que la especificación del IRI del proyecto Cañas Liberia es ambigua en su redacción y, comparativamente con los estándares internacionales es más rigurosa...”* (Hidalgo, P.L, 2014) .

En este contexto, el presente estudio busca establecer un modelo para recuperar el Índice de Regularidad Internacional a partir de las mediciones del perfil longitudinal del pavimento mediante un perfilómetro laser inercial, y la utilización de un equipo de cepillado convencional. La recuperación del IRI tiene por objetivo, desde el punto de vista funcional, mejorar el confort del usuario, y desde una perspectiva contractual, reducir o eliminar el porcentaje de multa según se aplique para un pavimento flexible o rígido, en obra nueva o de (Proval.3.61, 2015) rehabilitación.

Los datos del perfil del pavimento obtenido por un perfilómetro inercial, son utilizados para establecer dónde debe ser ubicado el equipo de cepillado, cuánta longitud se debe cepillar, cuántos milímetros debe profundizar el cabezal, en qué medida se recupera el IRI y si es necesario repasar o aumentar el área tratada. Este modelo servirá de referencia a otros profesionales que requieran información sobre la aplicación de esta técnica en un proyecto nacional, principalmente porque en nuestro país, a partir del año 2017, será común evaluar y mejorar las condiciones superficiales de nuestros pavimentos, debido a la inclusión de normativa encaminada a posibilitar la recuperación del IRI por parte del contratista, en los próximos contratos de mantenimiento vial por cuatro años, donde se menciona que *“En caso de incumplimiento de los requisitos de los valores de IRI mostrados en la Tabla 8, la Administración ordenará al Contratista realizar las correcciones necesarias para cumplir con tales requisitos de IRI”*. (Vialidad, 2014)

En Costa Rica, al observar nuestras actuales especificaciones para construcción de obra pública, denominadas CR-2010, se puede constatar que una especificación para la técnica de cepillado de pavimentos como medida para mejorar el Índice de Regularidad Internacional ha sido omitida. Por su parte en el año 2015 el LanammeUCR elaboró para el Ministerio de Transportes, el nuevo Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos Carreteras y Puentes MCV-2015, donde el Capítulo N°3 (Conservación de Pavimentos Flexibles) no considera esta técnica como alternativa para extender la vida útil de un pavimento, o como solución ante la excesiva irregularidad que presentan nuestras vías. Por su parte en el Capítulo N°4 - Sección 402 (Conservación de Pavimentos Rígidos), se presenta una especificación para el pulido con diamante que no se ha implementado en el país (Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 2015).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Establecer un modelo que conduzca a la recuperación efectiva de la regularidad superficial, medida por medio del parámetro de IRI, en un pavimento rígido o flexible, a partir de la técnica de cepillado.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las características más relevantes del Perfilómetro Inercial RTP-300 y su procedimiento de operación, con relación a una efectiva mejora de regularidad superficial en un pavimento flexible o rígido.
- Establecer lineamientos para llevar a cabo pruebas de funcionamiento con el equipo de cepillado y sus principales características.
- Establecer una metodología para recuperar el IRI a partir de la obtención del perfil del pavimento con el uso de Proval, (Proval.3.61, 2015), y compararlo con el modelo planteado.
- Analizar la especificación para cepillado de pavimentos propuesta en Costa Rica.

1.4. Alcances y limitaciones

1.4.1. Limitaciones

La inexistencia de experiencias previas en el país sobre la utilización de la técnica de cepillado de pavimentos, puede conducir a que no se considere esta técnica como una solución en proyectos de rehabilitación y mantenimiento, pues en Costa Rica hay una marcada renuencia a aplicar nuevas técnicas constructivas.

Históricamente se ha preferido remover una sección de pavimento en un proyecto en ejecución, antes de valorar la opción de cepillar, por la falta de especificaciones claras en los contratos, donde el IRI es parámetro de aceptación. De manera que no hay suficientes antecedentes en nuestro país.

1.4.2. Alcances

La actividad comprenderá el desarrollo de un modelo para mejorar el IRI en un pavimento rígido o flexible, a partir de la técnica de cepillado. No se presenta como una solución única para esta condición, debido a que existen diferentes equipos de cepillado, tipos de superficie de ruedo y especificaciones contractuales, que pueden conducir a otras formas de acometer el problema.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Definición del Índice de Regularidad Internacional.

La Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) en la norma E-867 define la regularidad como la desviación de la superficie del pavimento respecto a una superficie plana que afecta la dinámica de los vehículos, la calidad de los viajes, las cargas dinámicas y el drenaje. La rugosidad también puede ser definida como la distorsión de la superficie de la vía que causa aceleraciones verticales indeseables contribuyendo a la incomodidad del viaje (Perera & Kohn, 2002).

El IRI es una escala de la regularidad superficial de una vía, propuesta por el Banco Mundial, como estadística estándar de la rugosidad que determina la influencia del perfil longitudinal de la carretera en la calidad de la rodadura. Se expresa en metros por kilómetros (Sayers y Karamihas, 1996). El cálculo del índice de regularidad internacional IRI está basado en el comportamiento del modelo matemático “Quarter Car”, que simula la función y las masas de la cuarta parte de un vehículo que circula por la vía a una velocidad promedio de 80 Km/h.

La acumulación de los desplazamientos verticales de las masas dividida por la distancia recorrida da como resultado el IRI en dimensiones de pendiente. (m/Km).

Investigaciones han demostrado que existen muchos factores que afectan la regularidad superficial del pavimento. De estos lo más relevantes son:

- Edad del pavimento.
- Nivel de tráfico vehicular.
- Espesores del pavimento.
- Las propiedades del concreto asfáltico utilizado: vacíos con aire, gravedad específica, contenido de asfalto y granulometría.
- Podrías también referirte a factores que puedan afectar en un pavimento rígido para hacerlo general para ambos tipos de pavimento.

- Las características del medio ambiente: temperatura promedio, precipitaciones pluviales (días de lluvia), índice de congelamiento, días con temperatura superior a 32°C.
- Propiedades de la base granular: contenido de humedad y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Propiedades de la sub rasante como: índice de plasticidad, contenido de humedad, contenido de limos y arcillas, y porcentaje de material que pasa la malla 200.
- Extensión y severidad de las fallas en el pavimento.

2.2. Esquema del modelo de Cuarto de coche.

El IRI tiene sus orígenes en el programa norteamericano de National Cooperative Highway Research Program (NCHRP, por sus siglas en inglés) y está basado en un modelo llamado "Golden Car", descrito en el reporte 228 del NCHRP. El cálculo matemático del IRI está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo cuarto de carro, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km o millas) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/h.

El modelo Cuarto de Carro fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad del tipo respuesta. El programa que propone el Banco Mundial para el cálculo del IRI a partir del levantamiento topográfico de un tramo carretero, se describe en la publicación técnica número 884 de la ASMT: Sayers, M.W., "Development, Implementation, and Application of The Referente Quarter-Car Simulation".

Si se cuenta con el IRI calculado de dos secciones contiguas, el IRI sobre la suma de esas dos secciones, es simplemente el promedio de los IRI de cada sección. A una velocidad de simulación de 80 km/h, la inicialización afecta la respuesta del modelo del cuarto de carro. La mejor forma de tratar con este problema es comenzar a medir el perfil 50 m antes de la sección a evaluar. El cálculo del IRI está linealmente relacionado con las variaciones en el perfil, es decir si las elevaciones del perfil aumentan al doble, el resultado del cálculo del IRI también aumentará al doble. El IRI está definido como una propiedad de un solo perfil longitudinal, por lo tanto, si se desea establecer un valor por carril, se deberían definir criterios de cuántos perfiles tomar; generalmente se toman los perfiles en ambas huellas de cada carril para así derivar un valor por carril. Aunque los sitios de prueba utilizados en el desarrollo del concepto IRI contaban con un largo mínimo de 320 m, el IRI puede ser calculado sobre cualquier longitud de camino, sin embargo, el cálculo del IRI depende altamente sobre qué longitud es acumulado. Es fundamental comprender la relación que existe entre la variación de la rugosidad a lo largo del camino y la longitud del camino sobre el cual la rugosidad es promediada.

La definición del IRI se establece a partir de conceptos asociados a la mecánica vibratoria de sistemas dinámicos; con base en ella un vehículo se puede modelar simplificadaamente, por un conjunto de masas ligadas entre sí y con la superficie de la

carretera, mediante resortes y amortiguadores. El movimiento sobre el perfil de la carretera produce desplazamientos, velocidades y aceleraciones en las masas. Todo el sistema queda regido por la 1ª ley de Newton: fuerza = masa x aceleración. Asumida esta forma de simular el comportamiento de los vehículos sobre la carretera, el vehículo se simplifica, por simetría, como un cuarto de carro; se modela por la magnitud de sus masas y constantes de resorte y de amortiguación. La masa del cuarto de carro se divide en dos partes, la superior, soportada por el sistema de suspensión (masa suspendida) y la parte inferior, independiente de la suspensión (masa no suspendida). La suspensión se esquematiza por un resorte (k_2) y por un amortiguador (c_2) y la parte no suspendida (prácticamente la rueda) se esquematiza, a su vez, por un resorte (k_1) que representa la deformabilidad o rigidez del neumático. La Ilustración 1 muestra el modelo de cuarto de carro, que sirve de base para la definición del IRI y otros muchos estudios relacionados con la dinámica de automóviles. (Badilla, 2009)

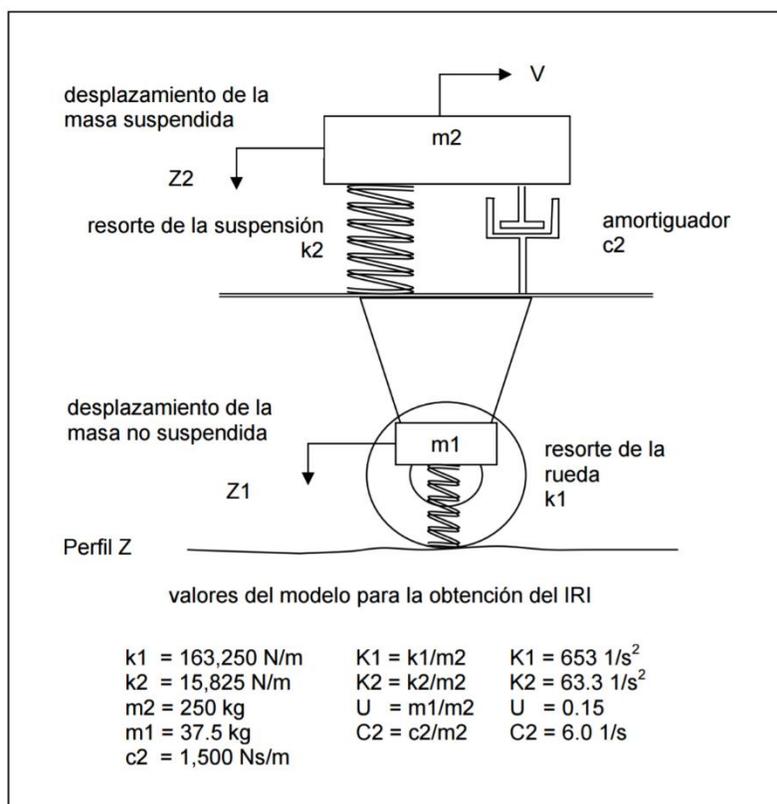


Ilustración 1 Modelo del cuarto de carro (Badilla, 2009)

Si a los valores de los parámetros m_1 , m_2 , k_1 , k_2 , y c_2 se le asignan los valores correspondientes al modelo denominado “Golden Quarter Car”, y se fija como velocidad de referencia 80 km/h, se tienen establecidas las bases para obtener el IRI. Cualquier modificación en los valores numéricos de los parámetros o de la velocidad de referencia desvirtuaría la definición del IRI.

Teniendo en cuenta lo anterior, el IRI en cada punto se define como el valor absoluto de la variable $|z'2 - z'1|$, que se refieren a las alturas medidas verticalmente por los sensores láser y corregidas por los acelerómetros, de las masas suspendida y no suspendida. A la variable $|z'2 - z'1|$ se le denomina “pendiente rectificada de perfil filtrado”, porque en definitiva es la pendiente de un perfil (distinto, pero derivado del perfil de la carretera), filtrado por las características del modelo de cuarto de carro “Golden Quarter Car”. Si además se tiene en cuenta que los datos del perfil son discretos, es decir, son adquiridos mediante muestreo (una cota cada determinado intervalo), el IRI es la media aritmética de la sumatoria de todos los valores de la variable $|z'2 - z'1|$ en la longitud de evaluación. La expresión algebraica que permite obtener el IRI en forma discreta es:

$$IRI = \frac{\sum_1^n |z'_2 - z'_1|}{n}$$

Ec.1

Si por cualquier circunstancia se dispusiera de una función que definiera el perfil en forma continua, la expresión anterior se convierte en:

$$IRI = \frac{1}{L} \int_0^L |z'_2 - z'_1| \cdot dx$$

Ec.2

Donde:

n = Número de puntos

L = Longitud de análisis

$|z'2 - z'1|$ = Valor absoluto de la pendiente rectificada

El cálculo de las expresiones anteriores es bastante laborioso y debe realizarse mediante programas de cómputo. A tal efecto se ha desarrollado una gran cantidad de aplicaciones computacionales que, en función de las ordenadas del perfil, calculan el valor del IRI para cualquier longitud, intervalo de muestreo y a partir de 20 Km/h.

2.3. Conceptos asociados a la definición y medición del IRI

El IRI es la acumulación del movimiento entre la masa amortiguada y la no amortiguada, cuando se simula el paso del modelo del cuarto de carro, o técnicamente llamado RTRRMS (Response Type Road Roughness Measuring System), normalizado por

la longitud del perfil. El IRI, también llamado por su nombre técnico RARS80, definido en forma más completa por Sayers, 1995, debe cumplir con las siguientes cinco condiciones:

- El IRI es calculado a partir de un solo perfil. El intervalo de muestreo del perfil deberá ser menor a 300 mm para cálculos precisos. La resolución requerida depende del nivel de rugosidad, necesitándose resoluciones más finas para pavimentos más lisos. Una resolución de 0.5 mm en la obtención del perfil es apropiada para todas las condiciones.
- Se asume que el perfil tiene una pendiente constante entre puntos contiguos de elevación.
- El perfil es primero suavizado mediante el uso de medias móviles cuyo largo base es de 250 mm. Esto es realizado por dos motivos: simular el comportamiento de la envolvente de los neumáticos y reducir la sensibilidad de la simulación del cuarto de carro al espaciamiento de muestreo del perfil longitudinal.
- El perfil suavizado es filtrado utilizando la simulación del cuarto de carro, RQCS, con sus parámetros específicos, a una velocidad de 80 km/h.
- El movimiento de la suspensión simulada es acumulado y dividido por el largo del perfil para así obtener el valor de IRI; es de esta forma que el IRI es expresado, generalmente en unidades m/km, mm/m o pulg/mi.

Si se cuenta con el IRI calculado de dos secciones contiguas, el IRI sobre la suma de esas dos secciones, es el promedio de los IRI de cada sección. Esto se debe a que generalmente se trabaja con muestras que presentan gran cantidad de datos, y estos se pueden considerar con distribución normal.

El cálculo del IRI está linealmente relacionado con las variaciones en el perfil, es decir si las elevaciones del perfil aumentan al doble, el resultado del cálculo del IRI también aumentará al doble.

En vista de la importancia que tiene la longitud para la determinación del IRI, es necesario establecer su intervalo, ya que longitudes de medición mayores ocultan niveles altos de regularidad superficial en los pavimentos, obteniéndose, de una manera engañosa, valores de IRI satisfactorios. Por otra parte, la utilización de intervalos de longitud menores para la determinación del IRI puede determinar niveles altos de irregularidad, contribuyendo a obtener pavimentos con mejores niveles de seguridad y confort, debido a que, bajo estos

criterios de evaluación, el contratista se ve en la obligación de presentar mejores técnicas constructivas encaminadas a evitar incumplimientos. La Ilustración 2 muestra los resultados de IRI obtenidos cuando se realizan variaciones en la longitud de evaluación.

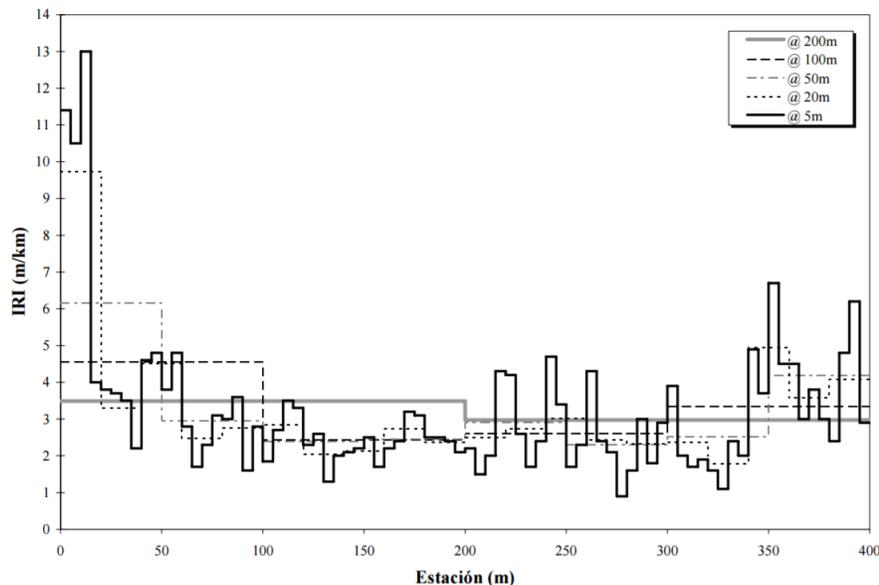


Ilustración 2 Variación en el valor del IRI según la longitud de evaluación. (Badilla, 2009)

Como se puede observar en la Ilustración 2 las variaciones en la longitud del intervalo de medición del IRI, tienen incidencia directa en los resultados, de forma que los valores se suavizan como consecuencia del efecto de promediar. Lo cual es bastante evidente, al observar los primeros 200 m del tramo, en el cual se dan valores de IRI mayores a 10 y valores de IRI inferiores a 2, cuando el intervalo de evaluación es igual a 50 m. Por su parte al calcular el valor del IRI en una longitud de evaluación de 200 m, el efecto de promediar los valores dentro de este tramo muestra un valor de IRI igual a 3.5, lo cual puede resultar en la obtención inadecuada de valores de IRI satisfactorios en algunos casos. (Badilla, 2009)

2.4. Definición de sector homogéneo y singularidad.

El Decreto del Poder Ejecutivo N° 40333-MOPT publicado en la Gaceta del 9 de mayo 2017, presenta la oficialización de la modificación de algunas secciones del CR-2010. En este documento se encuentran las siguientes definiciones:

- Tramo homogéneo: *“Es una sección de carretera que cuenta con una misma estructura de pavimento, de espesores y materiales determinados, construido en un mismo periodo, con los mismos equipos, y que además posee el mismo Transito Promedio Diario Anual (TPDA) y respectiva composición vehicular.”*

- Singularidad: “Es un cambio en el perfil longitudinal, tal como puentes, alcantarillas y líneas férreas, cambio de la estructura de pavimento, vados, rampas de intersecciones, entre otros.”

En la Ilustración 3 se presentan ejemplos de singularidades que generalmente se encuentran durante la ejecución de las mediciones de IRI.



Ilustración 3 Ejemplos de singularidad (Salazar, 2015)

En nuestro país, el Conavi ha definido las pautas para la medición del IRI principalmente en los proyectos de conservación vial, donde el contratista una vez que finaliza la intervención debe medirlo en forma conjunta con el laboratorio de verificación. Si existen incumplimientos el contratista tiene una sola oportunidad para mejorarlo, si la verificación presenta incumplimientos, el constructor se ve obligado a sustituir la superficie de ruedo. El proveedor de los servicios para la Administración, debe tener el ensayo acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación ECA, debido a que sus resultados son de acatamiento obligatorio para el contratista. En lo referente a proyectos nuevos, cada uno de ellos tiene en sus especificaciones especiales los términos para definir los incumplimientos por IRI, sin embargo, generalmente se sigue la metodología de análisis planteada por Conavi.

2.5. Descripción del Perfilómetro laser inercial RTP-300

El perfilómetro laser RTP-300 es un dispositivo de alto desempeño que cumple con los requerimientos del Banco Mundial como equipo Tipo 1 para medición del IRI. Tiene un valor en el mercado de aproximadamente \$130.000. El equipo fue adquirido por LGC Ingeniería de Pavimentos, para utilizarlo en el proyecto Cañas -Liberia.



Ilustración 4 Ejemplo ilustrativo de las partes del equipo. (LGC, 2016)

Consta de una estructura metálica que soporta dispositivos electrónicos como:

- Dispositivo principal de mando
- Sensores Laser
- Acelerómetro
- Inclinómetro
- Equipo de cómputo de alto desempeño
- Odómetro de precisión (DMI)

El equipo se instala en el vehículo denominado huésped, el cual se recomienda que sea de transmisión automática, con una toma de 12 voltios.

En la siguiente Ilustración se muestra el equipo RTP-300 instalado y listo para realizar mediciones en el proyecto Cañas – Liberia



Ilustración 5 Perfilómetro RTP-300 (LGC, 2016)

2.6. Procedimiento de verificación de los dispositivos y sensores del Perfilómetro.

2.6.1. Comprobaciones del equipo

Las comprobaciones del equipo para todos los dispositivos y sensores, deben realizarse periódicamente según las recomendaciones del fabricante, ya que estos procedimientos permiten establecer los ajustes necesarios. El fabricante establece un procedimiento de rutinas de comprobación para el dispositivo de medición de distancia, comprobación del sensor de pendiente, comprobación de los acelerómetros, verificación de los sensores láser y la prueba de rebote. También, los dispositivos deben de comprobarse cuando se note que los datos de perfil muestran inconsistencias al tomar lecturas repetidas en una misma superficie, cuando ocurran cambios en el vehículo huésped (llantas, suspensión, peso, etc.), se cambie la dirección del montaje del sistema de perfil (en la parte frontal o posterior del vehículo huésped), se reemplace, modifique o reinstale algún componente, y/o se vaya a medir un proyecto de gran longitud.

Se debe comprobar que la presión de inflado de las llantas del vehículo huésped se ajusta a las especificaciones del fabricante, e inspeccionar las lentes de los sensores láser, limpiándolas de haber suciedad presente.

2.6.2. Montaje.

Los sensores láser se colocan en los extremos, separados una distancia aproximada de 167,64 cm (dentro del rango de 58 a 71 pulgadas), ubicando el láser central en el punto medio de la distancia, tal y como se muestra en la Ilustración 6.

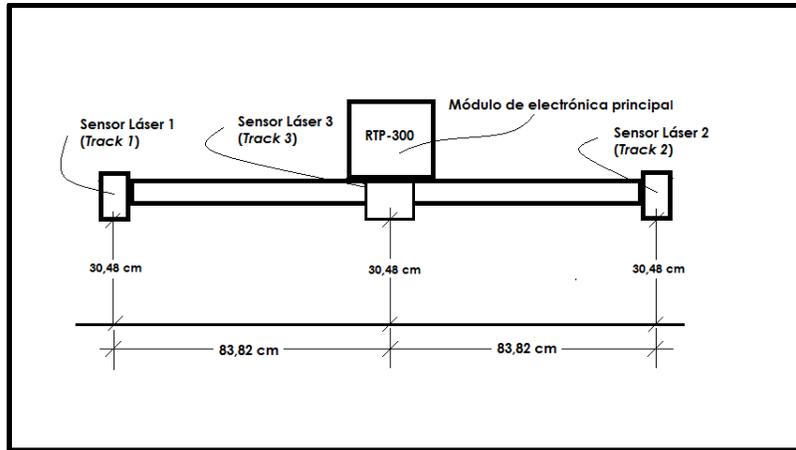


Ilustración 6 Esquema de distancia de separación entre sensores láser. (LGC, 2016)

2.6.3. Selección de la superficie para la comprobación

Se debe seleccionar una zona libre de vibraciones, protegida de condiciones ambientales como: lluvia, fuerte viento y alta temperatura; con una superficie del pavimento plana, seca y libre de componentes reflectivos (pinturas, cerámicas, vidrios, etc.) u otros no reflectivos, que alteren las lecturas de los sensores láser. La Ilustración 7 muestra la forma de nivelar el equipo, antes de proceder con las comprobaciones.



Ilustración 7 Nivelación de equipo. (LGC, 2016)

La altura de los láseres se debe ajustar a una distancia aproximada de 30,48 cm (Rango del fabricante: 7 a 15 pulgadas), desde la salida del láser a la superficie del suelo.

2.6.4. Rutinas de comprobación

Se deben seguir los procedimientos para comprobar cada uno de los componentes del sistema de perfil, luego del correcto montaje en el vehículo huésped y sobre la zona seleccionada para dicha comprobación.

Las rutinas deben ejecutarse con el motor del vehículo huésped apagado, pero de manera que el sistema de perfil tenga alimentación eléctrica a lo largo de todo el procedimiento; el orden de ejecución de las rutinas puede ser cualquiera.

En la interface del programa (Ilustración 8), ingresar al icono “Collect Data” y esperar a que el estado del sistema indique “Ready”.

Segment	Station	Track 1	Track 2	Track 3	Average	Track 1	Track 2	Track 3	Notes
Summary	0+000.0 0+476.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0	0	0	
Speed (Ave, Max, Min) = 44.2, 66.6, 7.7									
1	0+000.0 0+003.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0	0	
2	0+003.0 0+006.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0	0	
3	0+006.0 0+009.0	0.2	0.1	0.3	0.2	0	0	0	
4	0+009.0 0+012.0	0.1	0.0	0.3	0.2	0	0	0	
5	0+012.0 0+015.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0	0	0	
6	0+015.0 0+018.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0	0	0	
7	0+018.0 0+021.0	0.1	0.0	0.2	0.1	0	0	0	
8	0+021.0 0+024.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0	0	0	
9	0+024.0 0+027.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0	0	0	
10	0+027.0 0+030.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0	0	0	
11	0+030.0 0+033.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0	0	0	
12	0+033.0 0+036.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0	0	0	
13	0+036.0 0+039.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0	0	0	
14	0+039.0 0+042.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0	0	0	
15	0+042.0 0+045.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0	0	0	
16	0+045.0 0+048.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0	0	0	
17	0+048.0 0+051.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0	0	0	
18	0+051.0 0+054.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
19	0+054.0 0+057.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
20	0+057.0 0+060.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
21	0+060.0 0+063.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
22	0+063.0 0+066.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
23	0+066.0 0+069.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
24	0+069.0 0+072.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
25	0+072.0 0+075.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
26	0+075.0 0+078.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
27	0+078.0 0+081.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
28	0+081.0 0+084.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
29	0+084.0 0+087.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
30	0+087.0 0+090.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
31	0+090.0 0+093.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	
32	0+093.0 0+096.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
33	0+096.0 0+099.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0	
34	0+099.0 0+102.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0	0	0	

Ilustración 8 Interface del programa SSI Profiler (LGC, 2016)

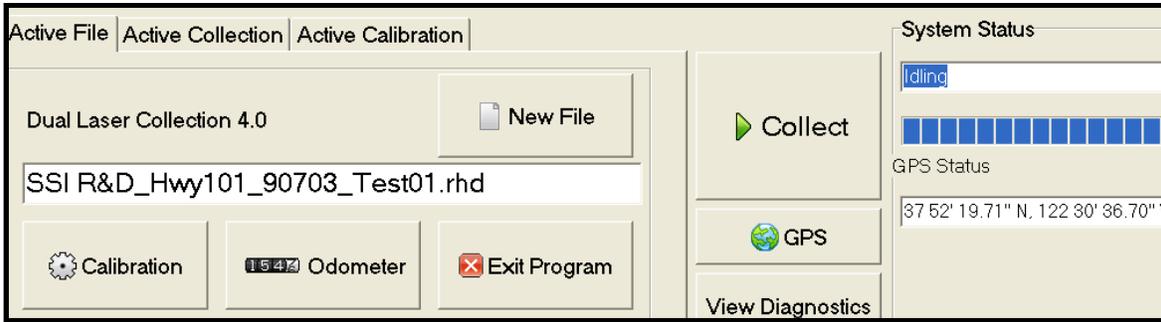


Ilustración 9 Ventana de interface de Collect Data. (LGC, 2016)

Crear un archivo nuevo y verificar la operatividad del sistema de perfil para el buen funcionamiento, ingresando al botón View Diagnostics (Ilustración 9). Monitorear que todos los componentes principales y señal de los cables aparezcan con cajas de color verde o amarillo; esto indica que el componente tiene una conexión correcta. En caso de que el color sea rojo, debe verificarse su conexión, estado de los cables y la existencia del dispositivo; si con lo anterior no se soluciona, se debe contactar a Soporte Técnico de Surface Systems & Instruments, Inc. (Ilustración 10).

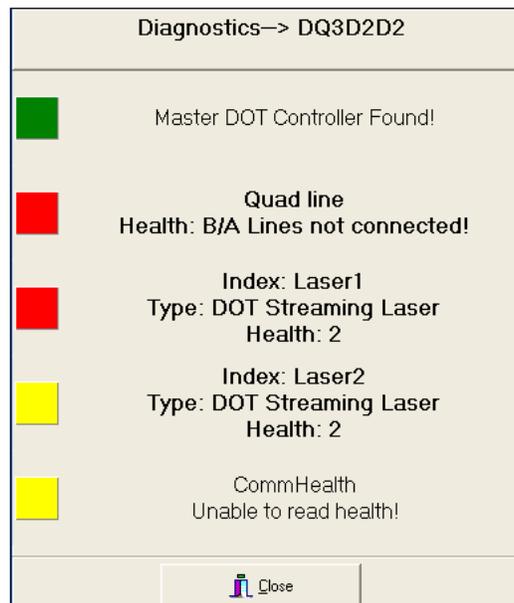


Ilustración 10 Funcionalidad del Sistema de Perfil. (LGC, 2016)

Lo siguiente es ingresar al botón del programa o rutinas de Calibración, que se muestra en la Ilustración 11.

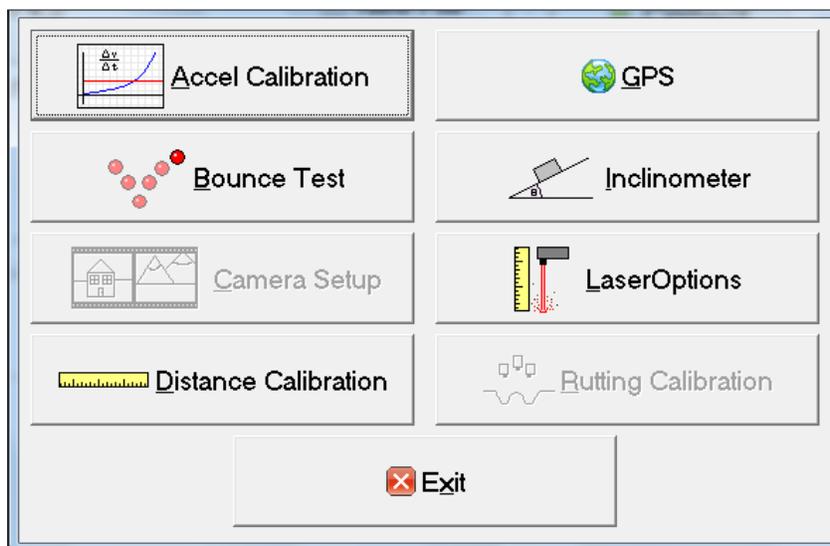


Ilustración 11 Ventana del botón Calibration. (LGC, 2016)

Se deben ejecutar las siguientes rutinas: comprobación del dispositivo de medición de distancia, comprobación del sensor de pendiente (compuesta por inclinómetro y “pitch”), comprobación de los acelerómetros, verificación de los sensores láser y prueba de rebote.

En un proyecto donde se presenten diferentes equipos para medir IRI, ya sea del contratista o de la supervisión, es necesario que estas rutinas se realicen en forma conjunta, a fin de que las partes se den por satisfechas en cuanto a los resultados de tales comprobaciones.

2.6.5. Frecuencia de las comprobaciones

Para cada uno de los dispositivos y sensores se establecen las comprobaciones de la Tabla 1.

Tabla 1. Frecuencia de comprobación del perfilómetro RTP-300

Dispositivo	Frecuencia de comprobación
Sensor de pendiente (inclinómetro y “pitch”)	Al menos una vez al mes si el uso es constante o cuando cambie la altura del sensor láser
Acelerómetros	Cada 90 días o cuando el sistema de perfil haya desarrollado señales de datos de perfil irregulares o salidas de trazos de perfil con atributos irregulares como trazos volátiles, trazos de ruidos, rugosidad excesiva, etc.
Comprobación de los láseres	Cada vez que se cambie la altura del sensor y antes de recolectar datos de superficie
Prueba de rebote	Cada vez que se ejecute la comprobación de los acelerómetros o cuando el sistema de perfil muestre evidencia de fallos en la rutina de comprobación de algunos de los sensores
Dispositivo de medición de distancia	Antes de recolectar datos de superficie o cuando exista un cambio fuera del rango recomendado por el fabricante para presión de inflado de las llantas del vehículo huésped

Fuente: (LGC, 2016)

Nota: todos los dispositivos deben comprobarse cuando se note que los datos de perfil muestran inconsistencias al tomar lecturas repetidas en una misma superficie, cuando ocurran cambios en el vehículo huésped (llantas, suspensión, peso, etc.), se cambie la dirección del montaje del sistema de perfil (en la parte frontal o posterior del vehículo huésped), o cuando se reemplace, modifique o reinstale algún componente.

2.6.6. Comprobación del dispositivo de medición de distancia (odómetro)

Es importante que el dispositivo de medición de distancia se calibre antes de cada medición del perfil, ya que está estrechamente ligado a la presión de inflado de las llantas del vehículo huésped.

Seleccionar un segmento de comprobación seguro que permita un desplazamiento recto y consistente del vehículo huésped a través de una sección de comprobación de longitud conocida, libre de deterioros, medida con un dispositivo para medición de longitud (cinta métrica) bajo control metrológico. La sección de comprobación debe medir entre 100 m y

200 m de longitud. Ingresar en el programa a: Calibration>Distance Calibration y presione Next. (Ilustraciones 11 y 12).

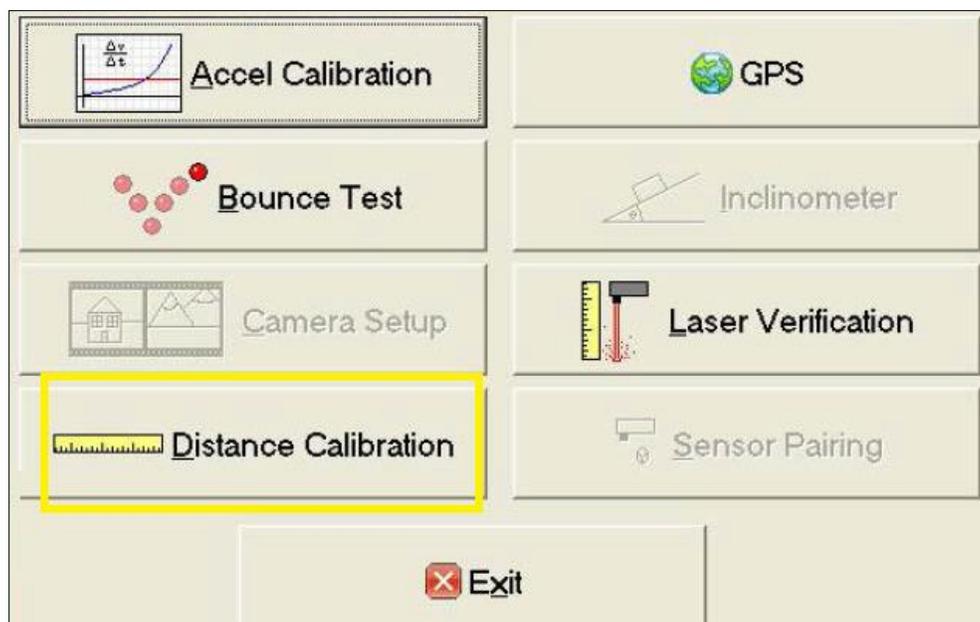


Ilustración 12 Calibración>Distancia de Calibración (LGC, 2016)

Mover el vehículo describiendo la trayectoria de la sección de comprobación, desde el inicio hasta el final. En la pantalla del programa aparecerá la distancia recorrida. Si se sobrepasa la marca final, el operador debe retroceder para colocar el vehículo en la marca. Aparecerá una ventana con la distancia recorrida “Actual Distance Traveled” (distancia recorrida realmente).

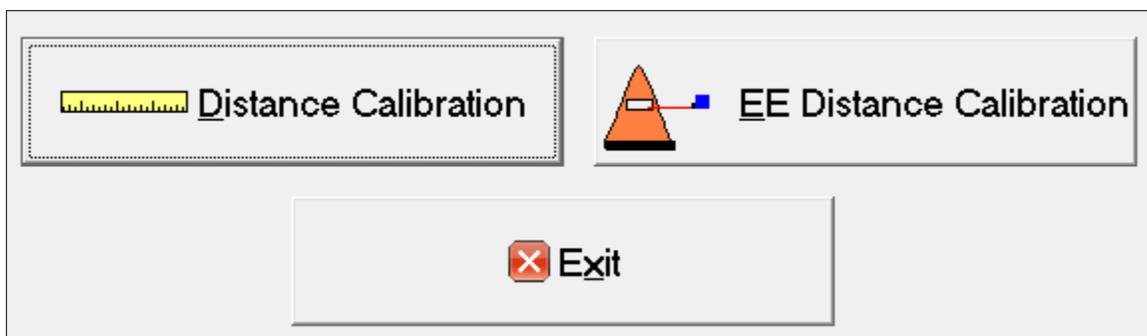


Ilustración 13 Comprobación del dispositivo de medición de distancia (LGC, 2016)

Sobrescribir el valor de distancia determinado por el DMI y que se muestra en la ventana emergente, por el obtenido con el dispositivo bajo control metrológico (longitud del segmento de comprobación). Elegir después remplazar, presionando el botón “Replace”. (Ilustración 14)

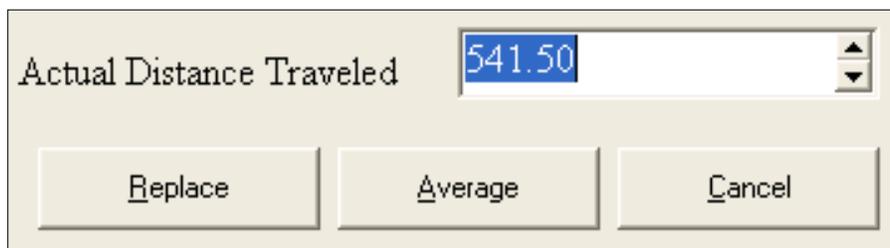


Ilustración 14 Remplazo de la distancia recorrida por la longitud real del segmento. (LGC, 2016)

Se recomienda realizar el procedimiento anterior una vez más para comprobar que la distancia recorrida por el vehículo huésped presenta un error menor al 0,1% de la distancia real del segmento de comprobación.

Los ajustes del dispositivo de medición de distancia (odómetro) surtirán efecto hasta que se cree un nuevo archivo para la medición del perfil, en la interface del programa, ingresando al icono” Collect Data>New File”. (Ilustración 15)

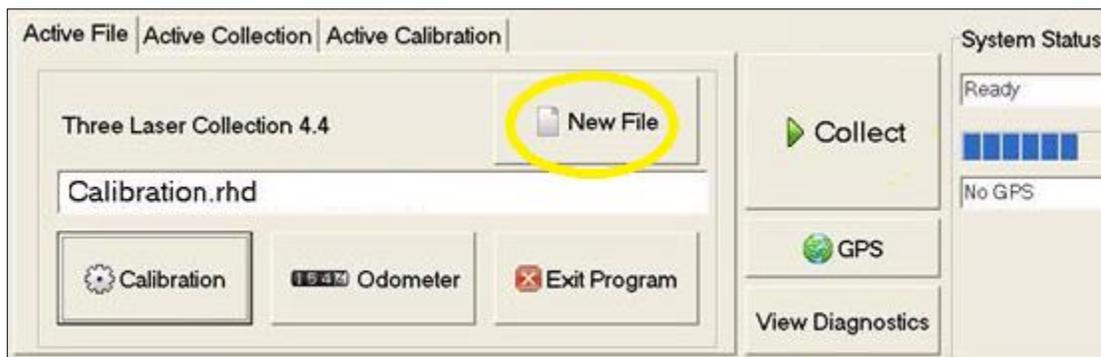


Ilustración 15 Creación de un archivo nuevo. (LGC, 2016)

2.6.7. Comprobación del sensor de pendiente

Este sensor compensa la pendiente transversal (inclinómetro) y longitudinal (pitch) en el sentido de avance del vehículo. Se compone del sensor más la base con pendiente

conocida. Para realizar la rutina de comprobación es necesario quitar la cubierta del módulo de electrónica principal del Sistema de Perfil.

2.6.7.1. Comprobación del inclinómetro.

Este dispositivo compensa la pendiente transversal del vehículo y cuenta con una base inclinada de ángulo conocido aportado por el fabricante. (Ilustración 16)



Ilustración 16 Inclinómetro y base (LGC, 2016)

Verificar que la parte alta de la base inclinada esté orientada hacia el lado del copiloto y el cable de salida apunte hacia el frente del vehículo. En caso de un montaje del equipo en la parte frontal del vehículo, se deberá girar la base 180° para que la parte alta quede siempre orientada al lado del copiloto y el cable de la salida apunte hacia el frente.

Ingresa en la interface de “Calibration” (calibración) en el ícono “Inclinómetro>Inclinometer Calibration”, como se muestra en la Ilustración 17.

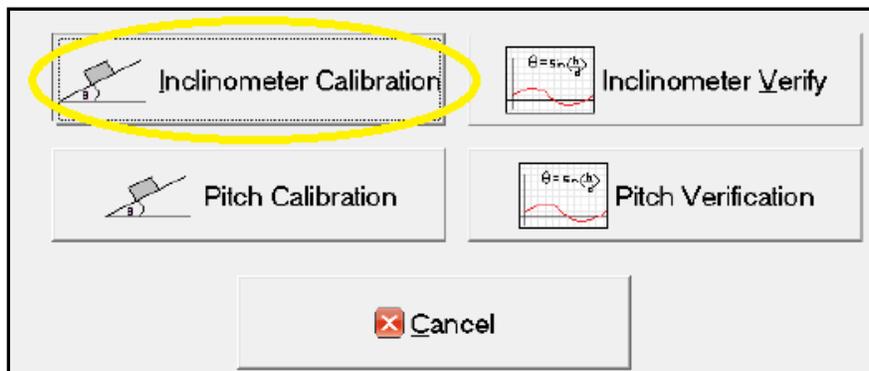


Ilustración 17 Ventana del programa: Inclinómetro>Inclinometer Calibration (LGC, 2016)

Anotar el ángulo de la base del inclinómetro (15,094 grados) en la ventana cuando el programa lo solicite (Ver Ilustración 18). Si se reemplaza el inclinómetro se debe ingresar el ángulo correspondiente a la nueva base.

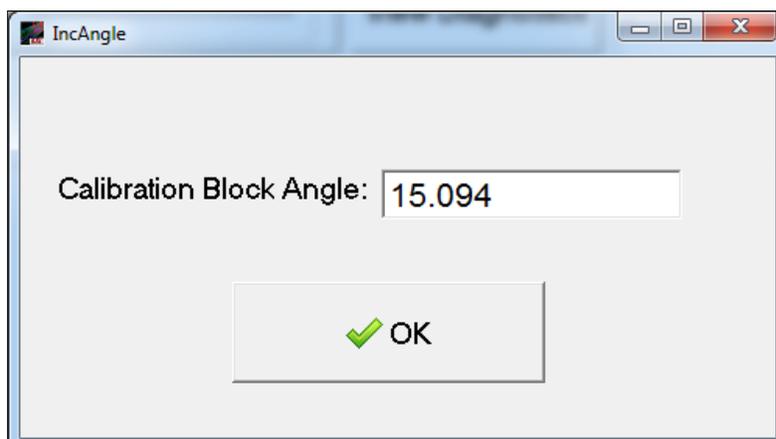


Ilustración 18 Ingreso de ángulo de la base del inclinómetro. (LGC, 2016)

Alinear el sensor de pendiente colocando un nivel en la caja del sistema de perfil y presionar “Next”.

El sistema pedirá después de unos segundos que mueva el inclinómetro a la base inclinada (con el cable apuntando hacia el frente del vehículo) y luego presionar “Next”.

Comprobar que la rutina haya terminado con éxito con los mensajes “Calibration complete” y “Calibration successful” en la ventana del sistema, como en la Ilustración 19.

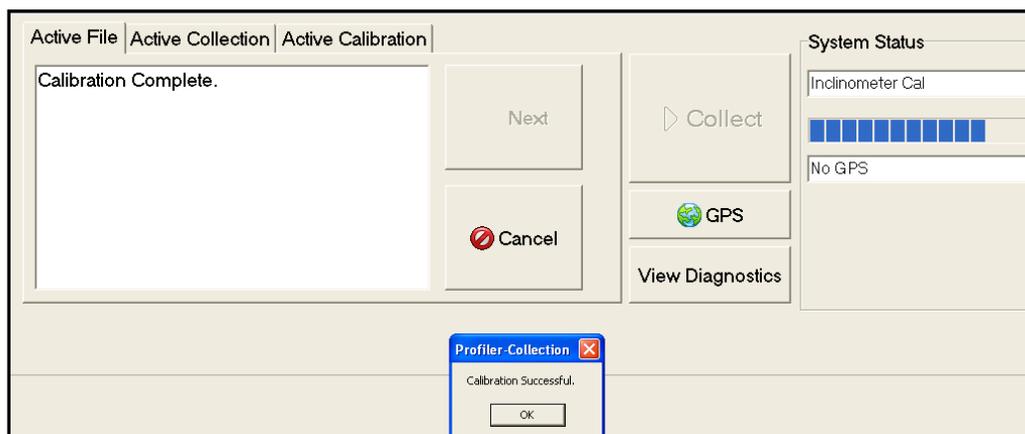


Ilustración 19 Mensaje de comprobación exitosa del inclinómetro (LGC, 2016)

Si ocurrió un error en la rutina anterior aparecerá el mensaje “Calibration Unsuccessful”, ante esto debe repetirse la rutina, y si el problema persiste, se debe contactar a Soporte Técnico del fabricante.

2.6.7.2. Comprobación del “pitch” (tono)

Esta función del sensor de pendiente detecta las variaciones del vehículo en su trayectoria y contribuye compensando la pendiente longitudinal de la superficie.

Se procede alineando el sensor de pendiente colocando un nivel en la caja del sistema de perfil similar a como se realizó en el punto anterior en la parte plana de la base. Asegurarse de no obstruir los láseres ni mover el vehículo durante el proceso de comprobación y que el cable del sensor de pendiente apunte hacia el frente del vehículo. Ingresar a “Calibration” en el ícono “Inclinómetro>Pitch Calibration”. (Ilustración 20)

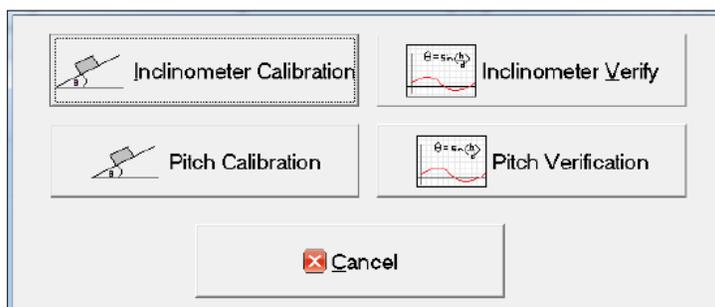


Ilustración 20 Ventana de comprobación del Pitch. (LGC, 2016)

Ingresa el ángulo de la base del sensor de pendiente (15,094 grados) cuando el programa lo solicite y presione “Next”. Si se reemplaza el sensor se debe ingresar el ángulo correspondiente a la nueva base. El sistema pedirá después de unos segundos que mueva el sensor de pendiente a la base inclinada y que se rote el sensor 90° de forma que la salida del cable apunte hacia la parte alta de la base (del lado del copiloto) y presione “Next”. (Ilustración 21)

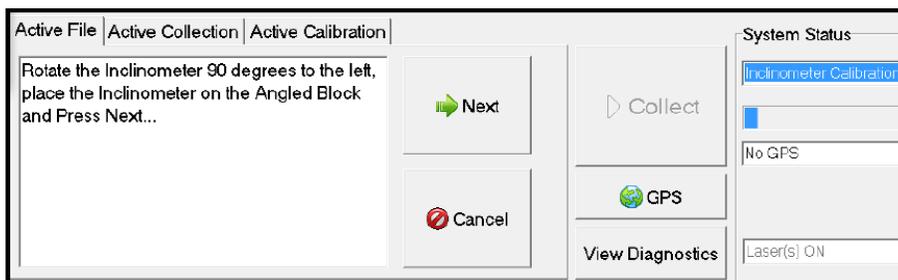


Ilustración 21 Mensaje del programa indicando la rotación del inclinómetro (LGC, 2016)

No mover el vehículo, y comprobar que la rutina haya terminado con éxito con los mensajes “Calibration complete” y “Calibration successful” en la ventana del sistema. (Ilustración 22).

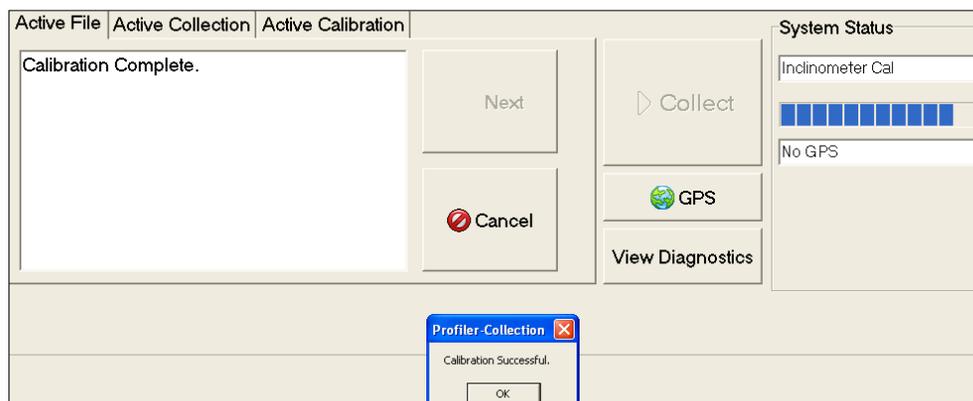


Ilustración 22 Comprobación exitosa del Pitch (LGC, 2016)

Volver el sensor de pendiente a la base plana y fijarlo con los tornillos destinados para este fin. Si ocurrió un error en la rutina anterior aparecerá el mensaje “Calibration Unsuccessful”, ante esto debe repetir la rutina y si el problema persiste contactar al fabricante.

2.6.8. Comprobación estática de los acelerómetros

Los acelerómetros son dispositivos muy sensibles, por lo que se debe realizar la rutina de comprobación estática con extremo cuidado, ya que un fallo en la rutina alteraría la configuración y se requeriría entonces, una actualización de los ajustes de la configuración por parte del fabricante. (Ilustración 23)

Se procede aflojando la cubierta protectora de los sensores láser y del acelerómetro con cuidado de no tensar los cables del sistema de perfil y de no introducir ninguna vibración durante el proceso. El acelerómetro es un cubo pequeño junto al láser, éste posee una base que permite rotar el acelerómetro 90° en un eje. También posee un indicador de flecha que es la guía para la rotación en la rutina de comprobación. Cada láser extremo posee un acelerómetro por lo que, en la rutina de comprobación, se deben realizar los procedimientos de manera simultánea en ambos acelerómetros y girar los acelerómetros bajo la misma convención de rotación (sentido horario a las manecillas del reloj). Esto puede provocar tensión del cable. Cada vez que se den las rotaciones ortogonales de los acelerómetros se debe prestar atención a que este sensor quede firmemente fijado a su base. Es necesario verificar que la posición de la flecha de los acelerómetros apunte hacia arriba antes de iniciar el procedimiento de comprobación.



Ilustración 23 Montaje del acelerómetro y láser. (LGC, 2016)

Ingrese al programa “Calibration>Accel Calibration” y presione “Next” en la ventana del programa. (Ilustración 24)

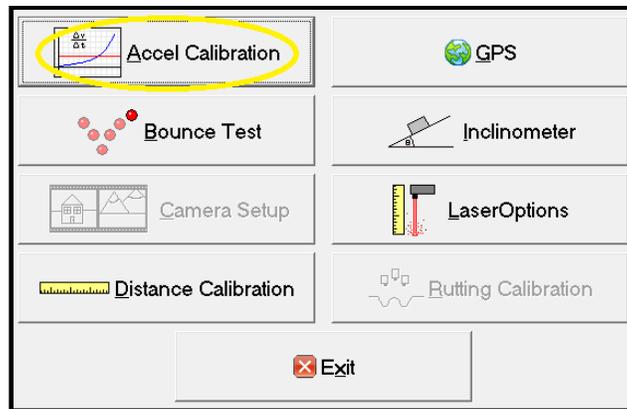


Ilustración 24 Módulo del programa para la comprobación de los acelerómetros. (LGC, 2016)

Esperar unos segundos y luego, cuando aparezca en la ventana un cuadro de diálogo con el mensaje en inglés “Place Accelerometer(s) on their side”, rote los acelerómetros a la posición lateral (90°), o sea que la flecha apunte hacia la dirección de movimiento hacia adelante (paralelo al parachoques del vehículo huésped).

Seguidamente cuando se indique el mensaje “Place Accelerometer(s) in their UPSIDE DOWN position”, rote los acelerómetros a su posición al revés, de su posición de descanso, que corresponde a la flecha apuntando hacia abajo (rotando 90° de su última posición o 180° de su posición inicial) y presione “Next”.

Esperar unos segundos hasta que en la ventana de diálogo del sistema muestre “Place Accelerometer(s) in their upright position”, que indica que se roten los acelerómetros a su posición normal de descanso, con la flecha apuntando hacia arriba. Presione luego “Next”.

Cuando el sistema termine el proceso, se notificará que la rutina de comprobación estática de los acelerómetros ha concluido con éxito si se muestra el mensaje “Sucessful Calibration”. (Ilustración 25) Si esto no ocurre, se debe contactar a fabricante, ya que la rutina pudo haber sido incorrectamente ejecutada o se requiere diagnóstico de los acelerómetros. Al terminar, reinstalar de nuevo la cubierta protectora del láser.



Ilustración 25 Comprobación exitosa del acelerómetro. (LGC, 2016)

2.6.9. Comprobación de los sensores láser.

La medición vertical de los sensores láser se puede verificar, pero no es modificable, ya que los sensores vienen ajustados de fábrica.

Para la rutina de comprobación se necesita una placa base de aluminio y otro bloque de dos incrementos en altura conocidos (escalones). Estos espesores conocidos están marcados en cada uno de los bloques como: A, para el primer escalón y B, para el segundo escalón. La placa y los bloques se muestran en la Ilustración 26.



Ilustración 26 Placa Base y bloque de medición con dos incrementos en altura. (LGC, 2016)

Para iniciar la rutina ingresar al menú del programa “Calibration>Laser Verification”, como se muestra en la Ilustración 27.

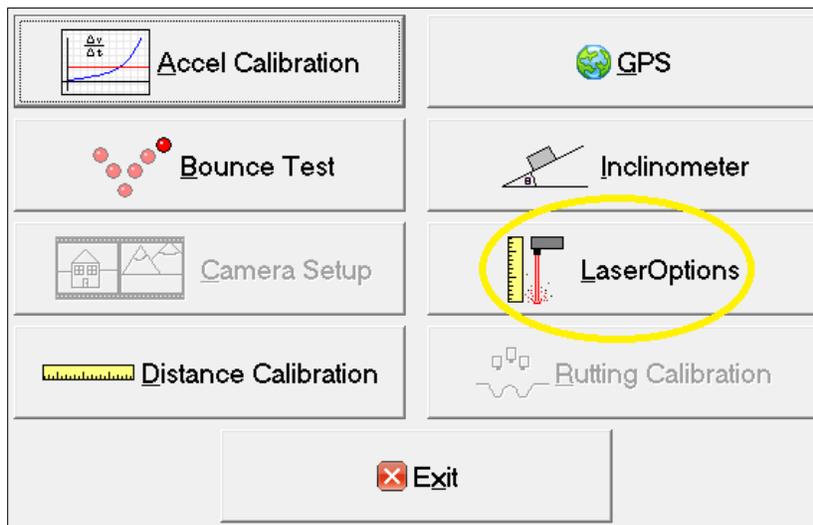


Ilustración 27 Ventada del programa “Calibration>Laser Verification” (LGC, 2016)

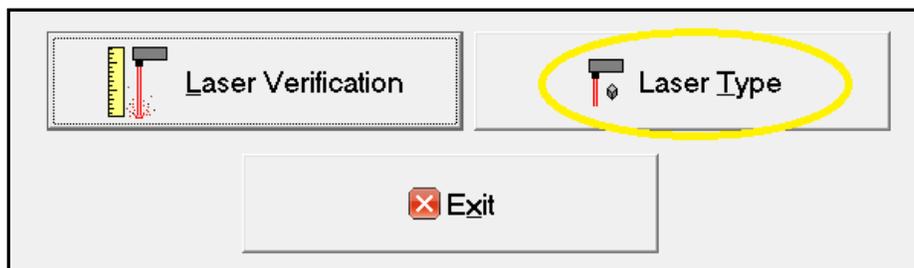


Ilustración 28 Opciones para comprobación de láser. (LGC, 2016)

Se debe seleccionar el tipo de láser a utilizar. Para los extremos, láser (track 1) y láser 2 (track 2), se debe seleccionar el tipo “Roline 1145”. Para el láser del centro, láser 3 (track 3) se selecciona el tipo “low standoff”. (Ilustraciones 28 y 29)

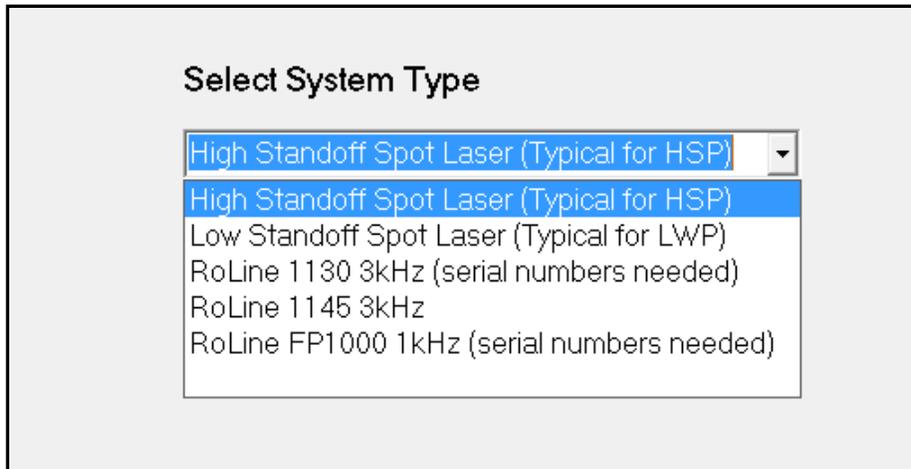


Ilustración 29 Selección de tipo de sensor láser. (LGC, 2016)

Para la medición de alturas verticales ingresar a “Calibration>Laser Verification>” y seleccionar el sistema de unidades para la comprobación. (Ilustración 30)

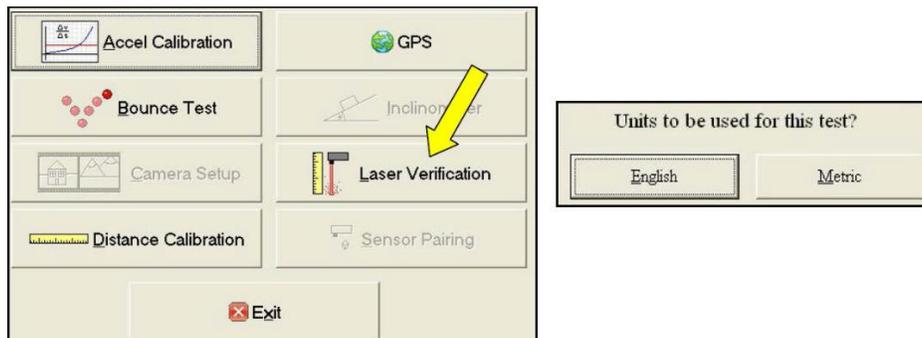


Ilustración 30 Ventana del programa “Calibration>Laser Verification” y selección de unidades (LGC, 2016)

Colocar la placa base de aluminio bajo el sensor de láser 1 (track 1). Verifique que la placa base se encuentre estable y no exista un resplandor sobre los bloques. Luego presionar en la ventana del sistema “Next”. No obstruir los láseres.

Cuando el cuadro de diálogo indique si hay otro bloque para la comprobación “¿Is there another Block to be tested?” presionar sí (“Yes”).

Colocar el bloque con su primer incremento de aproximadamente 2,54 cm (1 in) de altura (aproximadamente) sobre la placa base bajo el sensor del láser 1 y, sobre el cuadro de diálogo “Place the next block under the laser”, presione OK. (Ilustración 31)

El sistema seguirá preguntando si hay más bloques por medir. Repetir el mismo procedimiento utilizando el bloque sobre la placa base en su segundo nivel de altura aproximada 5,08 cm (2 in) bajo el láser 1.

Cuando el cuadro de diálogo indique nuevamente si hay otro bloque para la comprobación “¿Is there another Block to be tested?”, presionar sí (“Yes”).



Ilustración 31 Comprobación de la altura del láser con la placa base y los bloques. (LGC, 2016)

Repetir este procedimiento también para el láser 2 y después para el láser 3.

Cuando termine el proceso utilizando el segundo incremento del bloque con el láser 3 y el sistema pregunte si hay otro bloque por medir, presionar en la ventana del cuadro de diálogo “No”. (Ilustración 32)

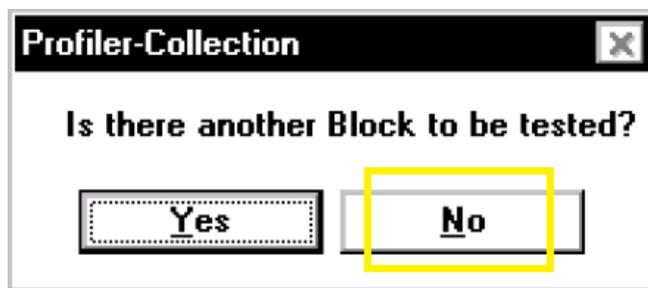


Ilustración 32 Cuadro de diálogo: ¿hay otro bloque por medir? (LGC, 2016)

Aparecerá una ventana emergente con el archivo de extensión “.txt” que contiene las mediciones realizadas en la comprobación de los sensores.

Se debe guardar el archivo para que, de ser necesario, se le presente al cliente.

Los sensores láser también se pueden comprobar individualmente, si así se desea, o en caso de duda de algún dato erróneo en la verificación de los pasos anteriores. El procedimiento es el mismo descrito anteriormente colocando los bloques bajo un solo sensor, con la variación de que el archivo de extensión “.txt” se debe guardar agregando en el nombre el láser comprobado

Con este proceso se obtienen las diferencias entre el promedio de las 10 mediciones efectuadas con cada incremento de los bloques y el promedio de las 10 mediciones efectuadas con la placa base, para así determinar el espesor promedio del bloque medido por el equipo.

También, se determina el valor absoluto de las diferencias entre el espesor del bloque medido por el equipo y el promedio del espesor del bloque conocido, según las recomendaciones del fabricante.

2.7. Prueba de rebote realizada con el programa SSI Profiler

La prueba de rebote es una rutina de comprobación de la calidad de las salidas de datos de los sensores láser y acelerómetro combinados. Consiste en dos partes realizadas de manera consecutiva: la prueba de rebote estática y la prueba de rebote dinámica. Ambas pruebas se realizan en la superficie para la comprobación. Se colectan datos usando una simulación de viaje.

Para iniciar se ingresa al programa en “Calibration>Bounce test>”, adónde se seleccionan las unidades a utilizar y se presiona “Next”. (Ilustración 33)

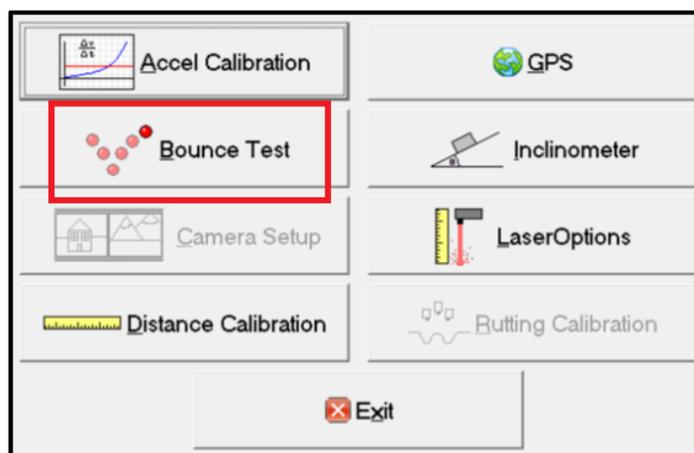


Ilustración 33 Ventana del programa para la comprobación de la prueba de rebote. (LGC, 2016)

Se debe nombrar un archivo y seguir las instrucciones del programa que aparecen en la ventana del “bounce test”. Durante la prueba de rebote estática, se debe evitar el movimiento del vehículo y la obstrucción de los láseres. (Ilustraciones 34 y 35)

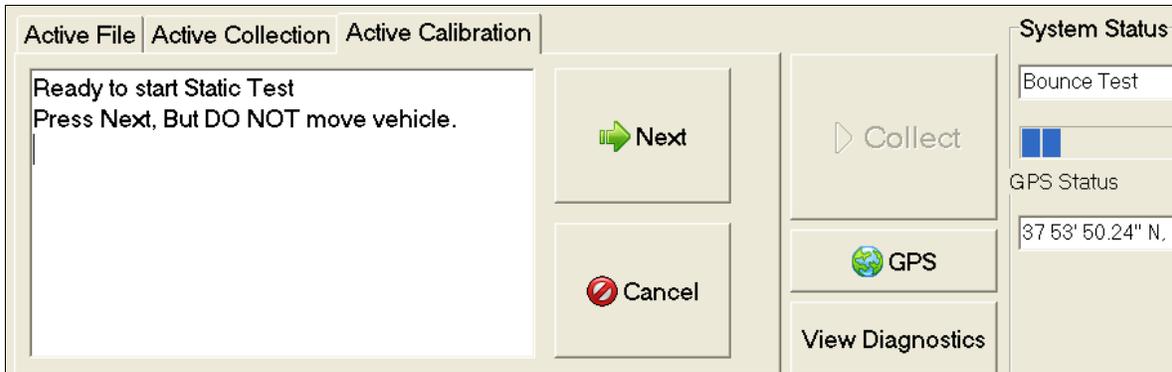


Ilustración 34 Ventana del programa informando procedimiento para prueba de rebote. (LGC, 2016)

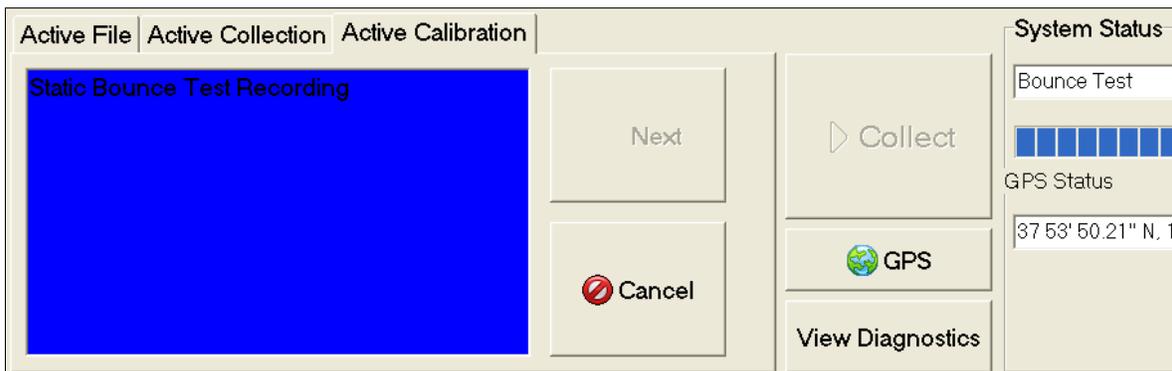


Ilustración 35 Prueba de rebote estática. (LGC, 2016)

El sistema indicará, en la ventana, el momento en que se tiene que hacer rebotar el vehículo huésped, de manera que los sensores láser sean movidos verticalmente Usar un movimiento fluido. No se debe introducir movimiento lateral o de lado a lado. Se requiere aplicar movimiento a la suspensión del vehículo de arriba hacia abajo, manteniendo los sensores láser lo más vertical posible. (Ilustración 36)

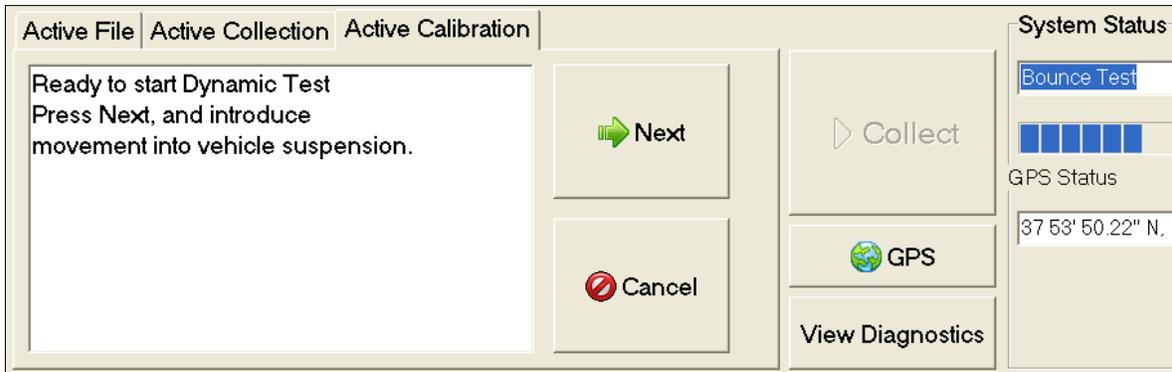


Ilustración 36 Inicio para la prueba de rebote dinámica. (LGC, 2016)

Cuando el programa indique “Stop”, detener el movimiento y esperar a que finalice el proceso. El programa guarda el archivo automáticamente.

Abrir el archivo y verificar que el resultado cumpla las recomendaciones del fabricante. Para la prueba estática en este caso, el IRI debe ser menor que 0,079 m/km (5 in./mile.) y para la prueba dinámica el IRI calculado debe ser menor que 0,237 m/km (15 in./mile.), con una longitud base de 160,93 m (528 pies) en cada sensor. En caso de que los resultados obtenidos sean mayores a las recomendaciones del fabricante, repetir las rutinas de comprobación de los sensores y nuevamente ejecutar la prueba de rebote. Caso contrario contactar al fabricante.

2.8. Reporte de las comprobaciones

El programa del equipo de perfil para este dispositivo en particular, despliega un reporte con información de las principales comprobaciones realizadas para ser emitidas. El reporte contiene información resumida sobre la versión del software y el resumen de la comprobación. Las comprobaciones incluidas abarcan la comprobación de constantes de los acelerómetros, la comprobación de conteos de distancia y la comprobación de los ajustes del inclinómetro, así como las fechas en que se realizaron.

Para observar este reporte, hay que ingresar a la interface principal del programa “Profiler” en el botón “Analyze Data” y en la parte inferior izquierda, en la casilla de Data Output, seleccionar “Calibration Report” y presionar el botón “View”, donde se mostrará el reporte. (Ilustraciones 37 y 38)

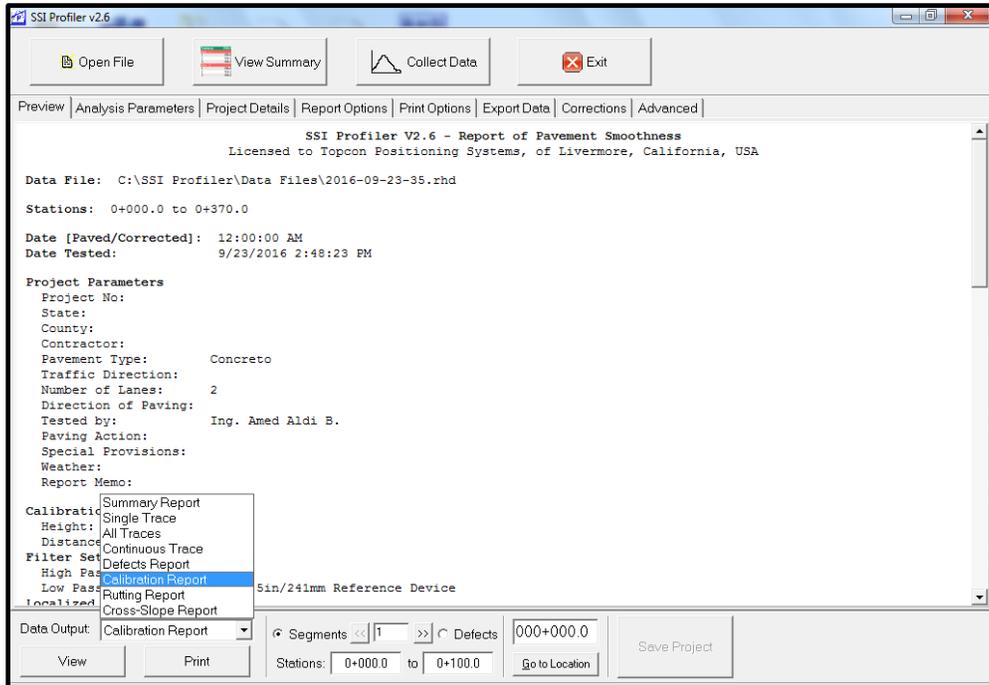


Ilustración 37 Obtener el reporte de las verificaciones internas. (LGC, 2016)

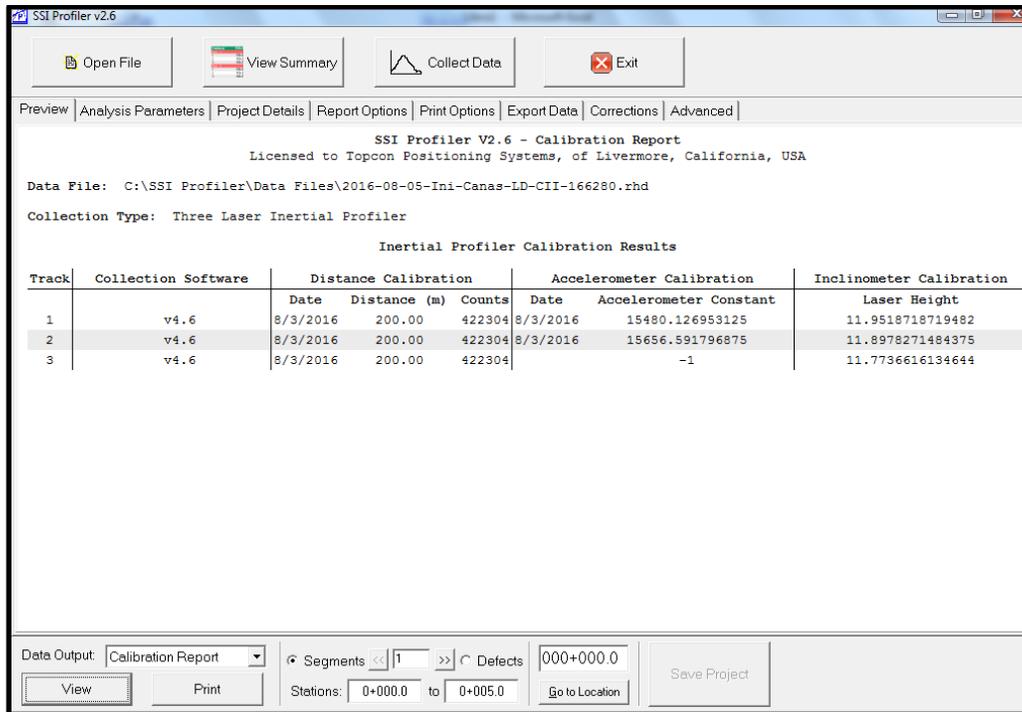


Ilustración 38 Reporte de verificaciones. (LGC, 2016)

2.9. Recopilación de datos de campo.

A continuación, se describe el proceso para la toma de datos con el perfilómetro laser RTP-300.

Para iniciar es necesario encender el ordenador de interface para el operador. Ingresar al programa “SSI Profiler” y permitir que se estabilice (indicación: “Ready”). (Ilustración 39)



Ilustración 39 Programa de colección de datos. (LGC, 2016)

En la interface del programa, ingresar al icono “Collect Data” y nombrar un archivo nuevo con la extensión.rdh, que incluya en el formato del nombre de manera abreviada, la fecha, nombre de la ruta, lado, carril y sentido de la medición, para identificar la medición por realizar. Por ejemplo: 20XX-XX-XX- Ruta#- Ref.-LX-CX (año-mes-día-número de ruta-referencia del sentido-lado (izquierdo o derecho)-carril (externo o interno).

De ser necesario, seleccione los parámetros del sistema y los filtros de longitud de onda del perfil según las especificaciones del proyecto establecidas por el Organismo Supervisor y/o las recomendaciones del manual del fabricante.

El operador debe familiarizarse con la sección a ensayar, previo a la medición del perfil, realizando un recorrido a lo largo de la longitud de la sección, y conocer claramente su inicio y fin, así como la dirección del tránsito, además de identificar cualquier otra característica como singularidades, eventos y deterioros del pavimento a lo largo del segmento. Si las identificaciones de estos lugares incluidos en la sección de prueba deben ser detectadas de forma automática, el operador deberá colocar el marcador (cinta reflectante) adecuado en la superficie recorrida en los lugares a ser identificados.

Se debe evitar tomar mediciones en condiciones climáticas con lluvia, o si la pista se encuentra húmeda.

A pesar de que el fabricante del equipo establece que el sistema de perfil puede recolectar datos entre 8 y 105 km/h, se recomienda evitar la medición con velocidades

inferiores a 20 km/h y por encima de los 90 km/h, esto para no generar cambios bruscos de velocidad reduciendo al mínimo la entrada de estas variaciones al transductor de aceleración y transiciones inadecuadas a los filtros.

Colocar el vehículo huésped al menos a 10 m antes de la marca de inicio para alcanzar la velocidad de medición deseada o indicada por el cliente, siempre y cuando las condiciones del sitio lo permitan. Antes de iniciar, se debe encender las luces de seguridad del vehículo huésped.

El inicio de la recolección de datos de la sección de prueba puede realizarse de manera manual (botón de inicio en la interface del usuario), de manera automática (utilizando el dispositivo denominado “ojo electrónico” del equipo), o posicionando el vehículo en el punto de inicio y retrocediendo aproximadamente entre 10 m y 40 m, siempre y cuando las condiciones del sitio lo permitan.

Medir el perfil de la superficie dentro del carril en la dirección del tránsito, de manera que los sensores láser extremos sigan longitudinalmente lo más cerca posible las huellas de los vehículos, establecidas por el tráfico normal, si fuese el caso.

Durante la colección de datos, el operador debe indicar las principales particularidades que puede identificar y anotarlas en su registro, como por ejemplo, bajas y altas velocidades de medición, cambios de carril, puentes, pasos de ferrocarril, detenidas forzadas, singularidades, deterioros del pavimento, reductores de velocidad y cualquier otra causa ajena a la superficie del pavimento que ocasione perturbaciones en la medición, además deberá ubicar estos eventos a lo largo de la distancia recorrida de manera automática o manual.

Para finalizar la colección de datos, una vez que se ha sobrepasado el final del tramo de medición, se debe reducir la velocidad gradualmente y presionar el botón “Stop” en la interface del usuario o cualquier otro método que permita el programa, como por ejemplo marcas automáticas. (Ilustración 40)

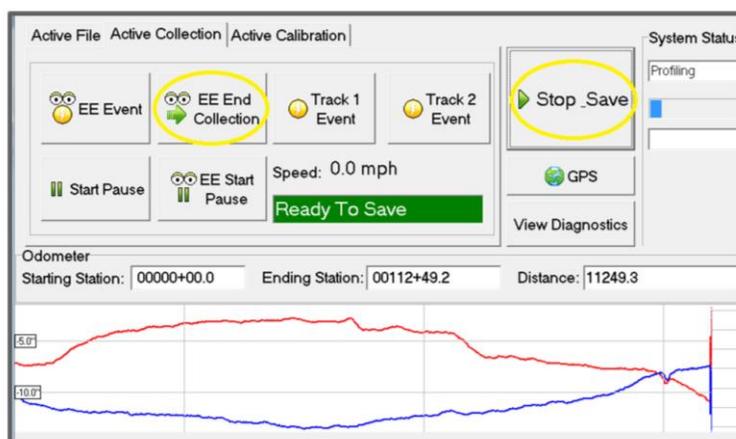


Ilustración 40 Finalización de la colección de datos. (LGC, 2016)

Se debe nombrar y guardar cada uno de los eventos encontrados en la medición del perfil antes de apagar el sistema, como se muestra en la Ilustración 41.

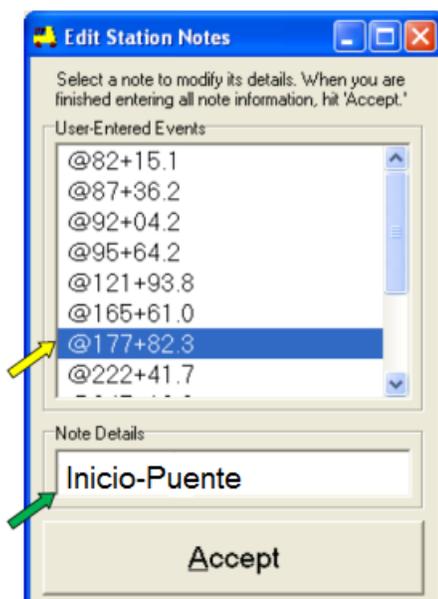


Ilustración 41 Nombramiento de eventos marcados. (LGC, 2016)

El programa calculará, mediante sus algoritmos internos, el valor estadístico del IRI para cada uno de los perfiles recolectados según la distancia longitudinal base especificada por el cliente, sin considerar las singularidades.

El análisis final se desarrolla en oficina, posterior a la medición. El usuario, una vez descargados los datos de IRI, realiza la tramificación siguiendo la normativa o los requerimientos cartelarios establecidos para el proyecto. También debe ubicar las singularidades y su longitud de influencia para descartar estos tramos del análisis y basado en los valores máximos establecidos emitir el criterio normativo de aceptación o la multa correspondiente.

CAPÍTULO III: EQUIPO DE CEPILLADO DE PAVIMENTOS

3.1. Funcionamiento general del equipo de cepillado.

El proceso de cepillado data de 1965 en Estados Unidos (Ilustración 42), inició como medida de conservación de pavimentos rígidos, y la técnica se ha extendido debido al desarrollo de equipos más eficientes, y al avance en el conocimiento de los modelos de deterioro de los pavimentos tanto flexibles como rígidos.



Ilustración 42 Primeros equipos de cepillado que existieron.

El equipo consiste básicamente en una batería de discos de corte que va desgastando la superficie del pavimento, disminuyéndole ostensiblemente sus irregularidades y ondulaciones. En el pavimento se eliminan irregularidades del perfil, el desnivel que presentan las losas, y se mejora la adherencia de las llantas al pavimento. La máquina está compuesta por un sistema hidráulico que controla el tambor de cepillado o unidad de corte, el cual a su vez está conformado por cerca de 150 discos diamantados. (Ilustración 43)



Ilustración 43 Rodillo de cepillado (EMIN, s.f.)

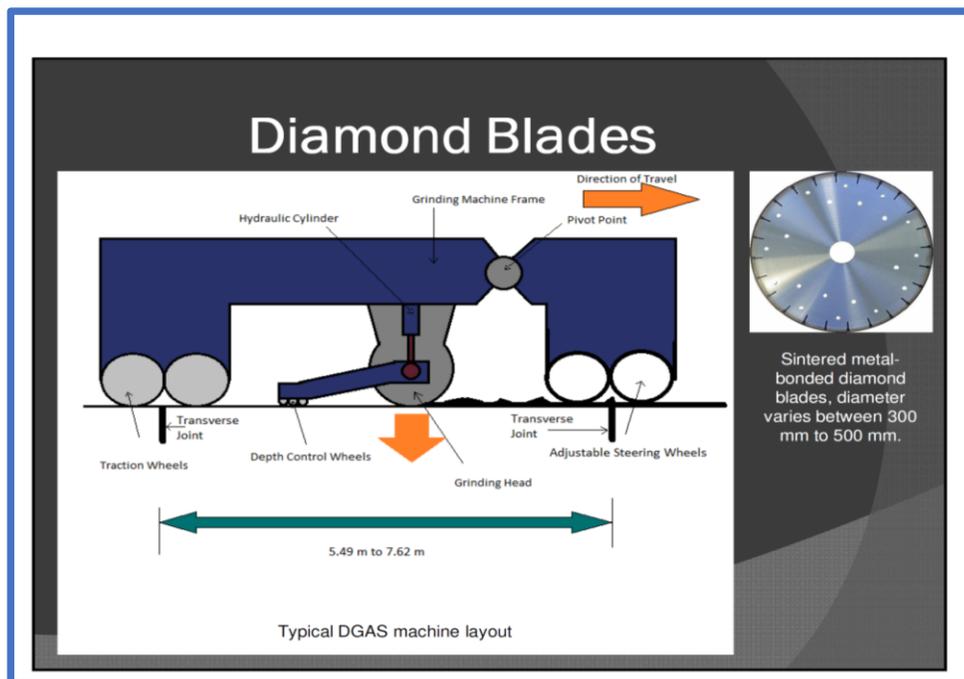


Ilustración 44 Esquema equipo de cepillado (EMIN, s.f.)

El vehículo presenta un sistema motriz en la parte posterior; y en la sección delantera, un eje de pivote para que la unidad de corte tenga la posibilidad de mejorar el perfil existente, al penetrar en el pavimento, la Ilustración 44 muestra el esquema del equipo. Esta penetración la maneja y detecta el sistema de control en la sección posterior del tambor de cepillado, el cual, en los equipos más modernos, la registra en su panel de mando y está disponible para el operador en su ordenador. Asimismo, almacena información de rendimiento y parámetros de funcionamiento de la máquina. El computador le permite también al conductor vigilar las condiciones y ajustar puntos según sea necesario. A través de pantallas, especialmente diseñadas, el operador puede manipular el trabajo de la máquina, medir y calcular el desgaste de producción, la velocidad de la unidad de corte y la presión que ejerce sobre pavimento, además del avance del trabajo. (Ilustración 45)



Ilustración 45 Máquina de cepillado (*EMIN, s.f.*)

3.2. Operación del equipo de cepillado.

A partir de un plan de cepillado, el operador ubica el equipo en posición, activa el sistema hidráulico que protege la unidad de corte (Ilustración 46), para luego accionar el sistema de irrigación que lubrica y enfría los discos, desplegando el sistema sobre el pavimento. Luego el operador hace avanzar el equipo y paulatinamente penetra el tambor de corte en el pavimento hasta la profundidad establecida. A partir de este momento inicia la absorción de lechada por parte del sistema de succión, que la conduce hasta el camión receptor. Durante este proceso, el operador controla en todo momento la ubicación del sistema de corte, a fin de que este no penetre demasiado en el pavimento o que se ubique constantemente de forma superficial, debido a la condición del perfil del pavimento.



Ilustración 46 Cobertor del sistema de cepillado (Fuente: LGC)

De acuerdo con el diseño del equipo, el ancho de trabajo de la máquina puede ser hasta de 2,60 metros, con el cual se abarca específicamente de 0,90 a 2,25 metros de cepillado. Es capaz de cepillar de 1,5 a 2,5 kilómetros en una jornada de 10 horas. En pasadas sucesivas para abarcar el ancho de un carril, o el ancho transversal a cepillar, debe existir un traslape superior a 15 cm entre una y otra pasada. (EMIN, s.f.)



Ilustración 47 Equipo de trabajo de cepillado (EMIN, s.f.)

El equipo de trabajo está compuesto por la máquina principal o cepilladora, más un camión que recoge los residuos y otro camión tanque que abastece de agua para enfriar los discos del sistema de cepillado. Los residuos salen en forma de pasta inerte. (Ilustración 47)

3.3. Mantenimiento del equipo de cepillado

El mantenimiento de este tipo de equipo se circunscribe al manual suministrado por el fabricante, sin embargo, las actividades básicas son:

- Se debe verificar que el sistema de corte no presente deterioro de los discos, los cuales deben ser cambiados si esto ocurre.
- Verificar pérdidas o deterioro del equipo hidráulico que gobierna el sistema de corte.
- Verificar el equipo de medición que informa al panel de control la profundidad de corte.
- Verificar los demás sistemas de control que gobiernan el equipo.
- Limpiar las tuberías que drenan la lechada residual.
- Verificar la presión del sistema de bombeo que enfría el sistema de corte y produce la lechada residual.

Por otra parte, se debe analizar el tipo de agregado con el que está conformado el pavimento a cepillar, debido a que, según sea el tipo de pavimento (rígido o flexible) y la composición mineral de la superficie de rueda, así será el tipo de disco de corte que se debe seleccionar. En la Ilustración 48 se muestra una clasificación general utilizada para considerar la dureza de diferentes tipos de agregados, utilizados en pavimentación. (EMIN, s.f.)

Aggregate Hardness		
SOFT	MEDIUM	HARD
Limestone	River Gravel	Granite
Dolomite	Trap Rock	Flint
Coral	Granite	Chert
River Gravel		Quartz
		River Gravel

Ilustración 48 Dureza de agregados (EMIN, s.f.)

Una recomendación específica en el uso de este tipo de equipo es que, durante la operación, no se deben dar vibraciones fuertes en el sistema de corte, pues puede producir su deterioro inmediato. Esto se puede constatar en la pérdida de uniformidad en el pavimento tratado, el cual presentaría deformaciones y desprendimientos de agregados.

Capítulo IV: Metodología de Análisis

4.1. Modelo MCP para mejorar el IRI a partir del cepillado.

El modelo de cepillado de pavimentos (MCP), corresponde a una herramienta que permite al ingeniero establecer las labores de cepillado y predecir su Índice de regularidad final. Esto facilita establecer un plan para definir costos de mejora en el IRI, reducción de multas por incumplimientos en este parámetro y una opción de conservación del pavimento al mejorar no sólo la regularidad, sino que produce disminución en las cargas dinámicas, una disminución en la intensidad del ruido y un aumento de la fricción, lo que evita derrapes de los vehículos.

4.2. Análisis de datos para elaborar el modelo de cepillado MCP.

4.2.1. Característica de los datos de IRI

Como se ha explicado antes, el IRI es el resultado de un cálculo matemático obtenido a partir de la medición del perfil (Dominguez, 2010) de un pavimento, y generalmente las especificaciones internacionales utilizan el promedio para estimar el cumplimiento por parte del constructor, con respecto a una norma establecida en un contrato. El promedio es un estadístico aplicable para datos que proceden de una población cuya distribución es normal, sin embargo, los valores de IRI no necesariamente provienen de una población con esta distribución. Por otra parte, el **Teorema de Límite Central** nos permite trabajar con los promedios de IRI, a pesar de que la distribución de estos datos no es normal. *“En el caso de una población cualquiera con media μ y varianza σ^2 , la distribución de las medias de las muestras \bar{X} , obtenida a partir de todas las muestras aleatorias de tamaño n de la población, estará distribuida aproximadamente en forma normal si el tamaño n de las muestras es grande ($n \geq 30$).”* (Dominguez, 2010).

A continuación, se procede a demostrar esta característica a partir de 4 series de 200 datos de IRI a cada 5 m (1.0 Km) obtenidos en el proyecto Cañas – Liberia, con el uso de un perfilómetro inercial RTP-300, propiedad de LGC Ingeniería de Pavimentos. Se tomaron datos de un kilómetro debido a que generalmente esta es la longitud con la que se evalúa el parámetro de IRI en los proyectos viales. Con estos datos (Ver Anexo N°1), y el uso del programa estadístico Minitab, se comprueba que los promedios de los datos de IRI, siguen una distribución Normal. A continuación, se hace el análisis para una serie y en el **Anexo N°1**, se muestra la comprobación para las otras tres.

En las Ilustraciones 49 y 50, se presentan los 200 datos de MRI correspondientes al tramo Río Potrero – Pte. Río Urraca del Proyecto Cañas – Liberia

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (m/Km)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (m/Km)
0+000.0	0+005.0	5	1,4	2	1,7	0+250.0	0+255.0	5	2,1	2,6	2,4
0+005.0	0+010.0	5	2,2	2,6	2,4	0+255.0	0+260.0	5	4,9	4,5	4,7
0+010.0	0+015.0	5	2,6	1,1	1,9	0+260.0	0+265.0	5	2,7	2,6	2,6
0+015.0	0+020.0	5	2,9	2,3	2,6	0+265.0	0+270.0	5	2,9	2,7	2,8
0+020.0	0+025.0	5	1,9	1,8	1,8	0+270.0	0+275.0	5	2,6	2,9	2,8
0+025.0	0+030.0	5	2,7	3,1	2,9	0+275.0	0+280.0	5	1,7	2,7	2,2
0+030.0	0+035.0	5	2,7	2	2,4	0+280.0	0+285.0	5	1,9	1,6	1,8
0+035.0	0+040.0	5	2,8	2,9	2,8	0+285.0	0+290.0	5	2	1,3	1,7
0+040.0	0+045.0	5	2,7	2,1	2,4	0+290.0	0+295.0	5	2,2	1,2	1,7
0+045.0	0+050.0	5	2,4	1,8	2,1	0+295.0	0+300.0	5	3,3	1,8	2,6
0+050.0	0+055.0	5	2,3	2,1	2,2	0+300.0	0+305.0	5	2,9	1	2
0+055.0	0+060.0	5	1,4	2,4	1,9	0+305.0	0+310.0	5	2,2	1,2	1,7
0+060.0	0+065.0	5	2	3,1	2,6	0+310.0	0+315.0	5	1,5	1	1,3
0+065.0	0+070.0	5	2,9	3	2,9	0+315.0	0+320.0	5	1,7	2	1,9
0+070.0	0+075.0	5	3	1,6	2,3	0+320.0	0+325.0	5	1,5	0,4	0,9
0+075.0	0+080.0	5	1,8	2,1	1,9	0+325.0	0+330.0	5	1,5	0,5	1
0+080.0	0+085.0	5	2,9	2,4	2,7	0+330.0	0+335.0	5	2,3	2	2,2
0+085.0	0+090.0	5	2,9	1,8	2,4	0+335.0	0+340.0	5	2,2	2	2,1
0+090.0	0+095.0	5	2	1,8	1,9	0+340.0	0+345.0	5	2	1,4	1,7
0+095.0	0+100.0	5	2	1,5	1,7	0+345.0	0+350.0	5	1,3	1,5	1,4
0+100.0	0+105.0	5	3	1,5	2,3	0+350.0	0+355.0	5	1,3	1,4	1,3
0+105.0	0+110.0	5	3,3	2,5	2,9	0+355.0	0+360.0	5	1,7	0,6	1,1
0+110.0	0+115.0	5	3,2	3,6	3,4	0+360.0	0+365.0	5	2,1	2	2
0+115.0	0+120.0	5	4,8	2,7	3,8	0+365.0	0+370.0	5	2,7	1,8	2,3
0+120.0	0+125.0	5	2,6	2,1	2,4	0+370.0	0+375.0	5	2,6	1,3	2
0+125.0	0+130.0	5	2,6	3,4	3	0+375.0	0+380.0	5	2,2	1,5	1,9
0+130.0	0+135.0	5	2,9	3,4	3,1	0+380.0	0+385.0	5	1,3	2,1	1,7
0+135.0	0+140.0	5	1,7	1,9	1,8	0+385.0	0+390.0	5	0,9	1	1
0+140.0	0+145.0	5	1,4	1,9	1,6	0+390.0	0+395.0	5	1,6	1,4	1,5
0+145.0	0+150.0	5	2,6	2,1	2,3	0+395.0	0+400.0	5	1,6	1,5	1,5
0+150.0	0+155.0	5	2,1	2,2	2,1	0+400.0	0+405.0	5	2,1	2,1	2,1
0+155.0	0+160.0	5	1,8	2,6	2,2	0+405.0	0+410.0	5	3,5	2,3	2,9
0+160.0	0+165.0	5	2,3	1,2	1,8	0+410.0	0+415.0	5	3,5	1,5	2,5
0+165.0	0+170.0	5	2	1,9	2	0+415.0	0+420.0	5	2,2	2,1	2,1
0+170.0	0+175.0	5	2,4	2,4	2,4	0+420.0	0+425.0	5	1,5	1,5	1,5
0+175.0	0+180.0	5	2,5	2,5	2,5	0+425.0	0+430.0	5	2,2	1,2	1,7
0+180.0	0+185.0	5	1,8	2,2	2	0+430.0	0+435.0	5	1,5	1,2	1,4
0+185.0	0+190.0	5	1,7	1,2	1,5	0+435.0	0+440.0	5	2,4	1,5	1,9
0+190.0	0+195.0	5	1,7	1,5	1,6	0+440.0	0+445.0	5	1,7	1,5	1,6
0+195.0	0+200.0	5	2,9	1,5	2,2	0+445.0	0+450.0	5	2,2	1,2	1,7
0+200.0	0+205.0	5	1,8	1,5	1,6	0+450.0	0+455.0	5	1,3	1,3	1,3
0+205.0	0+210.0	5	1,9	1,7	1,8	0+455.0	0+460.0	5	1,9	1,4	1,6
0+210.0	0+215.0	5	2,5	2,6	2,6	0+460.0	0+465.0	5	2	2,8	2,4
0+215.0	0+220.0	5	2	2,3	2,2	0+465.0	0+470.0	5	2,9	2,2	2,5
0+220.0	0+225.0	5	1,2	1,5	1,4	0+470.0	0+475.0	5	1,6	1,5	1,6
0+225.0	0+230.0	5	1,8	1,6	1,7	0+475.0	0+480.0	5	1,9	1	1,5
0+230.0	0+235.0	5	1,2	2,1	1,6	0+480.0	0+485.0	5	2	1,5	1,7
0+235.0	0+240.0	5	1,5	1,2	1,4	0+485.0	0+490.0	5	2,5	2,5	2,5
0+240.0	0+245.0	5	2,5	1,8	2,2	0+490.0	0+495.0	5	2,7	1,7	2,2
0+245.0	0+250.0	5	1,3	1,7	1,5	0+495.0	0+500.0	5	1,4	1,3	1,4

Ilustración 49 Datos de MRI Sección Pte. Río Potrero – Pte. Río Urraca Lado Derecho sobre Carril Externo Proyecto Cañas – Liberia de 0+000 a 0+500 (Fuente: LGC)

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (m/Km)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (m/Km)
0+500.0	0+505.0	5	1,3	1,4	1,3	0+750.0	0+755.0	5	2,6	2,2	2,4
0+505.0	0+510.0	5	1,5	1,7	1,6	0+755.0	0+760.0	5	3,4	4,2	3,8
0+510.0	0+515.0	5	2,4	1,9	2,1	0+760.0	0+765.0	5	2,3	2,4	2,3
0+515.0	0+520.0	5	2,8	2,4	2,6	0+765.0	0+770.0	5	2,3	2	2,1
0+520.0	0+525.0	5	2,4	2,3	2,4	0+770.0	0+775.0	5	1,4	1,3	1,4
0+525.0	0+530.0	5	1,1	1,1	1,1	0+775.0	0+780.0	5	3	2,2	2,6
0+530.0	0+535.0	5	2,6	2,5	2,5	0+780.0	0+785.0	5	2,2	2,3	2,2
0+535.0	0+540.0	5	1,8	1,6	1,7	0+785.0	0+790.0	5	2,7	1,6	2,1
0+540.0	0+545.0	5	2,2	1,4	1,8	0+790.0	0+795.0	5	2,5	2,8	2,6
0+545.0	0+550.0	5	1,1	1,5	1,3	0+795.0	0+800.0	5	2,4	5,2	3,8
0+550.0	0+555.0	5	1,4	1,4	1,4	0+800.0	0+805.0	5	2,4	2,5	2,4
0+555.0	0+560.0	5	2,5	2,2	2,4	0+805.0	0+810.0	5	1,8	3,8	2,8
0+560.0	0+565.0	5	1,9	1,4	1,7	0+810.0	0+815.0	5	2,5	3	2,8
0+565.0	0+570.0	5	2,2	1,9	2	0+815.0	0+820.0	5	2,8	3,5	3,1
0+570.0	0+575.0	5	2,3	1,5	1,9	0+820.0	0+825.0	5	2,6	2,8	2,7
0+575.0	0+580.0	5	1,8	2	1,9	0+825.0	0+830.0	5	1,7	1,7	1,7
0+580.0	0+585.0	5	2,1	2,3	2,2	0+830.0	0+835.0	5	2,2	3,2	2,7
0+585.0	0+590.0	5	2,4	2,7	2,5	0+835.0	0+840.0	5	2,7	1,5	2,1
0+590.0	0+595.0	5	1,7	1,4	1,6	0+840.0	0+845.0	5	2,3	2	2,1
0+595.0	0+600.0	5	2,3	1,8	2,1	0+845.0	0+850.0	5	1,9	1,6	1,7
0+600.0	0+605.0	5	3,6	3,3	3,5	0+850.0	0+855.0	5	3,5	2,4	2,9
0+605.0	0+610.0	5	3,1	1,7	2,4	0+855.0	0+860.0	5	4,1	2,9	3,5
0+610.0	0+615.0	5	2,7	2,3	2,5	0+860.0	0+865.0	5	1,2	2,4	1,8
0+615.0	0+620.0	5	2,7	1,5	2,1	0+865.0	0+870.0	5	1,1	2,4	1,8
0+620.0	0+625.0	5	2,3	1,5	1,9	0+870.0	0+875.0	5	1,7	2,5	2,1
0+625.0	0+630.0	5	1,9	1,6	1,7	0+875.0	0+880.0	5	3,3	2,4	2,8
0+630.0	0+635.0	5	2,7	3,5	3,1	0+880.0	0+885.0	5	2	1,9	1,9
0+635.0	0+640.0	5	2,2	1,5	1,9	0+885.0	0+890.0	5	1,6	2	1,8
0+640.0	0+645.0	5	2	2,2	2,1	0+890.0	0+895.0	5	1,8	2,6	2,2
0+645.0	0+650.0	5	1	1,4	1,2	0+895.0	0+900.0	5	2,3	1,8	2,1
0+650.0	0+655.0	5	0,9	2,3	1,6	0+900.0	0+905.0	5	2,4	2,9	2,6
0+655.0	0+660.0	5	2,4	3,1	2,7	0+905.0	0+910.0	5	2,1	2,1	2,1
0+660.0	0+665.0	5	2,1	4,5	3,3	0+910.0	0+915.0	5	1,9	1,7	1,8
0+665.0	0+670.0	5	1,8	4,5	3,2	0+915.0	0+920.0	5	1,6	2,3	2
0+670.0	0+675.0	5	1,8	1,9	1,8	0+920.0	0+925.0	5	2,4	2,4	2,4
0+675.0	0+680.0	5	3	2,3	2,7	0+925.0	0+930.0	5	0,9	1,6	1,3
0+680.0	0+685.0	5	1,9	3,5	2,7	0+930.0	0+935.0	5	1,3	2,5	1,9
0+685.0	0+690.0	5	2,6	1,8	2,2	0+935.0	0+940.0	5	2,4	2,6	2,5
0+690.0	0+695.0	5	1,9	1,2	1,6	0+940.0	0+945.0	5	2,1	1,6	1,8
0+695.0	0+700.0	5	1,8	1,2	1,5	0+945.0	0+950.0	5	2,1	1,5	1,8
0+700.0	0+705.0	5	1,7	2	1,9	0+950.0	0+955.0	5	1,6	2,1	1,8
0+705.0	0+710.0	5	2	2,6	2,3	0+955.0	0+960.0	5	2,1	1,9	2
0+710.0	0+715.0	5	2,2	2,2	2,2	0+960.0	0+965.0	5	2,8	2,1	2,5
0+715.0	0+720.0	5	1,9	1,8	1,8	0+965.0	0+970.0	5	2,4	1,7	2,1
0+720.0	0+725.0	5	2,6	2	2,3	0+970.0	0+975.0	5	1,5	1,7	1,6
0+725.0	0+730.0	5	3,4	1,5	2,4	0+975.0	0+980.0	5	2,3	1,2	1,7
0+730.0	0+735.0	5	3,8	3,9	3,8	0+980.0	0+985.0	5	1,9	1,6	1,8
0+735.0	0+740.0	5	1,9	1,6	1,8	0+985.0	0+990.0	5	3,1	2,2	2,7
0+740.0	0+745.0	5	2	1,7	1,9	0+990.0	0+995.0	5	2	1,4	1,7
0+745.0	0+750.0	5	2,1	2,8	2,5	0+995.0	1+000.0	5	2,6	1,8	2,2

Ilustración 50 Datos de MRI Sección Pte. Río Potrero – Pte. Río Urraca Lado Derecho sobre Carril Externo Proyecto Cañas – Liberia de 0+500 a 1+000 (Fuente: LGC)

En la Ilustración 51, al observar el índice de probabilidad “Pvalue”, se puede señalar en términos estadísticos que a un nivel de confianza del 95% ($\alpha=0.05$), la distribución de la población de los 200 datos de MRI presenta evidencia significativa de ser diferente de una distribución normal. Por otra parte, la distribución de los datos si concuerda con una Log normal (Pvalue = 0.162 > 0.05).

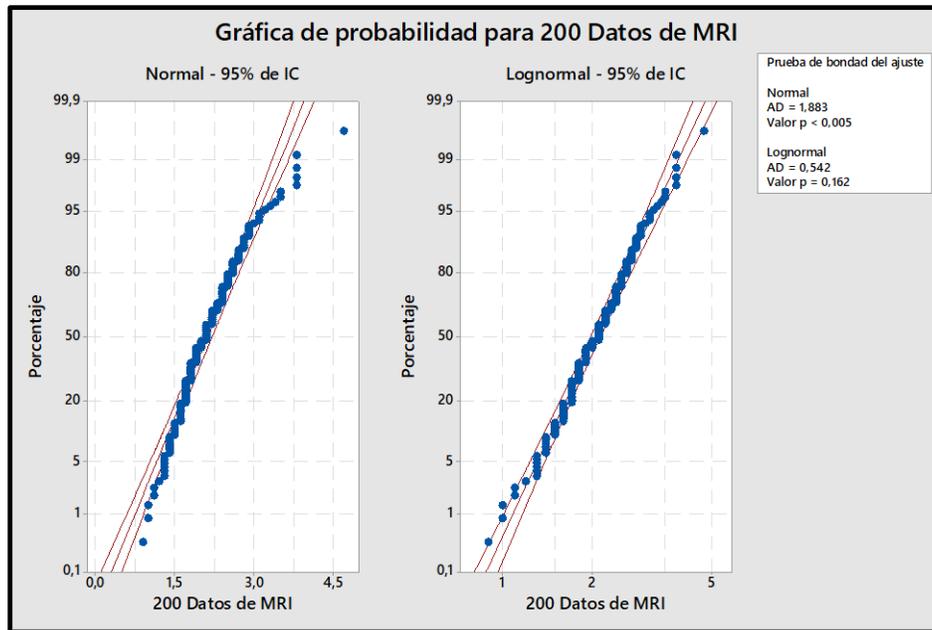


Ilustración 51 Distribución de los 200 datos de MRI (Minitab18, 2017)

De la Tabla 2, el valor de asimetría es 0.92 lo que significa que los datos presentan asimetría positiva o asimétricos hacia la derecha; se llaman así porque la "cola" de la distribución apunta hacia la derecha y porque el valor de asimetría es positivo. La distribución normal no tiene asimetría. (Ver Ilustración 52)

Por su parte la curtosis indica la mayor o menor cantidad de datos que se agrupan en torno a la moda, y nos muestra la manera en que la altura de la curva y las colas de una distribución difieren de la distribución normal. La curtosis nos ayuda a lograr entender inicialmente las características generales de la distribución de los datos. Una distribución con un valor positivo de curtosis como en este caso de 1.76 (menor a 3), indica que la distribución tiene una curva menos pronunciada que la distribución normal, es decir que la distribución es mesocúrtica. (AsistenteMinitab18, 2017). El parámetro de curtosis, así como el de asimetría, aportan elementos de juicio adicionales para valorar si una distribución sigue la tendencia normal o no.

Tabla 1 Estadísticas descriptivas de los 200 datos de MRI (Minitab18, 2017)

Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana
200 Datos de MRI	200	2,1280	0,0417	0,5891	0,3471	27,68	0,9000	2,1000
Variable	Máximo	Asimetría	Curtosis					
200 Datos de MRI	4,7000	0,92	1,76					

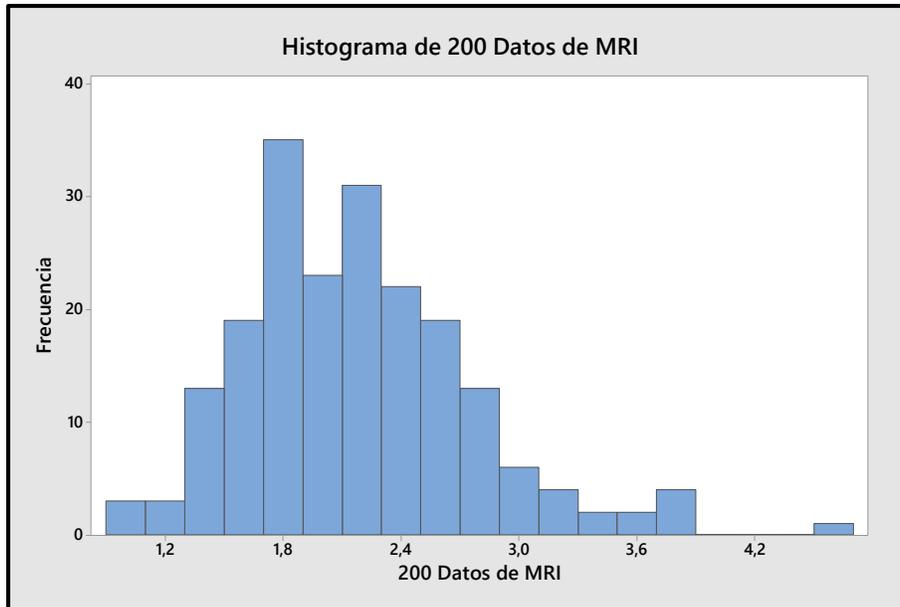


Ilustración 52 Histograma de 200 datos de MRI (*Minitab18, 2017*)

El **Teorema de Limite Central** requiere que la cantidad de muestras sea suficientemente grande ($n \geq 30$) por lo que también es aplicable a este tipo de datos, a pesar de desconocer la distribución de su población. Para demostrarlo se procedió a tomar promedios a partir de diferentes tamaños de muestra ($n=2$, $n=4$, $n=5$) de los 200 datos de MRI. Al realizar este análisis, y de acuerdo con el teorema, la distribución de los promedios se comportará con una distribución normal, con mayor similitud a la distribución normal, conforme aumenta el valor de n . El Teorema del Límite Central es un teorema fundamental de Probabilidad y Estadística, y describe la distribución de la media de una muestra aleatoria proveniente de una población con varianza finita. Cuando el tamaño de la muestra es lo suficientemente grande, la distribución de las medias sigue aproximadamente una distribución normal. El teorema se aplica independientemente de la forma de la distribución de la población. Muchos procedimientos estadísticos comunes requieren que los datos sean aproximadamente normales. El teorema de límite central nos permite aplicar estos procedimientos útiles a poblaciones que son considerablemente no normales, siempre y cuando se esté empleando el promedio y/o la desviación estándar para caracterizar la población que engloba todos los posibles promedios de muestras, como es el caso con la estimación del IRI. El tamaño que debe tener la muestra depende de la forma de la distribución original, si esta es simétrica, el tamaño de la muestra puede ser menor de 30 datos.

A continuación, se procederá a demostrar que este teorema se cumple para los datos de MRI, donde los índices estadísticos para cada tamaño de muestra a partir de 200 datos, se presenta en la Tabla 3. Los resultados se muestran gráficamente en las Ilustraciones 53,54 y 55.

Tabla 2 Estadísticas descriptivas para los diferentes tamaños de muestra. (Minitab18, 2017)

Estadísticas								
Variable	N	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mínimo	Mediana
200 Datos de MRI	200	2,1280	0,0417	0,5891	0,3471	27,68	0,9000	2,1000
Media n=2	100	2,1280	0,0489	0,4893	0,2395	23,00	0,9500	2,1000
Media n=4	50	2,1280	0,0543	0,3843	0,1477	18,06	1,3750	2,0750
Media n=5	40	2,1280	0,0576	0,3644	0,1328	17,13	1,5200	2,0700
Variable	Máximo	Asimetría	Curtosis					
200 Datos de MRI	4,7000	0,92	1,76					
Media n=2	3,6000	0,65	0,76					
Media n=4	3,1000	0,28	-0,23					
Media n=5	3,0600	0,64	0,19					

Tabla 3 Datos de Valor p para los diferentes tamaños de muestra. (Minitab18, 2017)

Variable	Distribución	Valor p	Distribución	Valor p
200 DATOS DE IRI	No normal	<0.05	Log normal	0.162
IRI (n=2)	No normal	0.029	Log normal	0.582
IRI (n=4)	Normal	0.061	Log normal	0.125
IRI (n=5)	Normal	0.181	Log normal	0.608

De la Tabla 4 se obtiene que a partir de $n=4$, las posibles muestras con dicha cantidad de observaciones conforman una distribución normal, pues el Valor p (0.061) es mayor de $\alpha=0.05$. Esto confirma el Teorema de Limite Central, y como se observa en la Tabla 3, la media no varía para los diferentes conjuntos de datos, por lo que lo convierte en el mejor estimador para la media de la población, es decir $\bar{x}=\mu$. Por su parte, la desviación estándar disminuye conforme aumenta el valor del tamaño de las muestras (n), acorde al teorema; si se tomara una única muestra con la totalidad de observaciones no habría error estándar alguno, ya que habría certeza total en el promedio medido, ya que representa la totalidad de las observaciones.

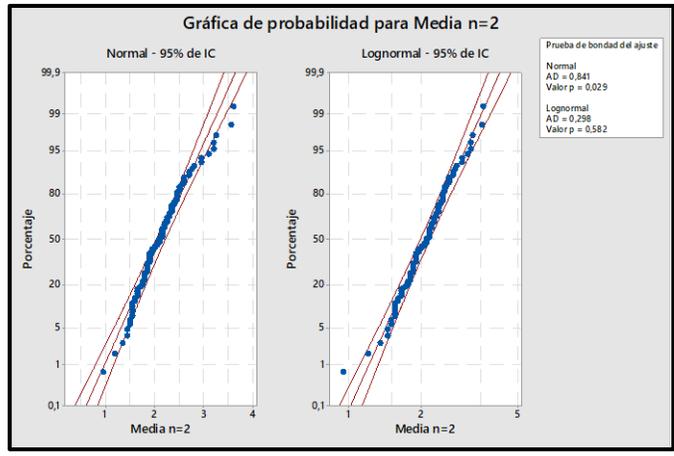


Ilustración 53 Prueba de Normalidad para n=2. (Minitab18, 2017)

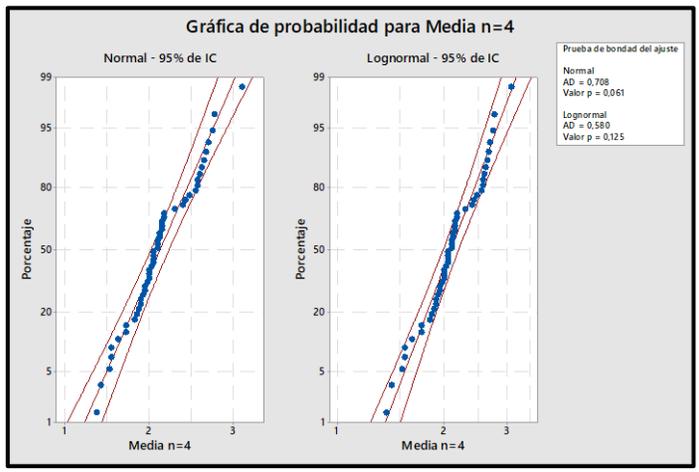


Ilustración 54 Prueba de Normalidad para n=4. (Minitab18, 2017)

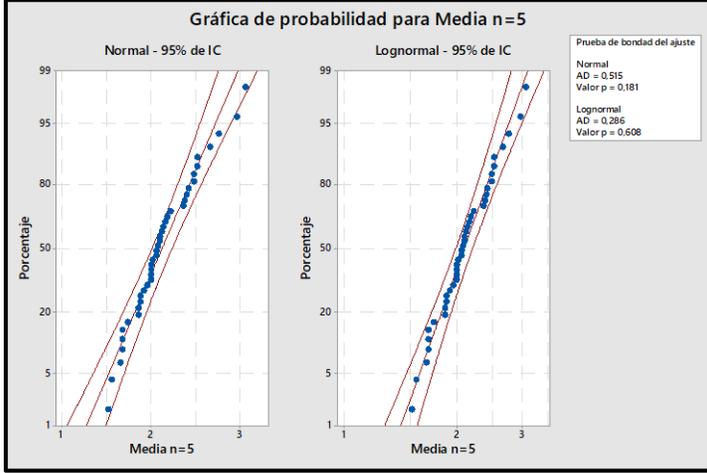


Ilustración 55 Prueba de Normalidad para n=5. (Minitab18, 2017)

4.2.2. Tramos de prueba de cepillado para las diferentes condiciones del perfil

Las condiciones de perfil para los tramos de prueba se definen como: valle, cresta y plano. Estos perfiles son los obtenidos con un perfilómetro inercial, y se caracterizan por su elevación con respecto a la horizontal. Cresta representa elevación positiva y valle negativa (Ver Ilustración 56).

Para producir los datos que originan el modelo, se deben realizar al menos tres tratamientos o procesos de cepillado, donde una vez determinado el perfil inicial, se procede ubicando el equipo en las tres posiciones, es decir, uno con el sistema de cepillado iniciando sobre la sección plana de un perfil, otro donde el equipo se ubique sobre un valle y el último sobre la cresta del perfil; lo que permitirá principalmente, definir cuál es la mejor posición para el inicio del proceso.

En todos los casos se debe iniciar bajando paulatinamente el equipo hasta profundizar el cabezal al menos 3 mm. Una vez que se cepilla al menos 50 m para cada perfil y en el ancho especificado, se obtienen los datos de IRI después del cepillado a cada 5 metros. Los datos de estos tratamientos fueron obtenidos en el Proyecto Cañas – Liberia y se muestran en la Tabla 5.

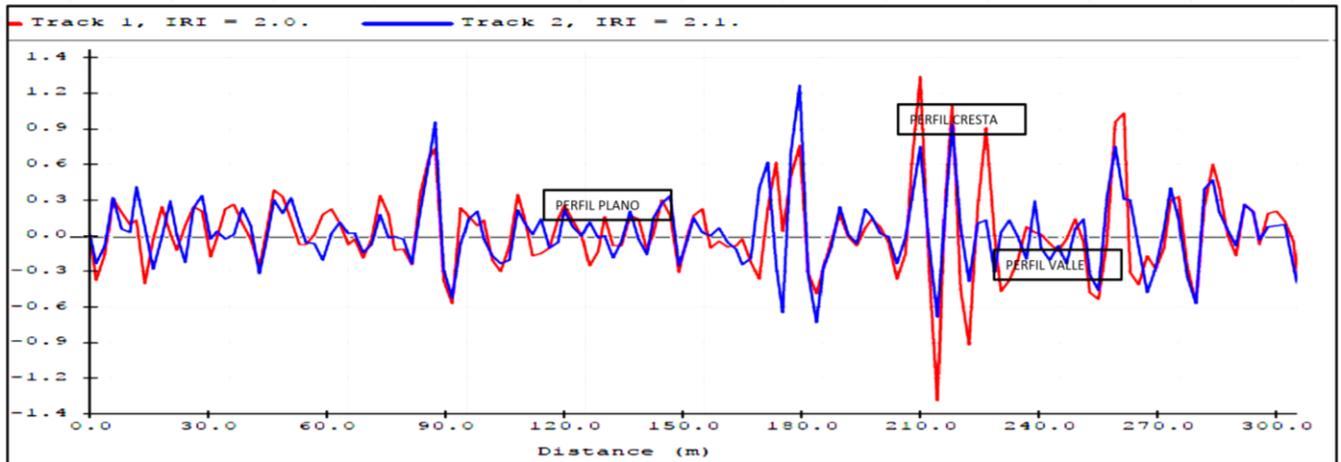


Ilustración 56 Condiciones del perfil. (LGC, 2016)

Tabla 4 Datos de MRI inicial y final para los diferentes tratamientos. (Fuente: El autor)

Distancia (m)	MRI antes de tratamiento	MRI después de tratamiento Sobre el Valle	MRI antes de tratamiento	MRI después de tratamiento Sobre la Cresta	MRI antes de tratamiento	MRI después de tratamiento Sobre el Plano
5	2,9	2,2	2,4	1,5	1,6	1,7
10	2,7	2,0	3,0	1,9	1,6	1,6
15	1,3	1,0	3,9	2,3	1,6	1,2
20	1,7	1,2	5,5	3,3	1,4	1,1
25	1,5	1,2	6,6	3,4	2,7	1,8
30	1,3	0,9	5,7	3,1	2,4	2,2
35	1,5	1,3	5,4	3,0	2,0	1,6
40	1,3	1,0	2,6	2,0	1,6	1,5
45	1,2	0,8	2,0	0,8	1,1	1,0
50	3,6	2,3	2,6	1,5	2,1	1,9
55	6,9	3,3			1,7	1,6
60	2,1	1,6			1,5	1,4
65	1,5	1,1			1,4	1,1
70	1,8	1,8			2,0	1,7
75					4,4	6,5
80					3,0	3,3
85					1,6	2,0
90					1,9	1,7

4.3. Análisis estadístico de los datos obtenidos para los tres tratamientos de cepillado

Para utilizar los datos y poder plantear el modelo MCP, es necesario establecer su validez estadística, a fin de demostrar que estos no provengan del azar, sino de la influencia de los diferentes tratamientos aplicados al pavimento. Para el análisis estadístico utilizaremos la Prueba Anova de un factor, la cual permite examinar datos con observaciones múltiples. En pruebas Anova se procura explicar diferencias en una variable respuesta a partir de diferencias cualitativas o factores experimentales. Esta prueba supone que la distribución de cada grupo de datos es normal, lo cual se demostró antes, que existe homogeneidad de varianzas en los grupos y que estos son totalmente independientes. Con los datos de los tratamientos se procede a evaluar las condiciones planteadas a partir de la información de la Tabla 5 y con el uso de Minitab.

Para iniciar se realizará una prueba para homogeneidad de varianzas, con la cual evaluamos uno de los requerimientos de Anova para los datos de MRI de los tres tratamientos. Para un 95% de nivel de confianza y suponiendo distribución normal de los

datos. Con esta prueba se establece si existe diferencia significativa entre los tratamientos, utilizando el Método de Bartlett.

Tabla 5 Prueba de homogeneidad de varianzas para los tres tratamientos. (Minitab18, 2017)

Método			
Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales		
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$		
<i>Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.</i>			
Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para desviaciones estándar			
Muestra	N	Desv.Est.	IC
sección valle	14	0,70229	(0,476354; 1,27335)
sección cresta	10	0,87580	(0,557918; 1,86377)
sección en plano	18	1,24044	(0,876797; 2,05251)
Nivel de confianza individual = 98,3333%			
Pruebas			
Método	Estadística de prueba	Valor p	
Bartlett	4,55	0,103	

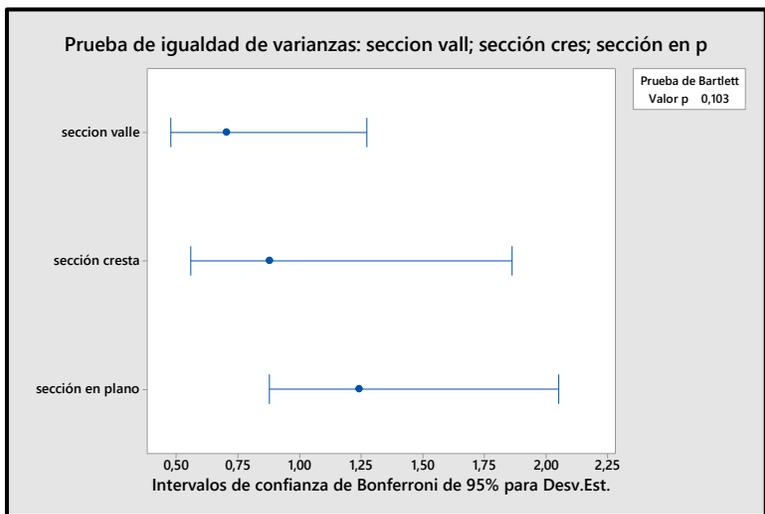


Ilustración 57 Intervalos de confianza. (Minitab18, 2017)

De acuerdo con la Tabla 6, se acepta la hipótesis nula de que las varianzas de los datos, con un nivel de confianza del 95%, tienen una misma varianza, que, por Inferencia

Estadística corresponde a la varianza de la población de la cual provienen las muestras. Minitab determina el valor p a partir de la prueba de Bartlett, debido a que se asume que los datos tienen distribución normal, y por presentarse tres tratamientos. Por otra parte, el Método de Bonferroni se utiliza para controlar el nivel de confianza simultáneo para un conjunto completo de intervalos de confianza (Ver Ilustración 57). Es importante considerar el nivel de confianza simultáneo cuando se examinan múltiples intervalos de confianza, porque las probabilidades de que al menos uno de los intervalos de confianza no contenga el parámetro de población es mayor para un conjunto de intervalos que para cualquier intervalo individual. Para contrarrestar esta tasa de error más elevada, el método de Bonferroni ajusta el nivel de confianza para cada intervalo individual, de manera que el nivel de confianza simultáneo resultante sea igual al valor que ha especificado. (Minitab18, 2017)

Ahora se procede con la prueba de Anova de un solo factor, donde el análisis se basa en varianzas homogéneas, considerando además que los datos de los tratamientos tienen distribución normal y que los tratamientos son independientes. La primera interrogante a despejar es si existen diferencias entre el MRI promedio de los diferentes tipos de tratamiento, considerando sólo dos fuentes de variabilidad: los tratamientos y el error aleatorio.

Tabla 6 Prueba Anova de un Factor para los tres tratamientos. (Minitab18, 2017)

ANOVA de un solo factor: seccion valle; sección cresta; ... ión en plano					
Método					
Hipótesis nula	Todas las medias son iguales				
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales				
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$				
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>					
Información del factor					
Factor	Niveles	Valores			
Factor	3	seccion valle; sección cresta; sección en plano			
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	2	3,230	1,615	1,60	0,216
Error	39	39,473	1,012		
Total	41	42,702			
Resumen del modelo					
S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred.)		
1,00604	7,56%	2,82%	0,00%		
Medias					
Factor	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%	
seccion valle	14	1,554	0,702	(1,010; 2,098)	
sección cresta	10	2,293	0,876	(1,650; 2,937)	
sección en plano	18	1,930	1,240	(1,450; 2,409)	
<i>Desv.Est. agrupada = 1,00604</i>					
Comparaciones en parejas de Fisher					
Agrupar información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%					
Factor	N	Media	Agrupación		
sección cresta	10	2,293	A		
sección en plano	18	1,930	A		
seccion valle	14	1,554	A		
<i>Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.</i>					

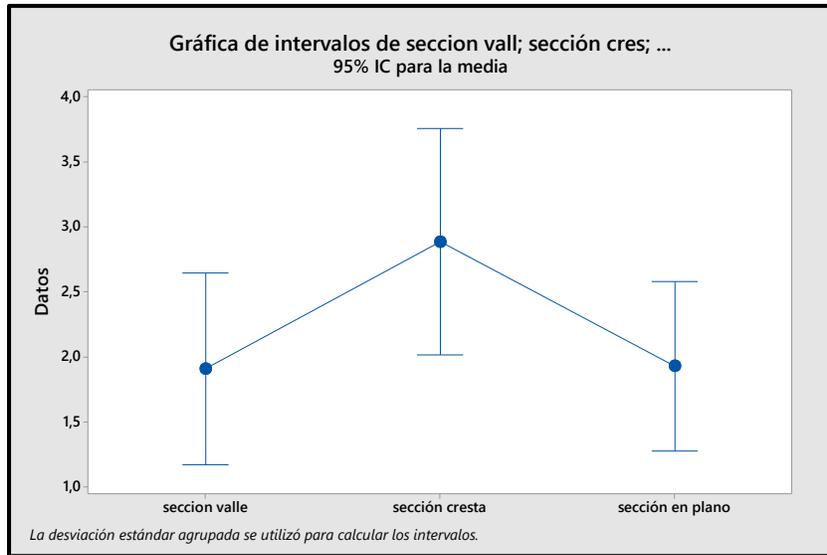


Ilustración 58 Intervalos de confianza para la media de los Tratamientos. (Minitab18, 2017)

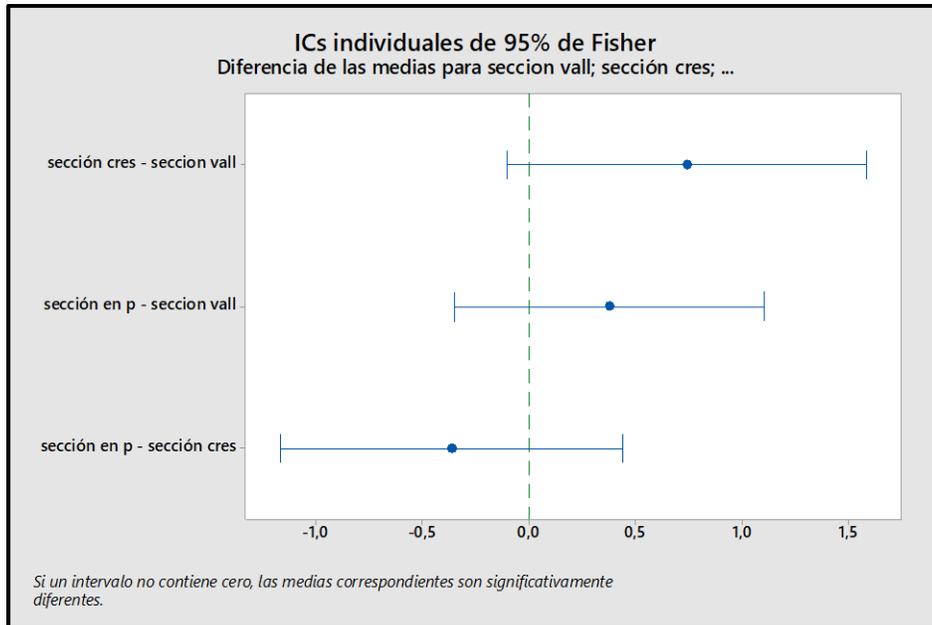


Ilustración 59 Intervalos de confianza para diferencia de medias entre tratamientos. (Minitab18, 2017)

De la Tabla 7 e Ilustración 58, se deduce que las medias de los datos de MRI para los tres tratamientos son iguales entre sí y pueden corresponder a muestras tomadas de la misma población; es decir que se acepta la hipótesis nula. Esto se concluye a partir del valor $p = 0.216$; además al observar la Ilustración 59, se puede establecer, a partir de los intervalos de confianza, que existe la probabilidad de que la media para los tres intervalos puede ser igual, lo que confirma H_0 .

Con los datos para los tres tratamientos, se procede a elaborar una regresión lineal para establecer la relación matemática entre el MRI inicial y el final después del cepillado, definir una plantilla para extraer los datos de una sección de perfil, y crear un algoritmo que realice una predicción del MRI final.

Es importante aclarar que, analizar solo los datos de MRI para definir un plan de cepillado no es correcto, por cuanto es necesario observar cómo están distribuidas las alteraciones del perfil, para definir la mejor estrategia de cepillado. Para ello el ingeniero requiere observar de forma conjunta los datos y el perfil correspondiente. Esto también forma parte de MCP, el cual se desarrolla en el siguiente capítulo.

La sección del perfil por tratar se analiza con la Herramienta Proval, debido a que el software del perfilómetro no permite seccionar los perfiles de una medición continua. Este programa es de licencia libre.

Capítulo V: Análisis de Resultados

5.1. Regresión lineal para establecer una función de cepillado para MCP

Una vez que se ha verificado que los tratamientos no producen diferencias en las medias de MRI para los tramos sometidos al proceso de cepillado, bajo las condiciones de trabajo establecidas, se logró definir que el proceso de cepillado se puede desarrollar de forma continua sin que se deban hacer variaciones significativas, según el cabezal pase por un valle, una cresta o una sección plana del perfil de la vía. Es decir que independientemente de las características del perfil (valle, cresta o plano) se pueden tratar de forma conjunta.

Sin embargo, en las pruebas se pudo observar que, cuando el cabezal se ubica sobre un valle, la profundidad del cabezal en el pavimento sobre secciones con crestas altas, puede sobrepasar la profundidad de textura especificada; y cuando se ubica sobre una sección en cresta, el cepillado sobre los valles puede ser muy superficial. Por lo tanto, la mejor alternativa fue plantear la opción de iniciar el cepillado en sección plana, la cual presentó una mejor distribución de la profundidad del cabezal.

El siguiente paso es definir una función que describa la relación entre el MRI inicial y el MRI final después del cepillado. Para ello se utilizan los datos correspondientes a la Tabla 5, de tal forma que se establece una correlación lineal entre ambos grupos de datos, y con los factores m y b, se obtienen los parámetros de entrada para el MCP. La correlación se desarrolla a partir de Minitab, y en la Tabla 8 e Ilustración 60, se muestran los resultados del coeficiente de correlación R^2 con un valor de 89%, el cual es muy aceptable. La ecuación de regresión con forma $Y=m*IRI \text{ inicial} + B$, presenta los valores de $m=0.4340$ y $b= 0.6464$, donde $Y = IRI$ de tratamiento o proyectado.

Análisis de regresión: iri tratamiento vs. iri inicial					
La ecuación de regresión es iri tratamiento = 0,6464 + 0,4340 iri inicial					
Resumen del modelo					
	S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)		
	0,227419	89,44%	89,17%		
Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
Regresión	1	17,5130	17,5130	338,62	0,000
Error	40	2,0688	0,0517		
Total	41	19,5818			

Tabla 7 Regresión lineal entre IRI inicial y el IRI de tratamiento. (Minitab 18, 2017)

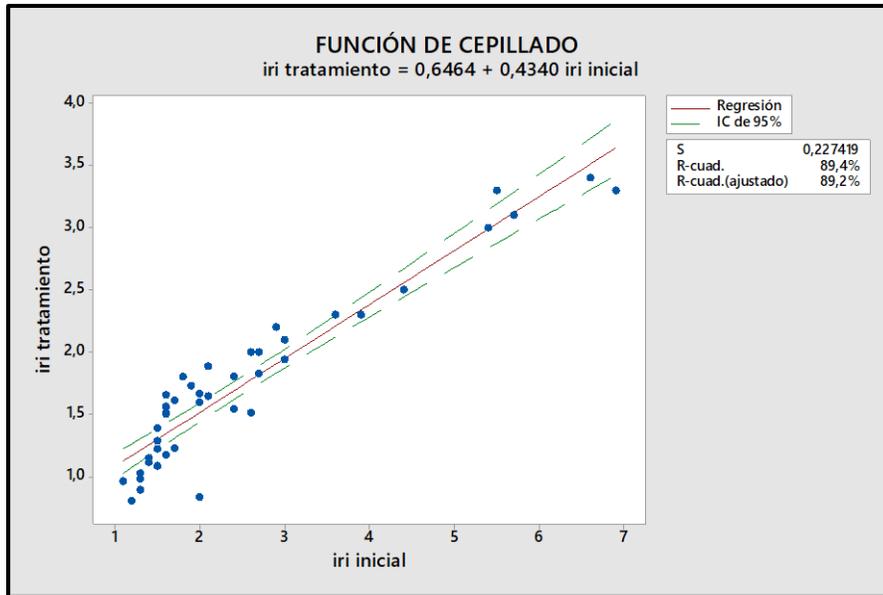


Ilustración 60 Gráfica de regresión lineal. (Minitab18, 2017)

Para corroborar la validez del modelo de regresión generado, es necesario prestar atención al comportamiento de los residuos entre los datos observados y la línea de predicción; estos deben tener una distribución normal y estar distribuidos aleatoriamente; lo cual indica que no existe dependencia entre los datos utilizados en el análisis. La Ilustración 61 muestra que las condiciones mencionadas se cumplen satisfactoriamente.

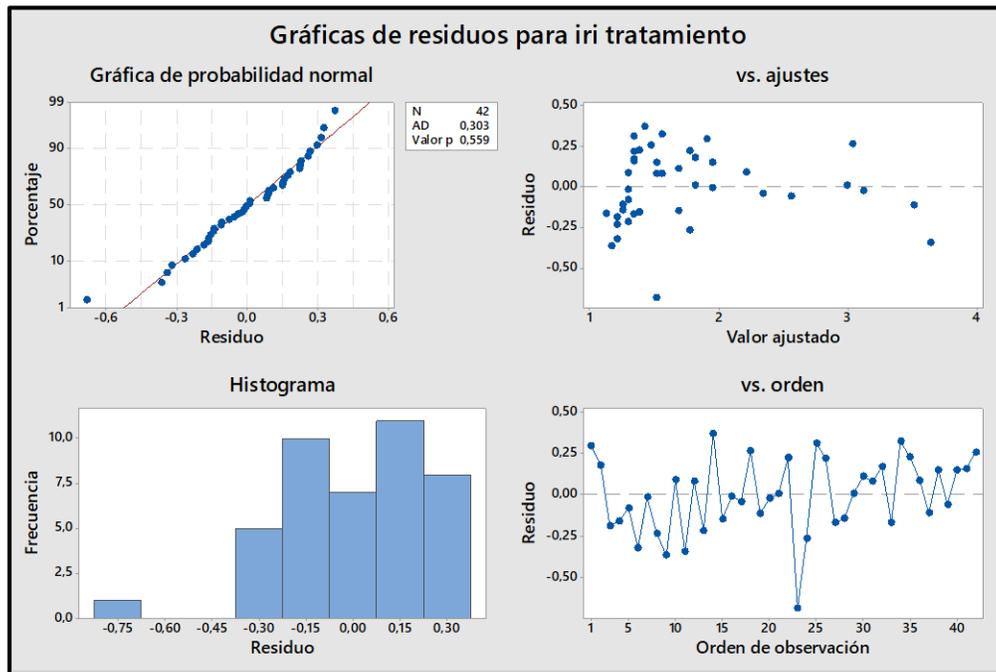


Ilustración 61 Condición de residuos para regresión lineal. (Minitab18, 2017)

5.2. Plantilla de la herramienta MCP (Modelo de Cepillado de Pavimento)

La herramienta MCP ofrece un mecanismo informático para establecer las zonas de cepillado del pavimento y conseguir con ello la reducción del IRI solicitado. Este programa parte de los datos de IRI resultantes del análisis del perfil longitudinal recolectado en campo y la exigencia del parámetro de especificación; optimiza las zonas mínimas por cepillar para alcanzar un valor menor al límite establecido.

The screenshot shows the main window of the MCP software. At the top, there are input fields for 'Norma' (value: 2.0), 'Variable1' (value: 0.7179), and 'Variable2' (value: 0.441), along with an 'Importar Datos' button. Below these are fields for 'Promedios', 'IRI Inicial', 'IRI Proyectado', and 'IRI Final'. A large table with the following headers is visible: 'Numero Fila', 'Estacion1 (m)', 'Estacion2 (m)', 'Distancia (m)', 'IRI Inicial (m/km)', 'Cumple', 'Funcion Cepillado (m/km)', 'Grupo', 'Cepillar S/N', and 'Optimizado (m/km)'. To the right of the table is a 'Nota' section containing instructions in Spanish. At the bottom, there are summary fields for 'Distancia Total', 'Distancia de Cepillado', and 'Porcentaje Cepillado', along with a 'Plantilla Origen de Datos' link and a 'Salir' button.

Ilustración 62 Hoja principal del Programa MCP (Modelo Cepillado de Pavimentos)

Para esto, se requiere de varios datos de entrada, entre ellos: la norma o especificación del Índice de Regularidad, los parámetros de la ecuación (Variable 1 y Variable 2) basados en la regresión lineal (IRI de tratamiento); y por último importar los datos de IRI promedio, para el tramo de longitud base en estudio que presenta incumplimiento. La longitud base puede ser 100 o 200 metros según sea la especificación contractual, y los datos de MRI se deben estacionar a cada 5 metros debido a que se requiere tener suficiente precisión para ubicar el equipo de cepillado; además esta longitud facilita el análisis por ser múltiplo de la longitud base.

This is a close-up view of the input fields in the MCP software. It shows three text boxes: 'Norma' with the value '2,0', 'Variable1' with the value '0,7971', and 'Variable2' with the value '0,4410'. To the right of these fields is a button labeled 'Importar Datos'.

Ilustración 63 Datos de entrada para las variables de regresión lineal.

Para importar los valores de regularidad (MRI), es necesario tener los datos de IRI en formato *Excel* y mantener un orden establecido como el que se indica en la plantilla que integra el MCP. Esta consta de un arreglo de columnas con datos de estacionamiento inicial, final, valor de IRI promedio y distancia.

Estacion1 / Start Distance (m)	Estacion2 / Stop Distance (m)	Distancia / Length (m)	IRI Inicial / MRI (m/km)	IRI Final / MRI (m/km)
0	5,003799915	5,003799915	5,003799915	2,554256108
5,003799915	10,00759983	5,003799915	5,003799915	1,384149671
10,00759983	15,01140022	5,003799915	5,003799915	2,356686831
15,01140022	20,01519966	5,003799915	5,003799915	1,708758712
20,01519966	25,0189991	5,003799915	5,003799915	2,719284773
25,0189991	30,02280045	5,003799915	5,003799915	3,103593588
30,02280045	35,02659988	5,003799915	5,003799915	1,778666973
35,02659988	40,03039932	5,003799915	5,003799915	2,280679464
40,03039932	45,03419876	5,003799915	5,003799915	3,197090864
45,03419876	50,0379982	5,003799915	5,003799915	2,885962963
50,0379982	55,04179764	5,003799915	5,003799915	2,258527279
55,04179764	60,04560089	5,003799915	5,003799915	2,082688332
60,04560089	65,04940033	5,003799915	5,003799915	2,406050205
65,04940033	70,05319977	5,003799915	5,003799915	2,530867577
70,05319977	75,05699921	5,003799915	5,003799915	1,993335485
75,05699921	80,06079865	5,003799915	5,003799915	2,690332413
80,06079865	85,06459808	5,003799915	5,003799915	2,225189447
85,06459808	90,06839752	5,003799915	5,003799915	2,236546993
90,06839752	95,07219696	5,003799915	5,003799915	2,536151886
95,07219696	99,97439575	4,648200035	5,003799915	1,966897488

Ilustración 64 Arreglo de los datos en Excel para importarlos a MCP

Una vez que todas las entradas del programa se establecieron correctamente, se despliegan en pantalla y ordenados por columnas los valores de MRI, más las columnas: **Cumple, Función de Cepillado, Grupo, Cepillar S/N** y por último el **Valor de IRI Optimizado**, como se muestra en la Ilustración 65.

En la parte superior de la ventana, se muestra el promedio general del tramo en estudio (**IRI Inicial**), así como los valores de **IRI proyectado** que son los resultantes de aplicar la función de cepillado a los tramos que no cumplen con la especificación. El **IRI Final**, es el dato del promedio que se obtiene tras aplicar la optimización de los subtramos por cepillar y manteniendo los valores de IRI iniciales que cumplen con la especificación.

Promedios		IRI Inicial		IRI Proyectado		IRI Final			
		2.6		2		2			
Numero Fila	Estacion1 (m)	Estacion2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input type="checkbox"/>	1,7
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Ilustración 65 Datos cargados en MCP

La columna **Cumple** (Ilustración 66), marca los subtramos que son inferiores a la especificación en una longitud de 5 m y desmarca todos los que la sobrepasan, que corresponden a los que se les aplica la función de cepillado.

IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input type="checkbox"/>	1,7
2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Ilustración 66 Descripción de la columna “Cumple” del MCP

Función de cepillado, muestra al usuario el resultado de IRI que se obtiene al aplicar la función utilizando las constantes de Variable1 (b) y Variable2 (m), ingresadas al inicio, para los datos que no cumplen con la norma establecida. El proceso de determinar si cada registro cumple o no con la norma y que en los casos en que no cumplan se les aplique la función de cepillado, es automático, es decir lo ejecuta el algoritmo al cargar los datos. (Ilustración 67)

IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
2.6	<input type="checkbox"/>	1.9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
1.4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4	0	<input type="checkbox"/>	1.4
2.4	<input type="checkbox"/>	1.8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
1.7	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7	0	<input type="checkbox"/>	1.7
2.7	<input type="checkbox"/>	1.9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
3.1	<input type="checkbox"/>	2.1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1
1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8	0	<input type="checkbox"/>	1.8
2.3	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
3.2	<input type="checkbox"/>	2.1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1
2.9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
2.3	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2.1	<input type="checkbox"/>	1.6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6
2.4	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
2.5	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
2	<input type="checkbox"/>	1.6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6
2.7	<input type="checkbox"/>	1.9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
2.2	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2.2	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2.5	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
2	<input type="checkbox"/>	1.6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6

Ilustración 67 Función de Cepillado del MCP

La columna Grupo, asigna un contador a los subtramos que no cumplen para optimizar la longitud de cepillado, de tal manera que se cepillen los tramos consecuentes y de mayor longitud para incrementar el rendimiento del tren de cepillado. La optimización eliminará varios de los tramos a los cuales se les aplicó inicialmente la función de cepillado, el algoritmo toma los subtramos más pequeños agrupados, siendo el más corto de 5 metros.

Numero Fila	Estacion1 (m)	Estacion2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input type="checkbox"/>	1,7
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Ilustración 68 Marcador para optimizar en MCP

IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input type="checkbox"/>	1,7
2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Ilustración 69 Botón Cepillar S/N

Cepillar S/N permite aumentar o disminuir la longitud de cepillado a partir de los datos que exceden la especificación introducida, los cuales se marcaron automáticamente al cargar los datos. El usuario puede seleccionar o desmarcar alguna de estas casillas, basado en su criterio técnico, alguna experiencia tras una auscultación del tramo, para establecer una ubicación estratégica de la maquinaria en sitio o decisiones que se tomen fundamentadas luego de correlacionar los datos de IRI con el perfil longitudinal del tramo. Sin embargo, este procedimiento se debe realizar luego de utilizar la Optimización en MCP.

Con el botón “Optimizar”, ubicado en la parte superior, el sistema irá descartando subtramos a los que se les aplicó la función de cepillado (empezando por los subtramos agrupados de menor longitud) y como considera los valores iniciales, el promedio final irá incrementando; y en el preciso momento en que el MRI promedio final sea igual o menor a la especificación, es decir cuando la siguiente selección lo haría mayor que ésta, el algoritmo detiene el proceso de optimización y presenta los valores finales.

Cepillado

Norma: 2 Variable1: 0,7179 Variable2: 0,4410

Promedios IRI Inicial: 2,4 IRI Proyectado: 1,8 IRI Final: 1,8

Numero Fila	Estacion1 (m)	Estacion2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input type="checkbox"/>	1,7
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Plantilla Origen de Datos

Distancia Total: 99,7 Distancia de Cepillado: 84,7 Porcentaje Cepillado: 85

Ilustración 70 Proceso de Optimización en MCP

La columna Optimizado, presenta los resultados como se muestra en la Ilustración 71.

	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
2	2.6	<input type="checkbox"/>	1.9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
2	1.4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.4	0	<input type="checkbox"/>	1.4
2	2.4	<input type="checkbox"/>	1.8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
2	1.7	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7	0	<input type="checkbox"/>	1.7
2	2.7	<input type="checkbox"/>	1.9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
2	3.1	<input type="checkbox"/>	2.1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1
2	1.8	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8	0	<input type="checkbox"/>	1.8
2	2.3	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2	3.2	<input type="checkbox"/>	2.1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1
2	2.9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
2	2.3	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2	2.1	<input type="checkbox"/>	1.6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6
2	2.4	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
2	2.5	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
2	2	<input type="checkbox"/>	1.6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6
2	2.7	<input type="checkbox"/>	1.9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
2	2.2	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2	2.2	<input type="checkbox"/>	1.7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.7
2	2.5	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
1	2	<input type="checkbox"/>	1.6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6

Distancia de Cepillado	Porcentaje Cepillado
<input type="text" value="84,7"/>	<input type="text" value="85"/>

Ilustración 71 Datos finales de Optimización en MCP.

En este punto, el usuario, puede, según su criterio técnico, en la columna “Cepillar S/N”, desmarcar o seleccionar algún subtramo. Nótese que, al marcar alguna casilla, el valor de “Optimizado” cambiaría ya que se le aplica la función de cepillado, lo que implica un aumento en la longitud de cepillado. En la Ilustración 72, la Fila 4 fue seleccionada manualmente con esta función, por lo que el valor de IRI pasó de 1,7 a 1,5 al aplicarse la función de cepillado. La sección correspondiente a la Fila 4, inicialmente no debía ser cepillada.

Cepillado

Norma: 2 Variable 1: 0,7179 Variable 2: 0,4410

IRI Inicial Promedios: 2,4 IRI Proyectado: 1,8 IRI Final: 1,8

Numero Fila	Estacion1 (m)	Estacion2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Ilustración 72 Selección del IRI de la Fila 4 por medio de Cepillar S/N

Caso contrario, si se deselecciona alguna casilla, el valor de esa fila, en la columna “Optimizado”, cambia a su IRI Inicial; eso se observa en la Ilustración 73 al desmarcar el valor de “IRI” en la Fila 4.

Cepillado

Norma: 2 Variable 1: 0,7179 Variable 2: 0,4410

IRI Inicial Promedios: 2,4 IRI Proyectado: 1,8 IRI Final: 1,8

Numero Fila	Estacion1 (m)	Estacion2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,4	0	<input type="checkbox"/>	1,4
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	1,7	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7	0	<input type="checkbox"/>	1,7
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,1	<input type="checkbox"/>	2,1	3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	1,8	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8	0	<input type="checkbox"/>	1,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2,1	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,3	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	2,1	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,4	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,2	<input type="checkbox"/>	1,7	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2	<input type="checkbox"/>	1,6	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6

Distancia Total: 99,7 Distancia de Cepillado: 84,7 Porcentaje Cepillado: 85

[Plantilla Origen de Datos](#)

Ilustración 73 Eliminación de la selección en Cepillar S/N para la Fila 4

En la parte inferior de la ventana del programa MCP, se observan tres casillas: “Distancia Total”, que se refiere a la longitud del tramo en estudio; “Distancia de cepillado”, que es la sumatoria de la extensión de los subtramos que finalmente se van a cepillar; y, por último, “Porcentaje de cepillado” con el cual se puede establecer el área por tratar, con respecto al área total del tramo.

Plantilla Origen de Datos	Distancia Total 99,7	Distancia de Cepillado 84,7	Porcentaje Cepillado 85
---	-------------------------	--------------------------------	----------------------------

Ilustración 74 Longitud de cepillado y su porcentaje respecto al total

5.3. Ejemplo plan de cepillado con MCP.

En la Tabla 9 se presentan los datos de 100 m del Tramo Villa Vieja – Estanque del lado derecho, carril izquierdo, tomados por LGC Ingeniería en el Proyecto Cañas – Liberia. Los datos se exportan a MCP y se analizan tal y como se explicó anteriormente.

En la Ilustración 75 se muestran los datos donde se les aplicó la función de Cepillado; de acuerdo con MCP, el IRI proyectado es de 2.0 m/km. En la Ilustración 76 aparecen los datos luego de aplicarse “Optimización”, de donde se obtiene un IRI final de 2.2 m/km. Luego, en la Ilustración 77, se comparan los resultados de MCP con el perfil, con la finalidad de establecer, a partir de la experiencia del usuario o aspectos de costo, si es necesario eliminar y/o sumar algún subtramo. En este ejemplo se puede observar en la Ilustración 78, cómo se elimina el subtramo 3 debido a que se ubica en un valle del perfil, y se adicionan los subtramos 17 y 18 por estar en cresta, ameritando que se continúe la longitud a cepillar. En este caso se obtiene una longitud final de 45,2 metros, y el IRI final no varió de 2.2 m/km. La Ilustración 79 muestra el perfil con los subtramos eliminados y adicionados, y la Ilustración 80 presenta un formato para el plan de cepillado, el cual se entregaría al superintendente del trabajo, con el propósito de que se ponga en marcha el trabajo en el sitio de obras.

Conviene aclarar que la selección o eliminación de algunos tramos por cepillar, obedece a un criterio técnico del ingeniero para optimizar el trabajo, disminuir costos y aplicar correctamente la técnica de cepillado. El usuario debe observar las características del perfil, pues MCP no indica en que sector del pavimento se debe iniciar el proceso de cepillado, y no discrimina si los incrementos de MRI son producto de valles o crestas, lo que es importante para definir una estrategia de cepillado acertada; pues como se explicó antes, iniciar sobre sección plana presenta una mejor distribución de la profundidad del cabezal.

Tabla 8 Datos para el ejemplo Uso de MCP

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	MRI (m/km)
500	505,0038147	5,00379992	2,2
505,0038147	510,0075989	5,00379992	2,4
510,0075989	515,0114136	5,00379992	2,9
515,0114136	520,0151978	5,00379992	2,6
520,0151978	525,0189819	5,00379992	2,9
525,0189819	530,0228271	5,00379992	4,9
530,0228271	535,0266113	5,00379992	1,6
535,0266113	540,0303955	5,00379992	2,5
540,0303955	545,0341797	5,00379992	2,1
545,0341797	550,0380249	5,00379992	2,6
550,0380249	555,0418091	5,00379992	2,1
555,0418091	560,0455933	5,00379992	2,0
560,0455933	565,0493774	5,00379992	2,7
565,0493774	570,0532227	5,00379992	2,8
570,0532227	575,0570068	5,00379992	3,2
575,0570068	580,060791	5,00379992	2,8
580,060791	585,0645752	5,00379992	2,3
585,0645752	590,0684204	5,00379992	3,2
590,0684204	595,0722046	5,00379992	2,6
595,0722046	599,9744263	4,64820004	2,5

Norma: Variable1: 2,5 Variable2: 0,430

Optimizar Exportar a Excel Reiniciar

IRI Inicial: 2,6 IRI Proyectado: 2 IRI Final: 2

Nota: Importe los datos utilizando como base la plantilla proporcionada. Puede Especificar los datos de Distancia, Estación1, Estación2. El software lee los datos de cada celda de Excel sin formato.

A cada registro que no cumpla IRI Inicial >= que el IRI de la norma se le aplicará la función de cepillado.

Si tras aplicar la función de cepillado el IRI final está por debajo de la Norma, se podrá realizar una optimización automatizada que evitará realizar el cepillado a la totalidad de los tramos.

El usuario también es capaz de incluir o descartar tramos según su criterio.

Utilice la optimización automatizada antes de incluir o descartar tramos manualmente.

Numero Tra	Estacion1 (m)	Estacion2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	500	505,003814697266	5,00379991531372	2,2	<input checked="" type="checkbox"/>	2,2	0	<input type="checkbox"/>	2,2
2	505,003814697266	510,007598876953	5,00379991531372	2,4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,4	0	<input type="checkbox"/>	2,4
3	510,007598876953	515,011413674219	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
4	515,011413674219	520,01519753906	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,8	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
5	520,01519753906	525,018981933594	5,00379991531372	2,9	<input type="checkbox"/>	1,9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
6	525,018981933594	530,022827148438	5,00379991531372	4,9	<input type="checkbox"/>	2,8	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2,8
7	530,022827148438	535,026611328125	5,00379991531372	1,6	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6	0	<input type="checkbox"/>	1,6
8	535,026611328125	540,030395507813	5,00379991531372	2,5	<input type="checkbox"/>	1,7	2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7
9	540,030395507813	545,0341796875	5,00379991531372	2,1	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1	0	<input type="checkbox"/>	2,1
10	545,0341796875	550,03802492344	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,8	3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
11	550,03802492344	555,041809102031	5,00379991531372	2,1	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1	0	<input type="checkbox"/>	2,1
12	555,041809102031	560,045593261719	5,00379991531372	2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0	<input type="checkbox"/>	2
13	560,045593261719	565,049377441406	5,00379991531372	2,7	<input type="checkbox"/>	1,8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
14	565,049377441406	570,0532285625	5,00379991531372	2,8	<input type="checkbox"/>	1,9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
15	570,0532285625	575,05700683938	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
16	575,05700683938	580,060791015625	5,00379991531372	2,8	<input type="checkbox"/>	1,9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
17	580,060791015625	585,064575195313	5,00379991531372	2,3	<input checked="" type="checkbox"/>	2,3	0	<input type="checkbox"/>	2,3
18	585,064575195313	590,068420410156	5,00379991531372	3,2	<input type="checkbox"/>	2	5	<input checked="" type="checkbox"/>	2
19	590,068420410156	595,07220459844	5,00379991531372	2,6	<input type="checkbox"/>	1,8	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1,8
20	595,07220459844	599,97442659531	4,6482000309521	2,5	<input type="checkbox"/>	1,7	5	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7

Distancia Total: 99,7 Distancia de Cepillado: 64,7 Porcentaje Cepillado: 64,9

Plantilla Origen de Datos Salir

Ilustración 75 Aplicación de funcion de cepillado en MCP

Nombre: 2.5 Variable1: 0.6464 Variable2: 0.4340

Optimizar: [] Exportar a Excel: [] Reiniciar: []

IRI Inicial: 2.6 IRI Proyectado: 2 IRI Final: 2.2

Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/100m)	Cumple	Funcion Cepillado	Cepillar S/N	Optimizado (m/100m)
1	500	505.003814697266	5.00379991531372	2.2	<input checked="" type="checkbox"/>	2.2	0	2.2
2	505.003814697266	510.007598876953	5.00379991531372	2.4	<input checked="" type="checkbox"/>	2.4	0	2.4
3	510.007598876953	515.011413574219	5.00379991531372	2.9	<input type="checkbox"/>	1.9	1	1.9
4	515.011413574219	520.015197753906	5.00379991531372	2.6	<input type="checkbox"/>	1.8	1	1.8
5	520.015197753906	525.018981933594	5.00379991531372	2.9	<input type="checkbox"/>	1.9	1	1.9
6	525.018981933594	530.022827148438	5.00379991531372	4.9	<input type="checkbox"/>	2.8	1	2.8
7	530.022827148438	535.026611328125	5.00379991531372	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	0	1.6
8	535.026611328125	540.03039507813	5.00379991531372	2.5	<input type="checkbox"/>	1.7	2	2.5
9	540.03039507813	545.0341796875	5.00379991531372	2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1	0	2.1
10	545.0341796875	550.038024902344	5.00379991531372	2.6	<input type="checkbox"/>	1.8	3	2.6
11	550.038024902344	555.041809082031	5.00379991531372	2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1	0	2.1
12	555.041809082031	560.045593261719	5.00379991531372	2	<input type="checkbox"/>	2	0	2
13	560.045593261719	565.049377441406	5.00379991531372	2.7	<input type="checkbox"/>	1.8	4	1.8
14	565.049377441406	570.0532265625	5.00379991531372	2.8	<input type="checkbox"/>	1.9	4	1.9
15	570.0532265625	575.05706635938	5.00379991531372	3.2	<input type="checkbox"/>	2	4	2
16	575.05706635938	580.060791015625	5.00379991531372	2.8	<input type="checkbox"/>	1.9	4	1.9
17	580.060791015625	585.064575195313	5.00379991531372	2.3	<input checked="" type="checkbox"/>	2.3	0	2.3
18	585.064575195313	590.068420410156	5.00379991531372	3.2	<input type="checkbox"/>	2	5	3.2
19	590.068420410156	595.072264589844	5.00379991531372	2.6	<input type="checkbox"/>	1.8	5	2.6
20	595.072264589844	599.974426269531	4.642000309521	2.5	<input type="checkbox"/>	1.7	5	2.5

Planta Origen de Datos: [] Distancia Total: 99.7 Distancia de Cepillado: 40 Porcentaje Cepillado: 40.1

Nota: Importe los datos utilizando como base la plantilla proporcionada. Puede Especificar los datos de Distancia, Estación 1, Estación 2. El software lee los datos de cada celda de Excel en formato. A cada registro que no cumple IRI Inicial >= que el IRI de la norma se le aplicará la función de cepillado. Si tras aplicar la función de cepillado el IRI final está por debajo de la Norma, se podrá realizar una optimización automatizada que entienda realizar el cepillado a la totalidad de los tramos. El usuario también es capaz de incluir o descartar tramos según su criterio. Utilice la optimización automatizada antes de incluir o descartar tramos manualmente.

Ilustración 76 Aplicación de OPTIMIZACION en MCP

PS

Nombre	Variable1	Variable2
2.5	0.6464	0.4340
IRI Inicial	2.6	IRI Proyectado
IRI Final	2.2	IRI Final
Distancia Total	99.7	Distancia Cepillada
		40
		Porcentaje Cepillado
		40.1

Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/100m)	Cumple S/N	Funcion Cepillado	Cepillar S/N	IRI Final (m/100m)
1	500	505.003814697266	5.00379991531372	2.2	SI			2.2
2	505.003814697266	510.007598876953	5.00379991531372	2.6	SI			2.6
3	510.007598876953	515.011413574219	5.00379991531372	2.9	NO	1.9	SI	1.9
4	515.011413574219	520.015197753906	5.00379991531372	2.6	NO	1.8	SI	1.8
5	520.015197753906	525.018981933594	5.00379991531372	2.9	NO	1.9	SI	1.9
6	525.018981933594	530.022827148438	5.00379991531372	4.9	NO	2.8	SI	2.8
7	530.022827148438	535.026611328125	5.00379991531372	1.6	SI			1.6
8	535.026611328125	540.03039507813	5.00379991531372	2.5	NO	1.7	NO	2.5
9	540.03039507813	545.0341796875	5.00379991531372	2.1	SI			2.1
10	545.0341796875	550.038024902344	5.00379991531372	2.6	NO	1.8	NO	2.6
11	550.038024902344	555.041809082031	5.00379991531372	2.1	SI			2.1
12	555.041809082031	560.045593261719	5.00379991531372	2	SI			2
13	560.045593261719	565.049377441406	5.00379991531372	2.7	NO	1.8	SI	1.8
14	565.049377441406	570.0532265625	5.00379991531372	2.8	NO	1.9	SI	1.9
15	570.0532265625	575.05706635938	5.00379991531372	3.2	NO	2	SI	2
16	575.05706635938	580.060791015625	5.00379991531372	2.8	NO	1.9	SI	1.9
17	580.060791015625	585.064575195313	5.00379991531372	2.3	SI			2.3
18	585.064575195313	590.068420410156	5.00379991531372	3.2	NO	2	NO	3.2
19	590.068420410156	595.072264589844	5.00379991531372	2.6	NO	1.8	NO	2.6
20	595.072264589844	599.974426269531	4.642000309521	2.5	NO	1.7	NO	2.5

Ilustración 77 Comparación datos de MCP con el perfil. (Excel, 2016)

Norma: 2.5 Variable1: 0.6464 Variable2: 0.4340

IRI Inicial: 2.6 IRI Proyectoado: 2 IRI Final: 2.2

Numero Tramo	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple	Funcion Cepillado (m/km)	Grupo	Cepillar S/N	Optimizado (m/km)
1	500	505.003814697206	5.0037991531372	2.2	<input checked="" type="checkbox"/>	2.2	0	<input type="checkbox"/>	2.2
2	505.003814697206	510.00798876963	5.0037991531372	2.4	<input checked="" type="checkbox"/>	2.4	0	<input type="checkbox"/>	2.4
3	510.00798876963	515.01413574219	5.0037991531372	2.9	<input type="checkbox"/>	1.9	1	<input type="checkbox"/>	2.9
4	515.01413574219	520.0197753906	5.0037991531372	2.6	<input type="checkbox"/>	1.8	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
5	520.0197753906	525.01881933094	5.0037991531372	2.9	<input type="checkbox"/>	1.9	1	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
6	525.01881933094	530.02287148438	5.0037991531372	4.9	<input type="checkbox"/>	2.8	1	<input checked="" type="checkbox"/>	2.8
7	530.02287148438	535.02811128125	5.0037991531372	1.6	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6	0	<input type="checkbox"/>	1.6
8	535.02811128125	540.0335657813	5.0037991531372	2.5	<input type="checkbox"/>	1.7	2	<input type="checkbox"/>	2.5
9	540.0335657813	545.034796676	5.0037991531372	2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1	0	<input type="checkbox"/>	2.1
10	545.034796676	550.03824032344	5.0037991531372	2.6	<input type="checkbox"/>	1.8	3	<input type="checkbox"/>	2.6
11	550.03824032344	555.04180900231	5.0037991531372	2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	2.1	0	<input type="checkbox"/>	2.1
12	555.04180900231	560.04593261719	5.0037991531372	2	<input checked="" type="checkbox"/>	2	0	<input type="checkbox"/>	2
13	560.04593261719	565.04937441406	5.0037991531372	2.7	<input type="checkbox"/>	1.8	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.8
14	565.04937441406	570.0522265625	5.0037991531372	2.8	<input type="checkbox"/>	1.9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
15	570.0522265625	575.0570083938	5.0037991531372	3.2	<input type="checkbox"/>	2	4	<input checked="" type="checkbox"/>	2
16	575.0570083938	580.06079101625	5.0037991531372	2.8	<input type="checkbox"/>	1.9	4	<input checked="" type="checkbox"/>	1.9
17	580.06079101625	585.06479195133	5.0037991531372	2.3	<input checked="" type="checkbox"/>	2.3	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1.6
18	585.06479195133	590.068420410156	5.0037991531372	3.2	<input type="checkbox"/>	2	5	<input checked="" type="checkbox"/>	2
19	590.068420410156	595.07224505844	5.0037991531372	2.6	<input type="checkbox"/>	1.8	5	<input type="checkbox"/>	2.6
20	595.07224505844	599.9744320931	4.648200309521	2.5	<input type="checkbox"/>	1.7	5	<input type="checkbox"/>	2.5

Distancia Total: 99.7 Distancia de Cepillado: 45 Porcentaje Cepillado: 45.1

Ilustración 78 Cambios en plan de cepillado a partir del perfil

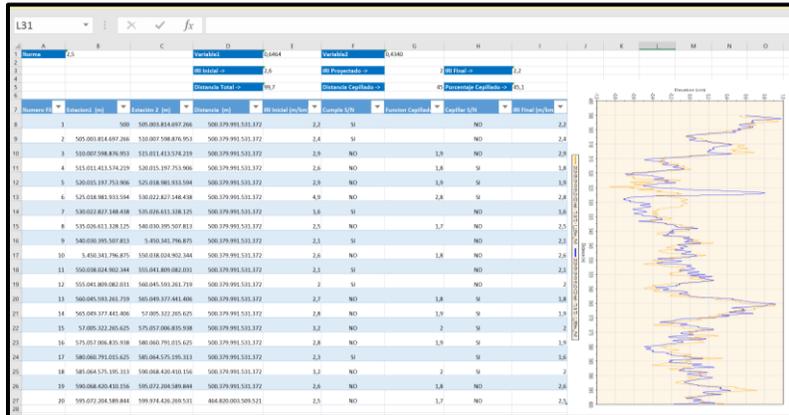


Ilustración 79 Comparación con el perfil para decidir sobre el plan de cepillado. (Excel, 2016)

Norma: 2.5 Variable1: 0.6464 Variable2: 0.4340

IRI Inicial: 2.6 IRI Proyectoado: 2 IRI Final: 2.2

Distancia Total: 99.7 Distancia Cepillado: 45 Porcentaje Cepillado: 45.1

Numero Tramo	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
4	515.011.413.574.219	520.015.197.753.906	500.379.991.531.372	2.6	NO	1.8	SI	2.8
5	520.015.197.753.906	525.018.981.933.594	500.379.991.531.372	2.9	NO	1.9	SI	1.9
6	525.018.981.933.594	530.022.827.148.438	500.379.991.531.372	4.9	NO	2.8	SI	2.8
13	560.045.593.261.719	565.049.377.441.406	500.379.991.531.372	2.7	NO	1.8	SI	1.8
14	565.049.377.441.406	570.052.226.562.5	500.379.991.531.372	2.8	NO	1.9	SI	1.9
15	570.052.226.562.5	575.057.006.835.938	500.379.991.531.372	3.2	NO	2	SI	2
16	575.057.006.835.938	580.060.791.015.625	500.379.991.531.372	2.8	NO	1.9	SI	1.9
17	580.060.791.015.625	585.064.575.195.313	500.379.991.531.372	2.3	SI			1.6
18	585.064.575.195.313	590.068.420.410.156	500.379.991.531.372	3.2	NO	2	SI	2

Plan de Cepillado

Fecha: _____

Ruta: _____

Tramo: _____

Distancia Total: _____

Area Total: _____

Elaboro: _____

Ilustración 80 Plantilla final para el Plan de Cepillado. (Excel, 2016)

Ahora bien, en este proceso con MCP se pueden presentar dos alternativas, la primera es que, a pesar de aplicar la función de cepillado, no se llegue al MRI especificado, para lo cual MCP envía un mensaje como el de la Ilustración 81. Esto se debe a que el MRI inicial del tramo es muy alto con respecto a la especificación, y aunque se cepillen los 100 m, no se espera cumplimiento en el parámetro, aunque sí se puede establecer su mejoría.

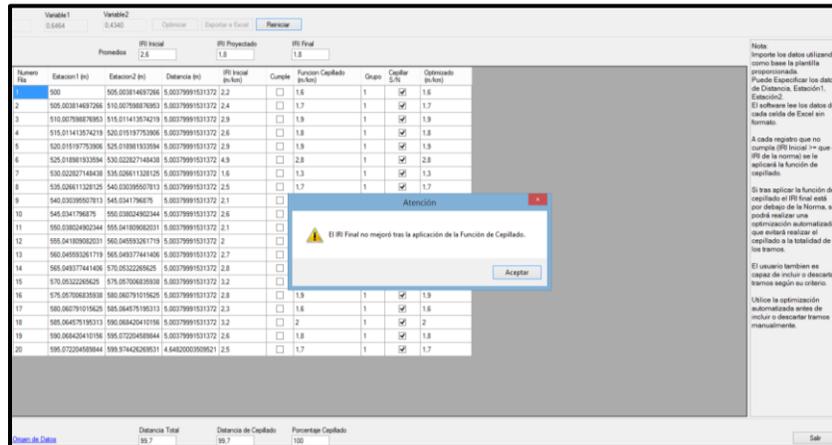


Ilustración 81 Mensaje de MCP cuando no se cumple con la norma

Esto le indica al usuario que, para ese tramo, se debe evaluar la posibilidad de reconstruirlo o aceptar la multa según la normativa del proyecto. Se puede decidir cepillar una sección del tramo y evaluar la Ecuación 1, para lograr disminuir la multa final. Esta alternativa fue utilizada, por ejemplo, en el Proyecto Cañas – Liberia.

$$\text{Valor Multa Final} < \text{Costo Área Cepillado} + \text{Multa remanente}$$

Ecuación 1

La otra posibilidad es que MCP envíe el mismo mensaje, pero que aún exista la posibilidad de seleccionar algunos subtramos que no son considerados por el algoritmo al aplicar la función de cepillado, debido a que inicialmente cumplen con la norma. Esto le permite al usuario incrementar el área de cepillado manualmente en **Cepillado S/N**, y eventualmente cumplir con la normativa. Puede ser que al seleccionar estos subtramos el MRI mejore o no, todo dependerá de los valores iniciales de MRI para esos subtramos y de su cantidad. Si, por ejemplo, se analiza un tramo de 200 metros, la probabilidad de esta alternativa es mayor, pues se tienen 40 subtramos de 5 metros y dependiendo del estado de la regularidad del pavimento, se pueden seleccionar algunos manualmente y cumplir con la especificación. La Ilustración 82 muestra este caso, donde las filas 15 y 19 no se seleccionaron debido a que inicialmente cumplían con la norma, en este caso 2 m/km. Se debe observar que la opción “**Optimizar**” se muestra apagada debido a que el algoritmo ya no tiene posibilidad de mejorar el proceso.

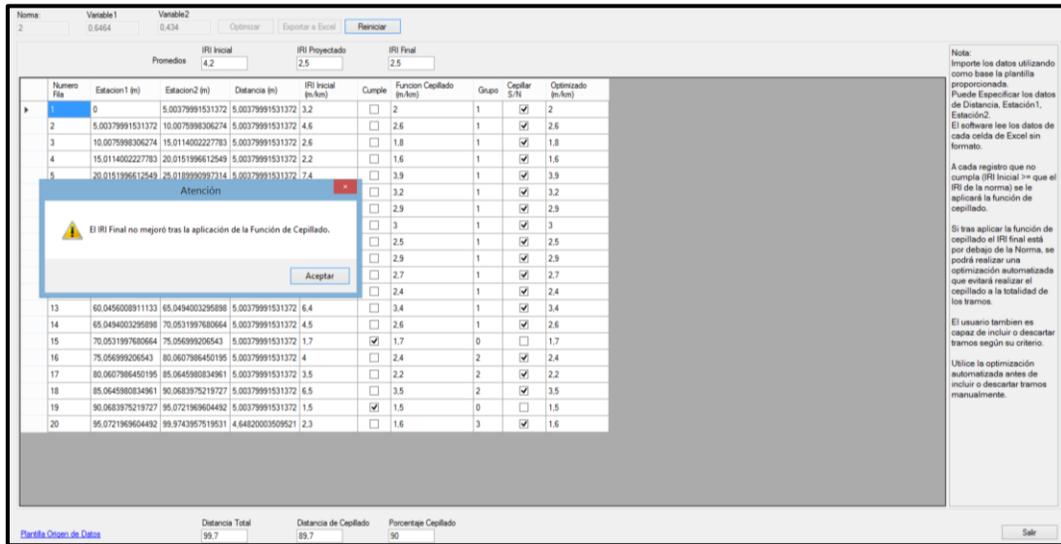


Ilustración 82 Caso en que no se cumple con la norma y existen subtramos para seleccionar

5.4. Comparación entre plan de cepillado obtenido mediante el modelo MCP y la herramienta PROVAL.

La herramienta Proval es un software de uso libre que permite analizar datos de IRI y otros parámetros utilizados en distintos países. Permite además, manipular archivos con formatos de diferentes perfilómetros, para no sólo observar los datos, sino tratarlos en sus múltiples funciones. Una de estas es la posibilidad de elaborar, a partir de un archivo de perfil, un plan de cepillado. En las siguientes secciones se explicará brevemente este proceso, para finalmente comparar estadísticamente sus resultados con los de MCP, con la finalidad de establecer si sus resultados provienen de procesos similares.

5.5. Elaboración de un plan de cepillado a partir de Proval.

La herramienta informática Proval, y específicamente el módulo *Smoothness Assurance Module (SAM)*, o de aseguramiento de la suavidad o lisura, permite, a partir del perfil longitudinal de la superficie, realizar análisis de localidades que se encuentran fuera de la especificación de regularidad y señalar los lugares por cepillar para corregir estos defectos. Para llevar a cabo este análisis, se debe exportar, como primer paso, el perfil longitudinal recolectado en campo del sector en estudio. Debe emplearse un formato convencional con la extensión *.erd*, como se puede observar en la Ilustración 83.

Nombre	Fecha de modifica...	Tipo	Tamaño
2015-05-20-C-S-LI-CIE T1 & T2 archivo ERD	10/8/2017 9:39 a. m.	ERD Profile	939 KB

Ilustración 83 Archivo con extensión. .erd para exportar a Proval. (Proval.3.61, 2015)

Ingresando al software Proval y abriendo el archivo con la extensión “.erd”, se pueden visualizar los perfiles recolectados, tanto para la huella izquierda como para la huella derecha, en la pestaña Viewer. En la Ilustración 84 se muestra el perfil y el nombre del archivo correspondiente.

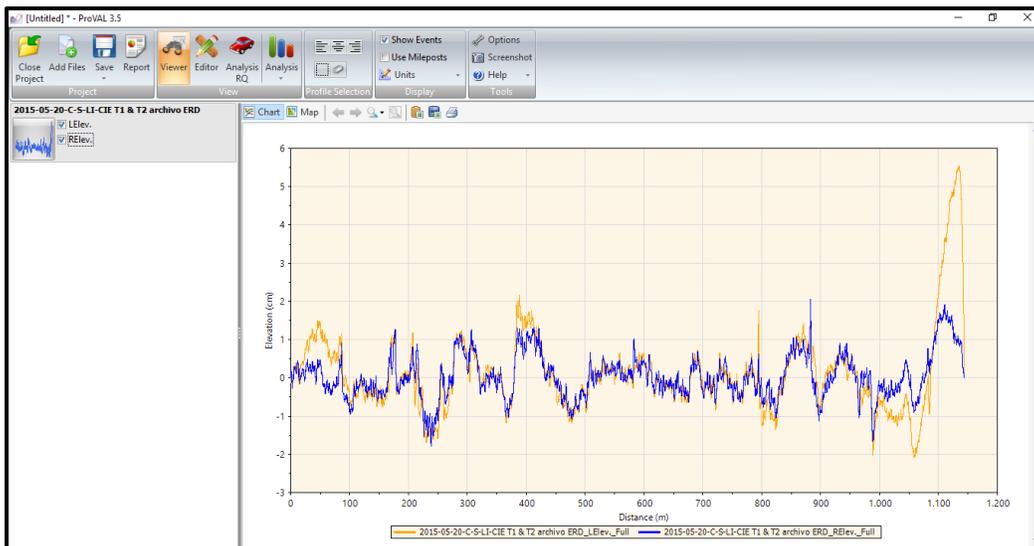


Ilustración 84 Perfil exportado a Proval. (Proval.3.61, 2015)

El siguiente paso es editar el perfil longitudinal para cortar y extraer los estacionamientos del subtramo cuya especificación de regularidad no cumple, esto se realiza en la sección *Editor* de la herramienta informática. A este subtramo es al que se le realizarán los estudios de cepillado. La Ilustración 85 muestra el perfil completo listo para seccionarse y la Ilustración 86, donde al mismo perfil se le extraen 100 metros. Este proceso es importante para utilizar MCP, pues el software del perfilómetro no lo hace, y Proval no solo permite observar el perfil, sino exportar los datos correspondientes de MRI a Excel, lo que es utilizado en MCP.

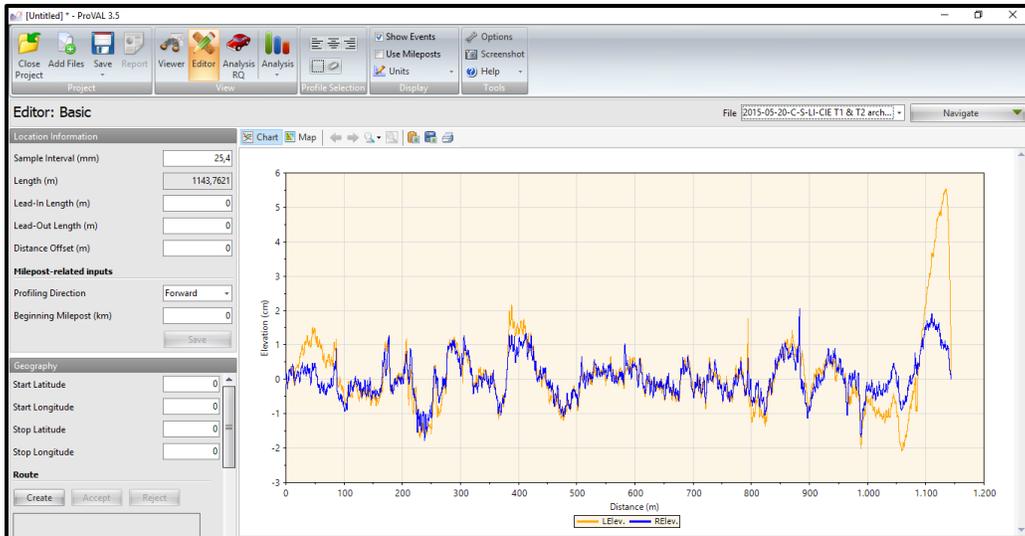


Ilustración 85 Proceso de selección del subtramo en Editor. (Proval.3.61, 2015)

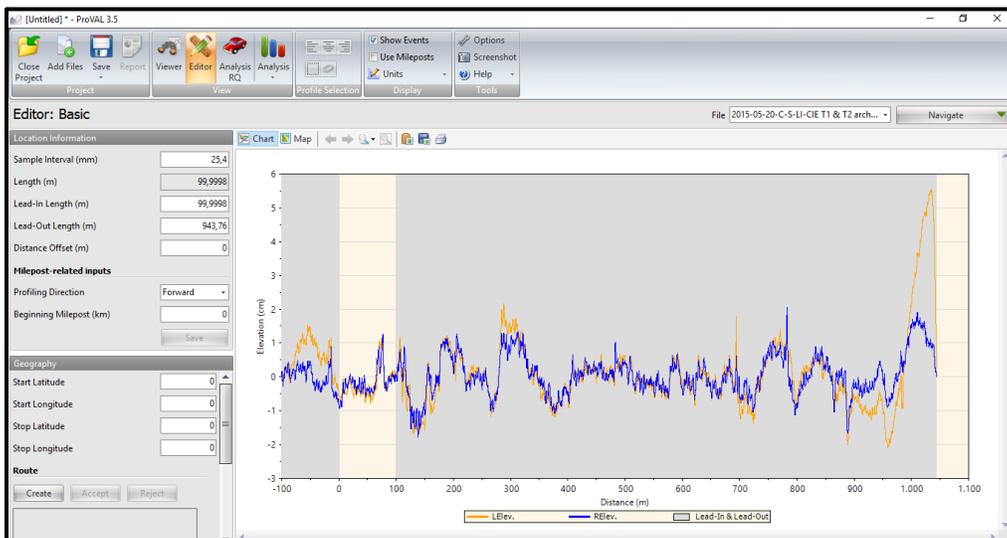


Ilustración 86 Extracción del subtramo para analizar el proceso de cepillado. (Proval.3.61, 2015)

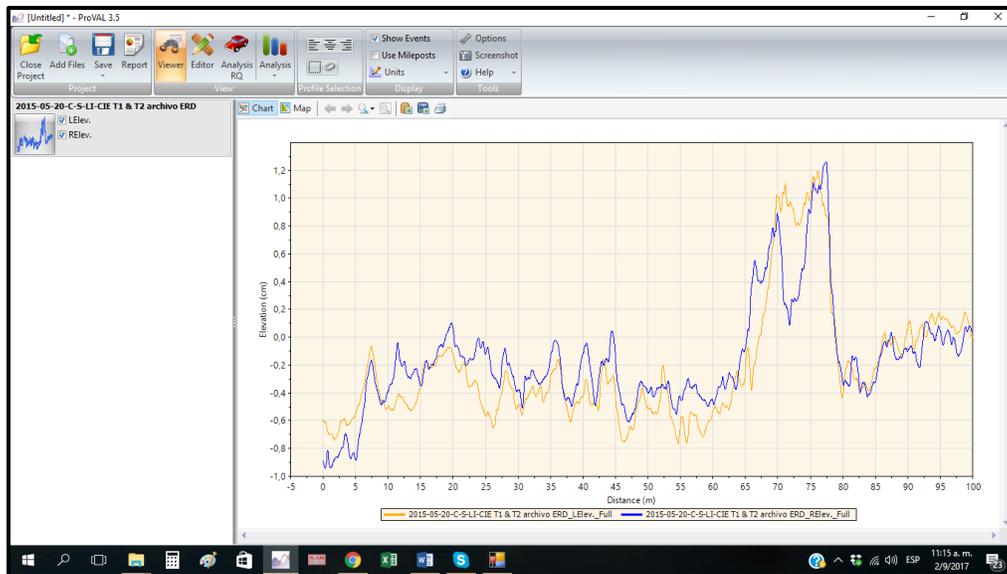


Ilustración 87 Perfil final de 100 metros para análisis. (Proval.3.61, 2015)

Una vez extraído el tramo por analizar (Ilustración 87) se guarda el archivo nuevo, y en la pestaña *Analysis* se selecciona el módulo de *Smoothness Assurance Module (SAM)*.

Para dicho análisis, el software solicita los datos de entrada que el analista debe seleccionar, entre ellos el Índice que se desea mejorar (*Ride Quality Index*), en este caso MRI (promedio de la huella izquierda y derecha), e ingresar datos como longitud de los segmentos, especificación o umbral máximo permitido, y el tipo de comparación. Ver Ilustración 88.

Es importante mencionar que si no se colocan estos datos de entrada y no se selecciona el archivo, el programa no habilitará ninguna ventana de análisis.

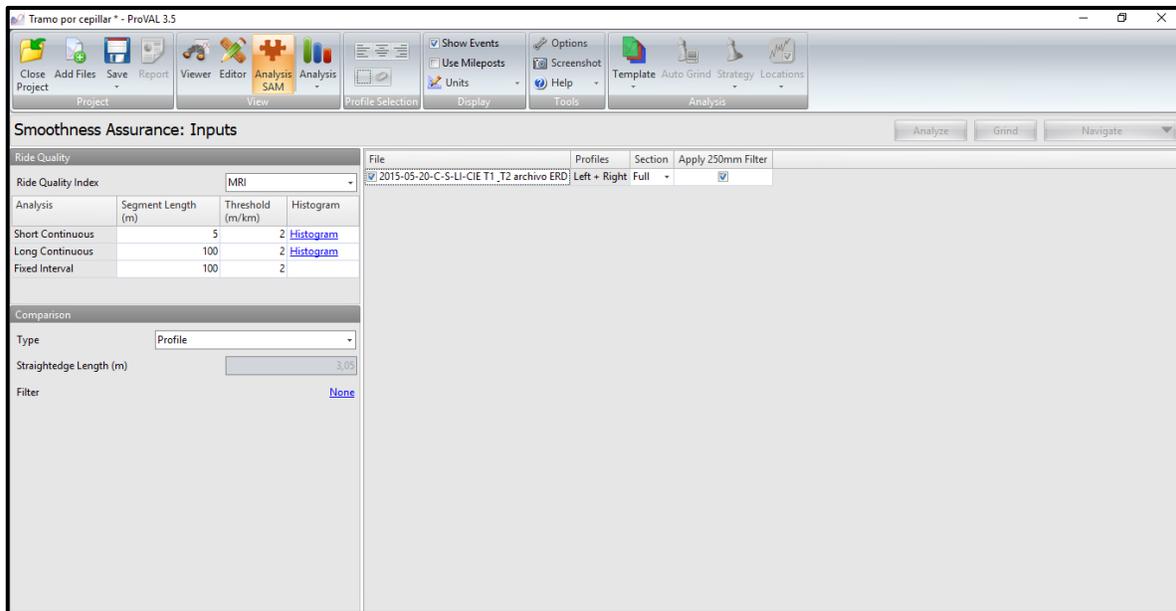


Ilustración 88 Módulo SAM de Proval. (Proval.3.61, 2015)

Ingresados los datos de entrada, se presiona la casilla *Analysis* y se ingresa en *Navigate*, donde se muestran las opciones de la optimización. (Ilustraciones 88 y 89)

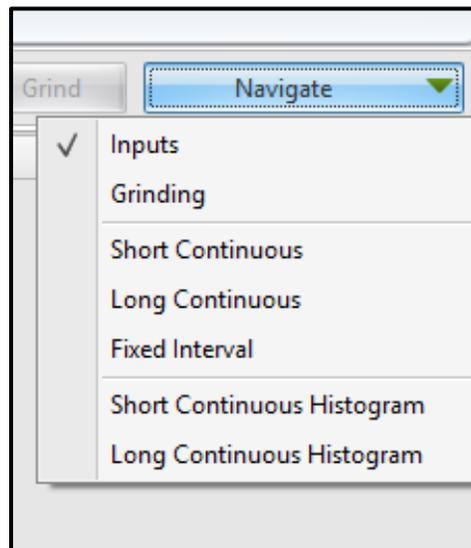


Ilustración 89 Opción Navigate en Proval. (Proval.3.61, 2015)

En la sección *Grinding*, el analista ingresa los datos geométricos del tipo de cepilladora a utilizar como se observa en la Ilustración 90.

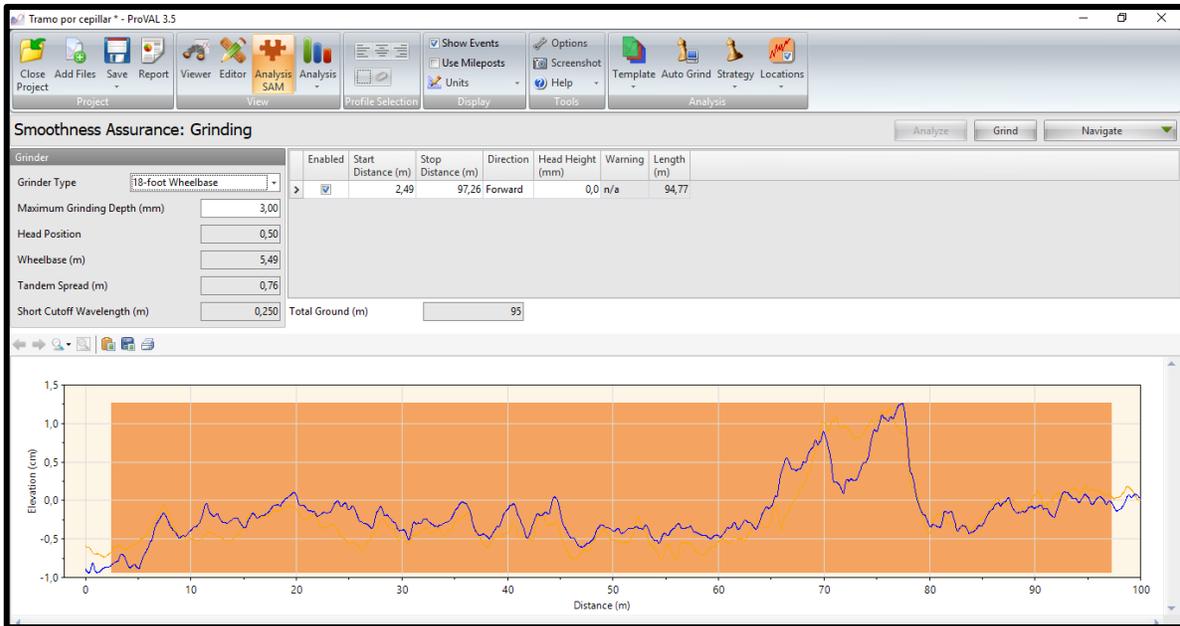


Ilustración 90 Datos de entrada en Función Grinding de Proval. (Proval.3.61, 2015)

Dentro de la función *Grinding* (Ilustración 89), se habilita en la barra de tareas el icono *Auto Grind*, (Ilustración 91), el cual al presionarlo, se realizará la optimización de los sectores por cepillar, mostrándose las al usuario como zonas sombreadas gráficamente, como se observa en la Ilustración 92.



Ilustración 91 Función Auto Grind en Proval. (Proval.3.61, 2015)

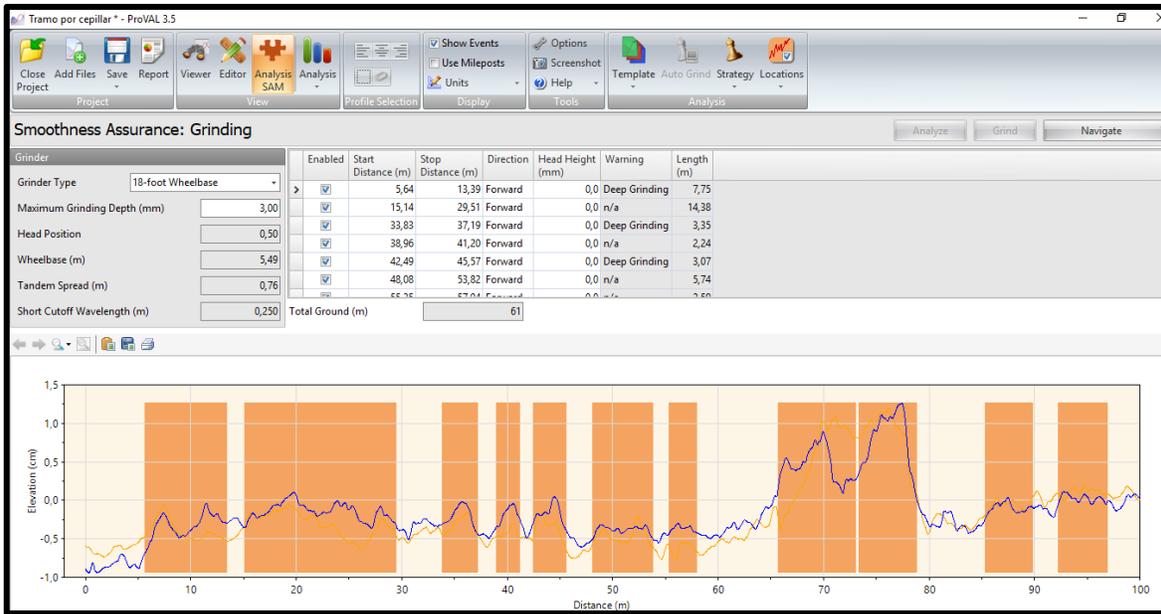


Ilustración 92 Tramos seleccionados por Proval para cepillar. (Proval.3.61, 2015)

En la parte central de la ventana, se muestra el total de longitud de cepillado, de acuerdo con la siguiente Ilustración.



Ilustración 93 Longitud de cepillado según Proval. (Proval.3.61, 2015)

Si se está de acuerdo con esto, se debe presionar el botón *Grind* para aplicar los cambios. (Ilustración 94)

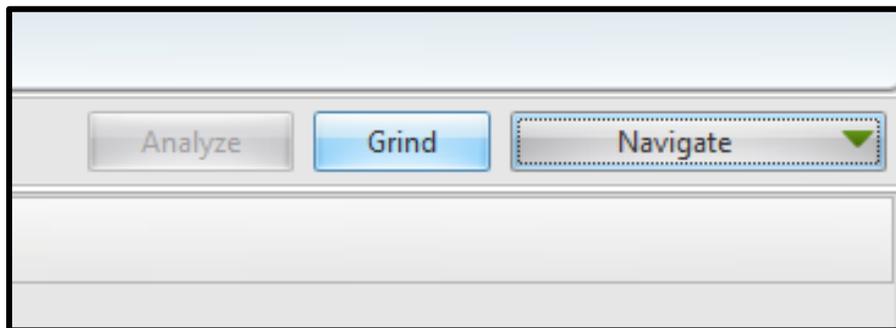


Ilustración 94 Función para aplicar las secciones por cepillar. (Proval.3.61, 2015)

Los resultados del análisis se obtienen dirigiéndose a la pestaña *Navigate* (Ilustración 94), donde seguidamente se muestran gráficas y tablas para los tres tipos de análisis: *Short Continuous* (subtramos de longitudes cortas continuas), *Long Continuous* (subtramos de

longitudes largas continuas, y Fixed-interval (Intervalo fijo), de acuerdo con los datos de entrada.

Esta última opción (intervalo fijo) es la que proporciona la información de IRI antes y su proyección después del tratamiento, así como una modulación del perfil final si se realiza esta mejoría. Las Ilustraciones 95 y 96 muestran las gráficas referentes a los datos obtenidos con el análisis de longitudes cortas continuas, mientras las ilustraciones 97 y 98 contienen las gráficas calculadas por el software *Proval* utilizando el análisis de longitudes de tramos largos continuos. La ilustración 99 denota los resultados calculados con un intervalo fijo de longitud base.

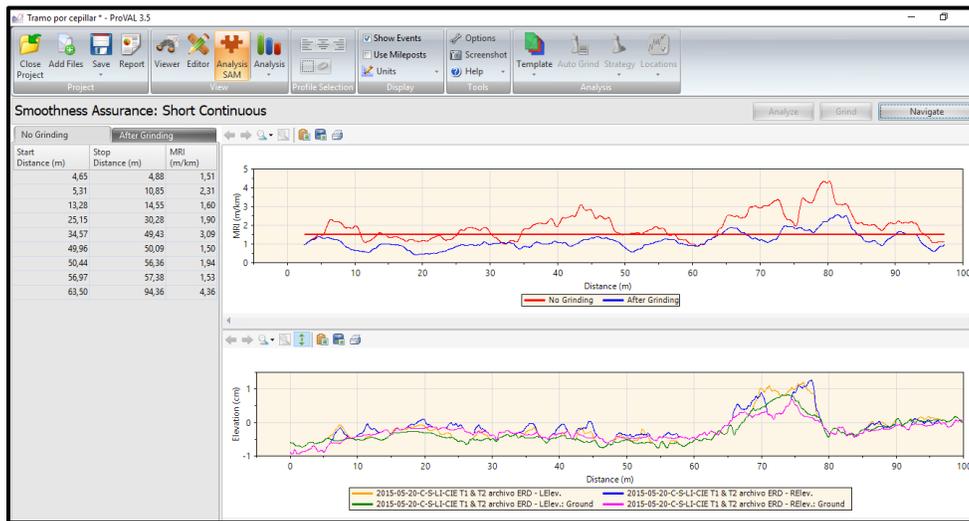


Ilustración 95 Análisis de tramos cortos continuos sin cepillar (*Proval.3.61, 2015*)

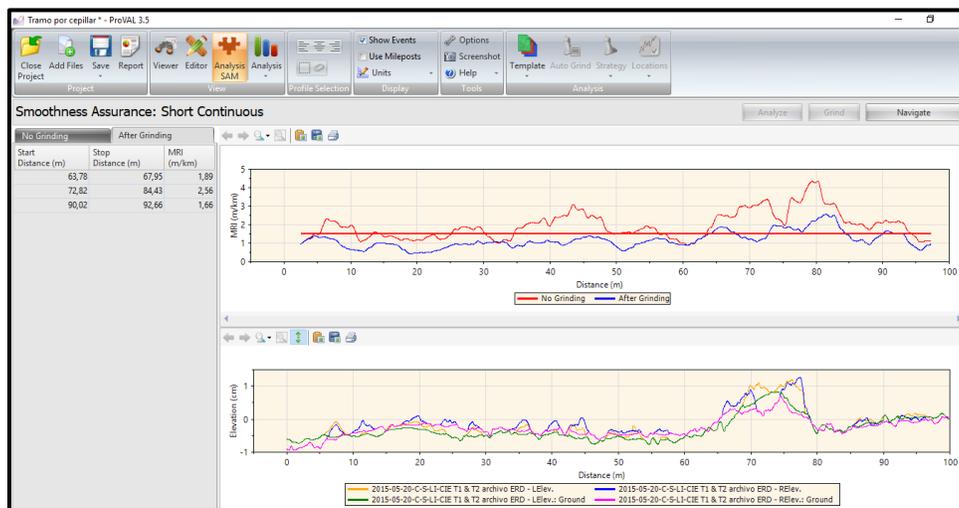


Ilustración 96 Análisis de tramos cortos continuos después de aplicar el cepillado (*Proval.3.61, 2015*)

De las ilustraciones 95 y 96 se puede observar una proyección de como cambiaría el perfil longitudinal tras el cepillado para el análisis de tramos cortos continuos y la cantidad de tramos que no cumplen con la especificación antes y después del cepillado.

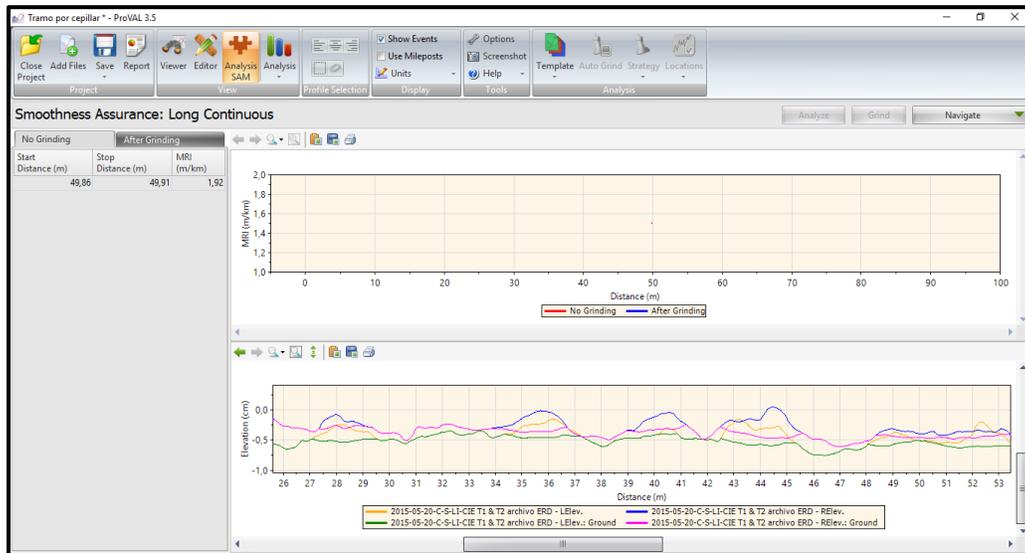


Ilustración 97 Análisis de tramos largos continuos sin cepillar. (Proval.3.61, 2015)

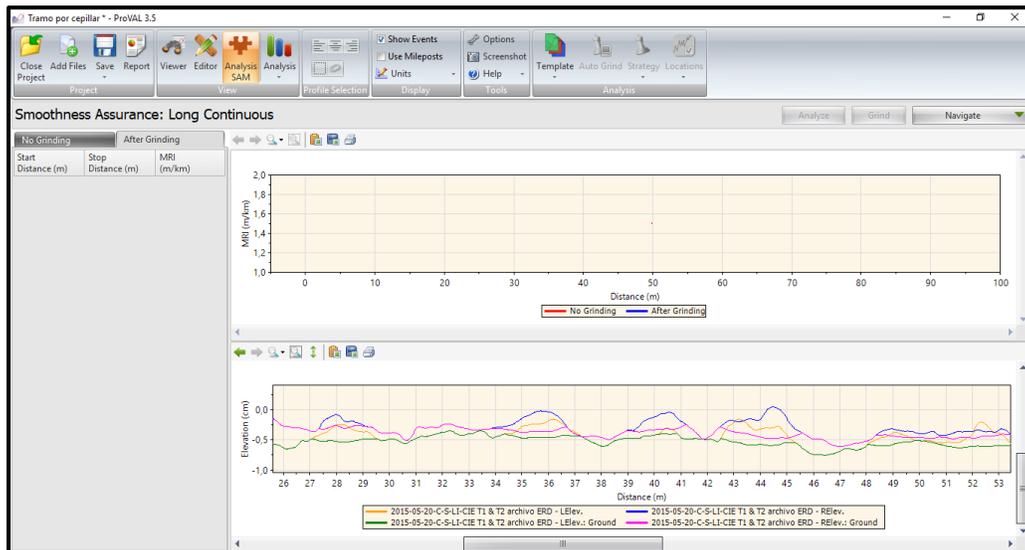


Ilustración 98 Análisis de tramos largos continuos luego del cepillado. (Proval.3.61, 2015)

De similar manera que lo anterior, las ilustraciones 97 y 98 muestran las gráficas comparativas del perfil longitudinal antes y después de aplicar el módulo de cepillado del software Proval

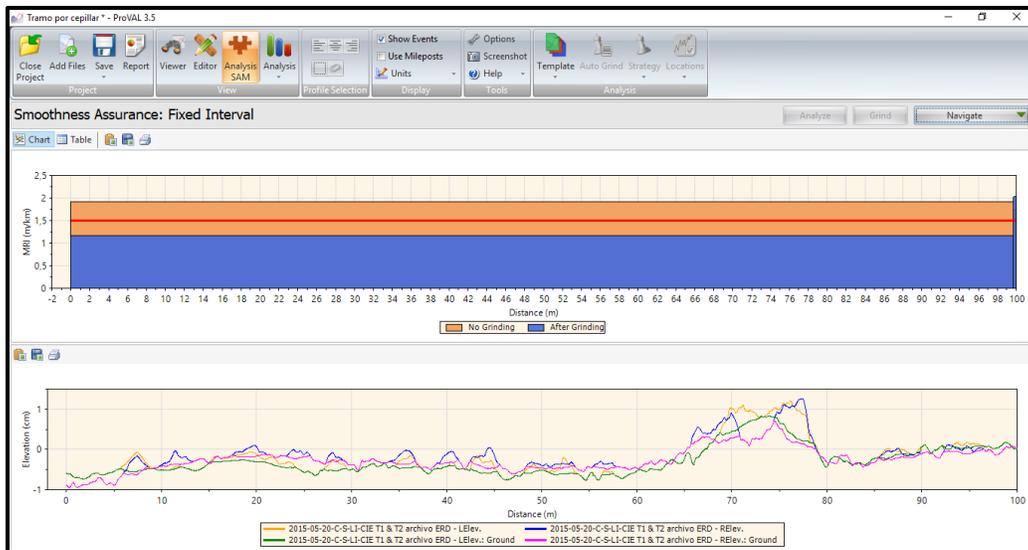


Ilustración 99 Análisis de tramos de intervalo fijo. (Proval.3.61, 2015)

De todos los análisis anteriores, el de mayor relevancia para este caso, es el análisis de intervalo fijo (ilustración 99), que se realiza, en otras palabras, para una longitud base fija en el cálculo de IRI. Este análisis es el que indica el valor de IRI cepillado (proyección) que se utilizaría para comparar con el obtenido en campo.

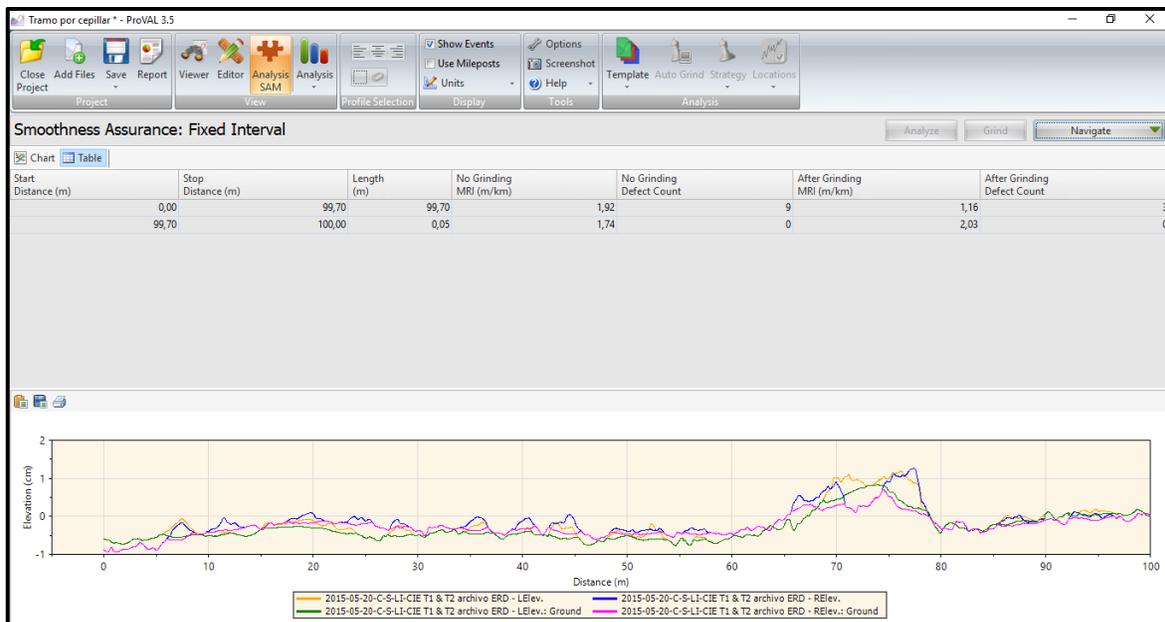


Ilustración 100 MRI antes y después del proceso de cepillado y la proyección de los perfiles. (Proval.3.61, 2015)

En la Ilustración 100 se puede visualizar el dato de MRI antes del cepillado y la proyección de MRI luego del cepillado, así como el perfil antes y después de la intervención.

5.6. Comparación estadística entre plan de cepillado con MCP y Proval

A partir de 20 perfiles de 100 metros cada uno, los cuales se muestran en el Anexo 4, se realizó un plan de cepillado a partir de los dos modelos, a fin de comparar estadísticamente sus resultados. En virtud de que no se conocen los algoritmos de cálculo del software Proval, ni cómo utiliza la información de entrada para establecer las áreas por cepillar, solamente se pueden comparar los resultados finales en cuanto a MRI y longitud de cepillado. Para tal efecto se realiza una prueba de T-Student para medias y F-Fisher para varianzas, a fin de establecer si ambos métodos presentan congruencia significativa. Los resultados de aplicar ambos procedimientos de análisis se muestran en la Tabla 10. La norma utilizada en ambos casos es de un IRI máximo de 2.0 m/km.

Tabla 9 Datos de longitud de cepillado y MRI para 20 perfiles a partir de MCP y Proval

Perfil	A partir de MCP		A partir de Proval	
	MRI (m/Km)	Long. Cepillado (m)	MRI (m/Km)	Long. Cepillado (m)
1	1,8	94,7	1,7	61,1
2	1,9	49,7	1,7	61,1
3	1,9	15	1,5	68,1
4	1,9	49,7	1,6	65,5
5	1,8	59,7	1,7	61,4
6	1,9	75,1	1,7	61,5
7	1,9	45	1,5	73,3
8	2,1	94,7	1,8	75,4
9	1,9	64,7	1,5	73,2
10	1,9	25	1,7	63,6
11	2,5	89,7	2,6	71,3
12	1,9	39,7	1,5	64,2
13	1,9	99,7	2,0	77,3
14	1,9	30	1,4	71,9
15	1,8	65	1,5	67,9
16	2,0	65	1,7	62,4
17	1,9	84,7	1,8	54,3
18	1,9	55	1,5	68,1
19	1,8	64,7	1,6	60,7
20	1,9	64,7	1,7	65,2

Tabla 10 Estadísticas de la Prueba T-Student medias de MRI (*Minitab18, 2017*)

Estadísticas descriptivas				
Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
MRI con MCP	20	1,925	0,152	0,034
MRI con PROVAL	20	1,686	0,252	0,056

Tabla 11 Resultado Prueba T-Student para medias de MRI (*Minitab18, 2017*)

Prueba		
Hipótesis nula	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Hipótesis alterna	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
Valor T	GL	Valor p
3,64	31	0,001

De las Tablas 11 y 12, se obtiene que los resultados de la prueba T-Student para las medias de los valores de MRI por ambos métodos, muestran que existe diferencia significativa en sus procesos, con un Valor $p < 0.05$ ($\alpha/2$). Esto se demuestra también en la gráfica de intervalos de ambos métodos, puesto que estos no se cruzan; se obtiene que, con un nivel de confianza del 95%, las medias de ambos procesos no pueden ser iguales, con lo que se concluye que ambos métodos miden diferente.

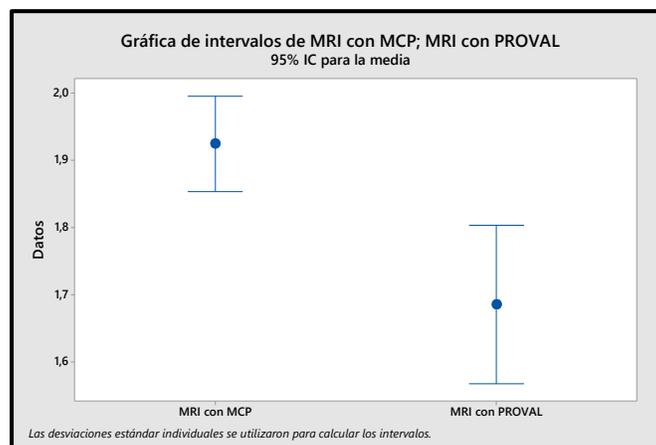


Ilustración 101 Gráfica de intervalos para MRI de ambos métodos (*Minitab18, 2017*)

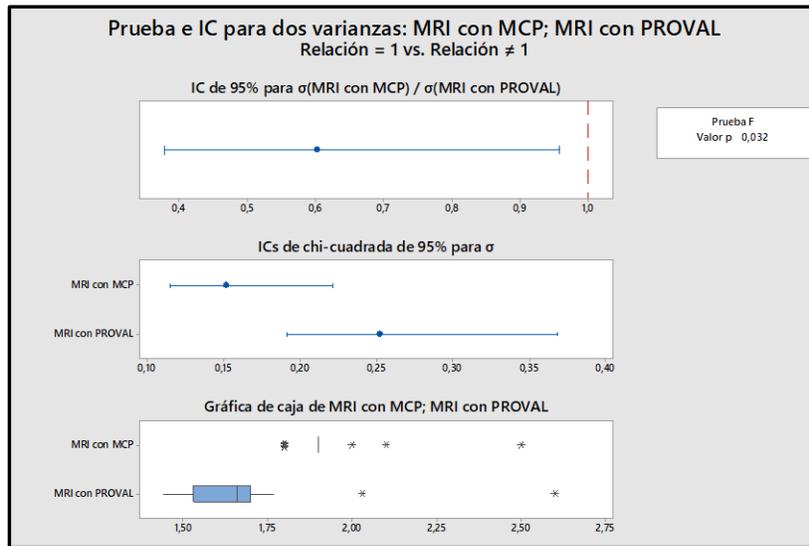


Ilustración 102 Intervalos de confianza para análisis de varianzas de MRI para ambos métodos. (Minitab18, 2017)

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$
 Hipótesis alterna $H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$
 Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Método	Estadística			Valor p
	de prueba	GL1	GL2	
F	0,36	19	19	0,032

Ilustración 103 Prueba F para varianzas de MRI (Minitab18, 2017)

En la Ilustración 101 los intervalos de confianza para las medias, revelan que ambas muestras provienen de poblaciones diferentes. En la Ilustración 103 se muestra que la prueba de F para varianzas indica que se rechaza la hipótesis nula (Valor p < 0.05), es decir que la relación de las varianzas de ambos métodos no es igual a 1. Por lo tanto, los métodos de análisis presentan diferencia significativa en dispersión. Lo mismo se comprueba en el gráfico de intervalos de confianza (Ilustración 102) donde se observa que la relación de varianzas no puede ser igual a 1.

Para los valores de longitud de cepillado, el primer paso es comprobar si estos presentan una distribución normal.

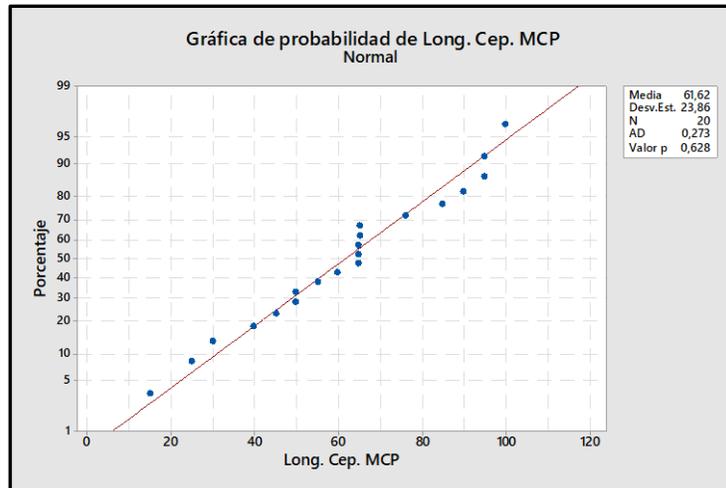


Ilustración 104 Prueba de normalidad datos de longitud cepillado con MCP (*Minitab18, 2017*)

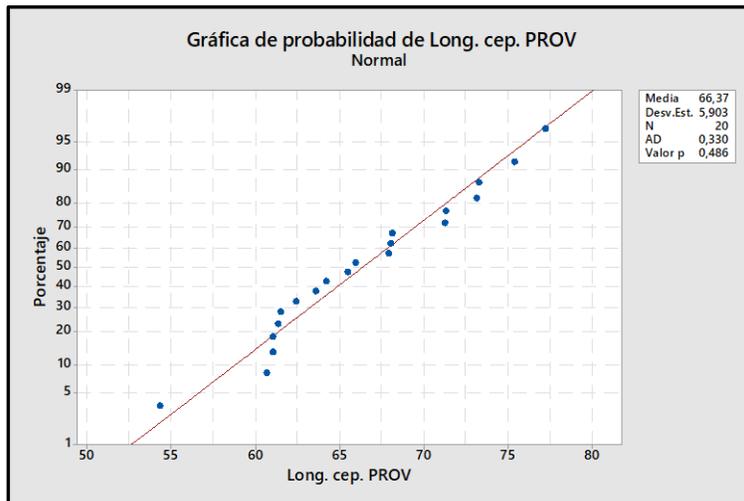


Ilustración 105 Prueba de normalidad datos de longitud cepillado con Proval (*Minitab18, 2017*)

Las Ilustraciones 104 y 105, muestran que efectivamente los datos de longitud de cepillado para ambos modelos provienen de una población con distribución normal, debido a que, en ambos casos, el Valor p es mayor de 0.05.

Para los datos de longitud de cepillado, la Ilustración 106 muestra que existe congruencia entre los intervalos de confianza, de manera que es factible establecer que las longitudes de cepillado no cambian en función de la metodología de cálculo. La prueba T-Student de la Ilustración 107, comprueba que ambos métodos no presentan diferencia significativa en sus medias, el P Valor es de 0.397.

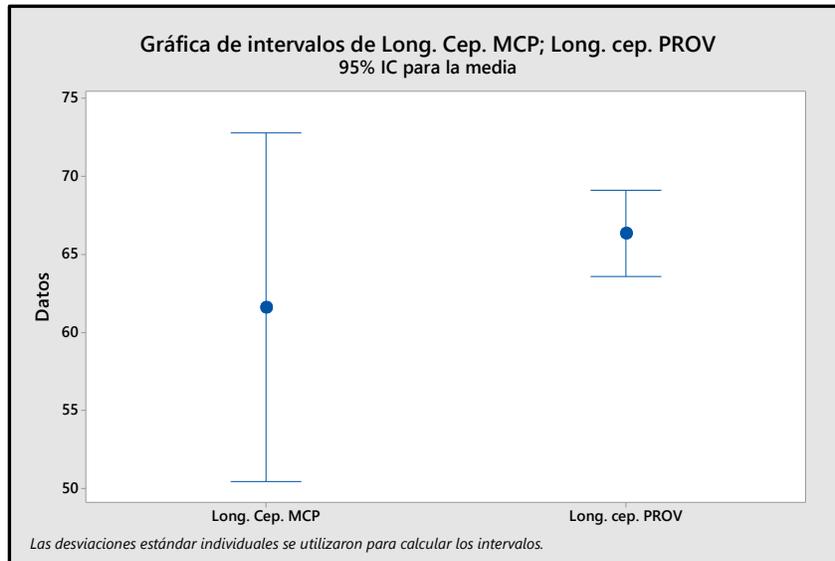


Ilustración 106 Intervalos de confianza para longitud de cepillado de ambos métodos (Minitab18, 2017)

Método

μ_1 : media de Long. Cep. MCP
 μ_2 : media de Long. cep. PROV
Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
Long. Cep. MCP	20	61,6	23,9	5,3
Long. cep. PROV	20	66,37	5,90	1,3

Estimación de la diferencia

IC de 95% para la diferencia

Diferencia	(-16,19; 6,67)
-4,76	

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Valor T	GL	Valor p
-0,87	21	0,397

Ilustración 107 Prueba T-Student para medias de longitud de cepillado (Minitab18, 2017)

En cuanto a la prueba F para las varianzas de la longitud de cepillado, las Ilustraciones 108 y109 demuestran que no existe certeza de que los dos métodos evidencien similitud de dispersión, con un nivel de confianza del 95%. El valor p es menor de 0.05 y en la Ilustración 110 gráficamente demuestra el desface de los intervalos de confianza para las varianzas estimadas.

Estadísticas descriptivas				
Variable	N	Desv.Est.	Varianza	IC de 95% para σ
Long. Cep. MCP	20	23,861	569,354	(18,146; 34,851)
Long. cep. PROV	20	5,903	34,843	(4,489; 8,621)

Ilustración 108 Estadísticas descriptivas prueba F para longitud de cepillado (Minitab18, 2017)

Prueba				
Hipótesis nula	$H_0: \sigma_1 / \sigma_2 = 1$			
Hipótesis alterna	$H_1: \sigma_1 / \sigma_2 \neq 1$			
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$			
Estadística				
Método de prueba	GL1	GL2	Valor p	
F	16,34	19	19	0,000

Ilustración 109 Prueba F para varianzas de longitud de cepillado (Minitab18, 2017)

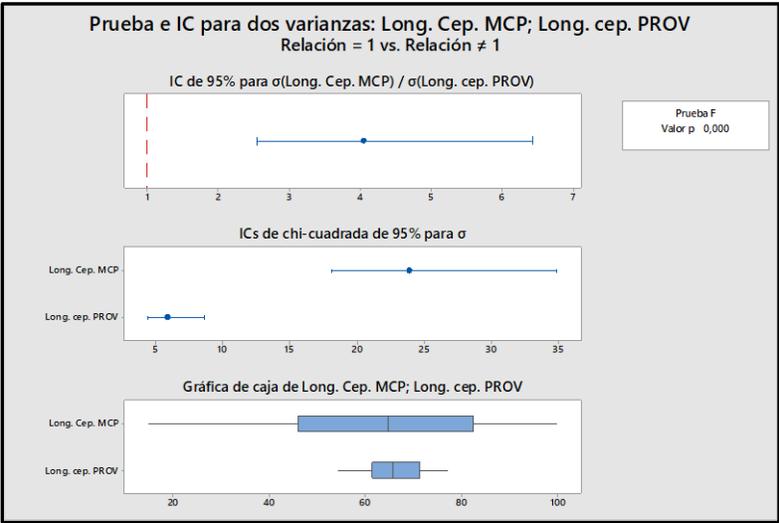


Ilustración 110 Intervalos de confianza de Prueba F para longitud de cepillado (Minitab18, 2017)

Capítulo VI: Estado del arte en Costa Rica

6.1. Costo del área cepillada para un proyecto en Costa Rica.

Durante la construcción del Proyecto Cañas – Liberia, fue necesario implementar la técnica de cepillado del pavimento, por cuanto el parámetro mínimo del IRI de 1,5 m/Km para tramos de 1000 metros, se presentaba como una especificación rigurosa para este tipo de pavimentos, máxime que en el país no existían experiencias previas para determinación del IRI en este tipo de proyectos.

Ante las posibles multas y debido a la novedad de este criterio para pago en función de la calidad, el contratista tomó la decisión de solicitar a una empresa chilena de gran renombre, el costo para cepillar 70.000 m² de pavimento. La cotización se muestra en el Anexo 3, donde se estima que el precio por metro cuadrado de cepillado es de \$5,66, sin considerar el costo del transporte del equipo al puerto respectivo.

Para el trabajo se planteaba la posibilidad de utilizar dos equipos de última generación y personal altamente capacitado. Sin embargo, estas negociaciones no fructificaron debido a que el contratista ubicó un proveedor español que mejoró el precio, pero con un equipo de calidad inferior.

En nuestro país solamente se tiene referencia de esta experiencia en el uso del cepillado de pavimentos. Se estima una alta probabilidad, que diversos contratistas viales en nuestro país se vean en la necesidad de adquirir estos equipos en el corto plazo, debido a que producen una economía sustancial en los proyectos que requieran mejorar el IRI.

6.2. Ahorro con el cepillado de pavimentos en mantenimiento vial

Los contratos de mantenimiento de la Red Vial Pavimentada por cuatro años en Costa Rica, tienen la particularidad de que por primera vez el IRI es un parámetro de aceptación o rechazo de los diferentes tratamientos que se utilizan en estas actividades, tales como sobre-capas asfálticas, rehabilitación de la base y sobre-capas, bacheos a profundidad parcial y sobre-capas, etc. Para cada caso se planteó una especificación, la cual se aplica a tramos individuales de 100 metros.

Generalmente, cuando hay incumplimientos del IRI, los contratistas perfilan 4,0 cm y vuelven a colocar una capa asfáltica para liberar los tramos donde el pago ha sido retenido, luego de verificar su cumplimiento. Ante esta perspectiva, se valorará a modo de ejemplo, el

costo de este proceso, ante la posibilidad de liberar estos tramos a partir del cepillado; y se estimará el ahorro que tendría un contratista si decidiera utilizar esta técnica.

Para el análisis se partirá de los siguientes supuestos:

- Se va a cepillar el tramo completo de 100 metros en todo un carril, con un ancho de 3,65 m.
- La recuperación del IRI se va a hacer en el carril completo de 100 m, por medio del perfilado de 4,0 cm de la carpeta asfáltica actual y su posterior reposición.
- La carpeta inicial tiene un espesor de 10 cm.
- Se toman los precios de un contratista para la zona de San José, para la Licitación 18 de Mantenimiento Vial de Conavi.
- El Costo de cepillado se toma de una oferta de EPAV S.A, para el proyecto Cañas – Liberia. La empresa EPAV S.A es parte de la Unidad Estratégica de Pavimentos de EMIN S.A, la cual desde 1999 se dedica a la reparación y rehabilitación de vías en concreto y asfalto para solucionar problemas de regularidad superficial principalmente en Suramérica.
- Los precios corresponden a datos obtenidos en proyectos de mantenimiento vial vigentes y en el proyecto Cañas – Liberia. (Anexos 2 y 3).

De la Tabla 13 se puede observar que el ahorro general para el proceso de cepillado es del 40% con respecto a la actividad de perfilar y colocar una sobre-capa asfáltica de 4,0 cm de espesor, para un proyecto de mantenimiento vial en nuestro país.

En el análisis no se considera el **beneficio ambiental** que representa no utilizar en la recuperación del IRI, la colocación del pavimento bituminoso, con materiales como asfalto, emulsión, gasóleo, etc., y la disposición del material perfilado. El cepillado del pavimento tiene como subproducto la lechada de asfalto y agregado, que debe tratarse adecuadamente.

Tabla 12 Análisis del ahorro para cepillado de pavimento flexible

Ítem	Longitud (m)	Espesor (m)	Ancho (m)	Toneladas de MAC
Tramo por tratar	100	0,10	3,65	35 (esp.= 4.0 cm)
Costo tonelada de MAC Colocada	ϕ 55733,25	Costo total MAC (CTMAC)	ϕ1.950.663,8	
Costo de emulsión asfáltica para imprimación	ϕ 343,09	Costo total de emulsión con 0.5 litros/m ² (CE)	ϕ 62613,9	
Total de m ² por carril	365 m ²	Costo m ² perfilado	ϕ1016,00	
Costo Total perfilado de 4,0 cm (CTP)	370.840	Costo total de la intervención (CTI)= (CTMAC + CTP+CE)	ϕ2.384.117,7	
Costo m ² de cepillado	ϕ 3930	Área por cepillar	365 m ²	
Costo total del cepillado (CTC)	ϕ 1.434.450			
Ahorro por cepillar AC=(CTI-CTC)	ϕ 949.667,7	%Ahorro respecto a Intervención	40%	

Por otra parte, el acarreo del material perfilado está contemplado dentro del costo que se muestra, sin embargo, un cambio en el sitio de acopio, podría implicar un sobre costo de hasta un 50%.

6.3. Comparación de la normativa nacional de cepillado de pavimentos con la norma chilena.

A continuación, se presentan las especificaciones para cepillado de pavimentos tomadas tanto de las Normas Chilenas para Mantenimiento, como del Manual de Especificaciones para Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes MCV-2015 de Costa Rica. La normativa chilena se encuentra en el documento: *VOLUMEN N° 7 Mantenimiento Vial MANUAL DE CARRETERAS 7.305.7 Diciembre 2000* (Ministerio de Obras Publicas de Chile, 2016)

En Chile se ha desarrollado una gran experiencia con esta técnica y aunque la especificación propuesta en el Manual MCV – 2015 de nuestro país, es adaptada del Departamento de Transportes de California, es conveniente realizar una comparación a fin de establecer las principales diferencias y concordancias, a fin de valorar la aplicabilidad de la técnica en nuestro país.

6.3.1. Norma Chilena

“OPERACIÓN 7.305.7 CEPILLADO DE LA SUPERFICIE”

Operación Periódica

7.305.0701 Descripción y Alcances

Esta operación se refiere al cepillado superficial (diamond grinding) del pavimento de hormigón hidráulico y asfáltico, con el objetivo de reducir las irregularidades, lo que mejora la serviciabilidad y prolonga la vida útil. El procedimiento elimina substancialmente las irregularidades creadas por el escalonamiento de juntas y por las deformaciones originadas por los gradientes térmicos, y/o durante la construcción, así como también aumenta la fricción entre neumáticos y pavimento. No aumenta la capacidad estructural del pavimento, pero al minimizar los efectos dinámicos de las cargas, permite que la estructura soporte un número mayor de solicitaciones durante el resto de su vida útil, que las que aceptaría si no se hubiera cepillado.

El cepillado es una operación que se debe ejecutar una vez terminadas las otras actividades tendientes a restaurar el pavimento, salvo el resellado de juntas y grietas que se debe realizar con posterioridad a aquel.

7.305.0702 Materiales

Esta operación no requiere materiales.

7.305.0703 Procedimientos de Trabajo.

Equipos. *El cepillado se ejecuta con una maquina autopropulsada especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie. La distancia entre ejes de apoyo del equipo no debe ser inferior a 3,60 m, debiendo disponer de un eje tándem direccional al frente y de ruedas traseras adecuadas para circular sobre la superficie recién tratada. El eje de la cabeza cepilladora no debe estar a más de 0,90 m por delante del centro de las ruedas traseras.*

El equipo debe cepillar como mínimo 0,90 m de ancho por pasada, sin provocar saltaduras en los bordes de las juntas, grietas o en otros lugares. Debe ser revisado periódicamente para asegurarse que está trabajando adecuadamente; en especial se deberá comprobar la redondez de las ruedas cortantes del equipo cepillador. No se debe operar con un equipo que presente defectos en este aspecto.

Construcción. *El cepillado solo se realiza una vez terminados todos los trabajos de reparación de juntas, cambios de losas, reparación de grietas y otros, salvo el resellado de juntas y grietas que se debe hacer con posterioridad. Para obtener un mejor resultado el equipo cepillador debe trabajar avanzando en sentido contrario al del tránsito. Normalmente no se cepillan los tableros de los puentes ni las bermas pavimentadas.*

El cepillado se ejecutará de manera que produzca o mantenga siempre una pendiente transversal hacia el exterior de las pistas en tratamiento. Las pistas de aceleración, frenado u otras adyacentes a la que se está cepillando deberán tratarse, como mínimo, en toda la longitud necesaria para asegurar el drenaje de la pista principal.

El cepillado debe ejecutarse de manera que las superficies adyacentes a una junta o grieta queden en el mismo plano. El objetivo del trabajo es eliminar todos los escalonamientos existentes en juntas y grietas, mejorar la textura superficial y disminuir substancialmente la rugosidad del pavimento.

Se deberán proveer los medios adecuados para remover los residuos que produce el cepillado, los que deberán retirarse antes que eventualmente lo haga el tránsito o el viento, o que escurran hacia pistas en servicio o hacia el drenaje del camino.

El tratamiento deberá afectar como mínimo al 95% de la superficie, la que deberá quedar perfectamente lisa y de apariencia uniforme, con una textura formada por ranuras longitudinales paralelas al borde del pavimento. Los montes de las corrugaciones serán entre 2,4 y 0,8 mm más altos que los valles, debiendo existir aproximadamente entre 175 y 188 ranuras uniformemente repartidas por metro. El número de ranuras por metro para producir el efecto antes indicado dependerá de las características del agregado de los pavimentos, y deberá establecerse mediante pruebas. No se usarán ranurados cuyo espaciamiento impida cumplir con los requisitos exigidos.

Cuando, por cualquier causa, sea necesario repasar el cepillado, se deberá tratar cada pista en todo su ancho.

Disposiciones adicionales. *Los procedimientos que se utilicen para realizar los trabajos especificados no deberán afectar, en forma alguna, otras áreas del pavimento, de las bermas y demás elementos del camino no incluidos en el trabajo; cualquier daño deberá ser reparado como parte de esta operación.*

Los materiales extraídos o sobrantes deberán trasladarse a botaderos autorizados, dejando el área de los trabajos completamente limpia. El tratamiento en el botadero se ajustará a lo dispuesto en las Especificaciones Ambientales Generales para el Mantenimiento.

Cuando los trabajos se realicen con el camino en servicio, antes de iniciarlos deberán adoptarse las medidas que se señalan en las Normas de Seguridad Durante los Trabajos.

7.305.0704 Partidas del Presupuesto.

7.305.7 Cepillado de la Superficie.

La operación de cepillado de la superficie del pavimento incluye la provisión de todos los equipos para realizar el trabajo, así como para retirar los residuos y transportarlos a botaderos autorizados.

Se medirá por metro cuadrado (m²) de superficie tratada en conformidad con esta especificación”. (Chile, 2015)

6.3.2 Norma de Costa Rica

Aplicación de la técnica de retexturizado o pulido con diamante

- (a) Selección de proyectos candidatos
 - (i) El pulido permite corregir eficientemente los siguientes problemas:
 - Escalonamiento de juntas y fisuras.
 - Elevada rugosidad del pavimento (generada en la construcción, en servicio o por las tareas de rehabilitación).
 - Macrotextura inadecuada (por texturizado insuficiente u originada por el desgaste del pavimento en servicio).
 - Niveles de ruido excesivos.
 - (ii) La Tabla 402-1 muestra los criterios recomendados para la aplicación de esta técnica de mantenimiento en pavimentos rígidos del tipo JPCP y JRCP. La aplicación de esta técnica para niveles de severidad mayores a los indicados producirá una disminución significativa en la vida del pavimento.

Tabla 402-1. Criterios recomendados para la aplicación del retexturizado

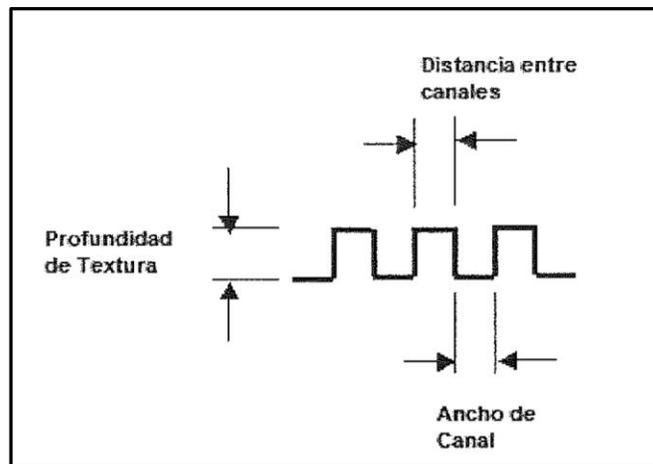
Deterioro	JPCP	JRCP
Escalonamiento en la Junta	De 3 mm a 10 mm	De 4 mm a 12 mm
Resistencia al deslizamiento	Al alcanzar el valor mínimo aceptable	
IRI m/km	De 1,2 a 3	De 1,2 a 3

Fuente: Valores recomendados por la FHWA para tránsito medio/alto.

- (iii) Si existe evidencia de daño por erosión o mal drenaje, normalmente indicado por escalonamientos mayores a 10mm o por el bombeo de finos, se debe reparar el drenaje y se debe estabilizar la losa junto con la capa de soporte antes de aplicar el retexturizado con diamante. Cuando se obtienen transferencias de carga en la junta menores al 60%, se debe estabilizar la losa mediante el remplazo de dovelas antes de aplicar el retexturizado con diamante. Se trata de reparar zonas de las losas con superficies afectadas mayores a 0.2m².

(b) Aplicación del retexturizado

- (i) El pulido se ejecuta con una máquina autopropulsada especialmente diseñada para suavizar, perfilar y dar una textura adecuada a la superficie del pavimento.
- (ii) El tambor de la máquina de retexturizar deberá contar con 164 a 194 discos de diamante por metro para garantizar el nivel de textura (ranurado) y regularidad superficial especificada (Figura 402-3). Las aplicaciones de retexturizado se deben hacer en sentido longitudinal o paralelo al flujo de tránsito con traslapes máximos de 50mm entre pasadas. Se debe realizar una prueba de la técnica en un rectángulo de 1 m de largo por 30 cm de ancho para medir y verificar la profundidad de textura. El retexturizado deberá comenzar en el borde externo del pavimento y deberá terminar en la línea centro del mismo. Al finalizar la reparación se debe limpiar el material suelto producto del pulido.



	Rango de valores (mm)
Ancho de Canal	2,0 - 4,0
Distancia entre canales	1,5 - 3,5
Profundidad de textura	1,5
Número de canales por metro	164 - 194

Figura 402-3. Ranurado recomendado.

Adaptado de: MTAG Volume II – Rigid Pavement Preservation 2nd Edition. Caltrans Division of Maintenance.

(c) Otras actividades

(i) Realizar la limpieza general del sitio de obras y trasladar los materiales sobrantes al depósito de excedentes previsto para tal efecto, previamente aprobado por la Administración, evitando colocarlo en sitios que afecten las obras de drenaje.

402.05.03 Acciones finales

- 1) Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
- 2) Tomar algunas fotografías referenciadas, con indicación de ruta, sección de control y estacionamiento, que permitan evidenciar el trabajo realizado.

402.06 Aceptación de los trabajos

La Administración aceptará los trabajos cuando compruebe que se ha realizado a satisfacción el cumplimiento de todas las especificaciones anteriores, la atención adecuada de las recomendaciones ambientales correspondientes, el adecuado desarrollo de los procesos constructivos y el cumplimiento de la calidad de los materiales suministrados, así como el suministro de equipo y herramientas con buen estado y desempeño, utilizados para el desarrollo de todas las actividades asociadas con la *reparación de losas en espesores parciales*.

Además, para la aceptación de los materiales y los procesos constructivos, en lo que razone pertinente la Administración, de acuerdo con los mecanismos que establece el Contrato para el control de la calidad y ejecución de las obras, de conformidad con la

intervención técnica seleccionada, se deberá considerar lo indicado al respecto en las *Subsecciones 107.01 Conformidad de los requisitos del Contrato, 107.02 Inspección visual y 107.03 Certificación*, y en las *Secciones 501 Pavimento de concreto hidráulico y 502 Rehabilitación de pavimentos de concreto hidráulico*, del CR-2010 o su versión vigente.

402.07 Medición

La unidad de medida para la ***reparación de losas en espesores parciales*** será, según las siguientes actividades involucradas, previa aceptación y aprobación por parte de la Administración, de la siguiente forma:

- 1) Reparación de losas: metro cuadrado (m²), efectivamente colocadas y acabadas.
- 2) Concreto o mortero: metro cúbico (m³).

402.08 Pago

La reparación de losas en espesores parciales, se pagará, según el precio de Contrato por trabajo aprobado satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y la aceptación por parte de la Administración.

402.09 Renglones de pago

Las cantidades se pagarán al precio unitario y las unidades establecidas en el Contrato, o bien de acuerdo con el siguiente listado de renglones de pago.

El pago será la compensación completa por el trabajo indicado en esta sección ejecutado satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptado por parte de la Administración. Incluye todos los recursos involucrados para su ejecución: maquinaria, equipo y personal necesarios, acarreo y colocación de material al depósito de excedentes, así como la señalización preventiva de protección de obra y cualquier otra actividad necesaria para la adecuada y correcta realización de las actividades contempladas en esta sección. Lo anterior, con excepción de aquellos casos para los cuales algunos de esos recursos se paguen de forma separada, indicados así en el Contrato o en este manual.

No se reconocerá pago adicional por concepto de corrección de defectos imputables al Contratista, obra rechazada y corregida.

ITEM	RENLÓN DE PAGO	UNIDAD
CV.402.01	<i>Reparación de losas en espesores parciales en pavimentos rígidos utilizando mezcla tipo A</i>	m ²

CV.402.02	<i>Reparación de losas en espesores parciales en pavimentos rígidos utilizando mezcla tipo B</i>	m ²
CV.402.03	<i>Reparación de losas en espesores parciales en pavimentos rígidos utilizando mezcla tipo C</i>	m ²
CR.502.05	<i>Fresado de la superficie (diamante)</i>	m ²
CR.502.01	<i>Bacheo de pavimento de concreto</i>	m ³

A continuación, en la Tabla N°14 se describen las principales diferencias entre ambas especificaciones.

Tabla N°14 Comparación de normativas para cepillado de pavimentos

Punto	Norma Chilena	Norma de Costa Rica
-------	---------------	---------------------

Descripción y Alcance	Se aplica en Pavimento Rígido y Flexible	Solo se refiere a pavimento rígido reforzado y con juntas (JRPC) y concreto simple con juntas (JPCP)
	Se refiere que al disminuir las cargas dinámicas aumenta la vida útil del pavimento.	No hace referencia al efecto de la disminución de cargas dinámicas.
Equipos	Define dimensiones mínimas del equipo.	No define dimensiones del equipo.
	La configuración del tambor de cepillado está en función del agregado	Define configuración del tambor de cepillado
Texturizado	175 – 188 canales por metro	164 – 194 canales por metro
	0.8 – 2.4 mm rango de altura de corrugaciones respecto a los valles.	1.5 mm profundidad de textura.
	Trabajo se realiza en sentido contrario al flujo vehicular.	Trabajo se ejecuta en sentido del flujo vehicular.
	No hace referencia a los traslapes, pero habla de superficie uniforme.	Traslape máximo entre pasadas de 50 mm.
	Se aplica como mínimo al 95% de la superficie.	Va del borde externo a la línea de centro.
	Solicita pruebas para verificar eficacia de los discos del tambor y cumplimiento de requisitos.	Solicita realizar un tramo de prueba para verificar la profundidad de textura.

La Tabla N°14 muestra que las normativas son similares en cuanto al proceso, sin embargo, la especificación para texturizado máximo es más riguroso en el caso de la norma de Costa Rica. Otro aspecto importante radica en que la norma chilena se aplica a pavimentos rígidos y flexibles, mientras que la nacional es solamente para pavimentos rígidos. Debido a que en Costa Rica el porcentaje de pavimentos rígidos de la red vial pavimentada, es alrededor del 2%, es necesario una normativa más acorde con las condiciones del país.

6.4. El micro fresado para mejorar el perfil del pavimento

Otra técnica que se está implementando en Costa Rica es la de micro fresar el pavimento a partir de equipos como los mostrados en la Ilustración 111, que son utilizados principalmente para fresar espesores importantes de mezcla asfáltica. Al cambiar el tambor de fresado por uno de micro fresado (Ilustración 112) e intervenir unos pocos milímetros, se obtiene una superficie plana y con macro textura más suave, la cual puede eliminar las deficiencias del perfil y mejorar el IRI (Ilustración 113). Esta técnica también se utiliza si la mezcla asfáltica presenta en algún grado la superficie sellada, eliminando esa lámina para devolverle al pavimento su rugosidad, evitando derrapes e hidroplaneo.



Ilustración 111 Modelos con 1000 mm de ancho de tambor



Ilustración 112 Tambor especial de Micro Fresado provisto de 1080 puntas

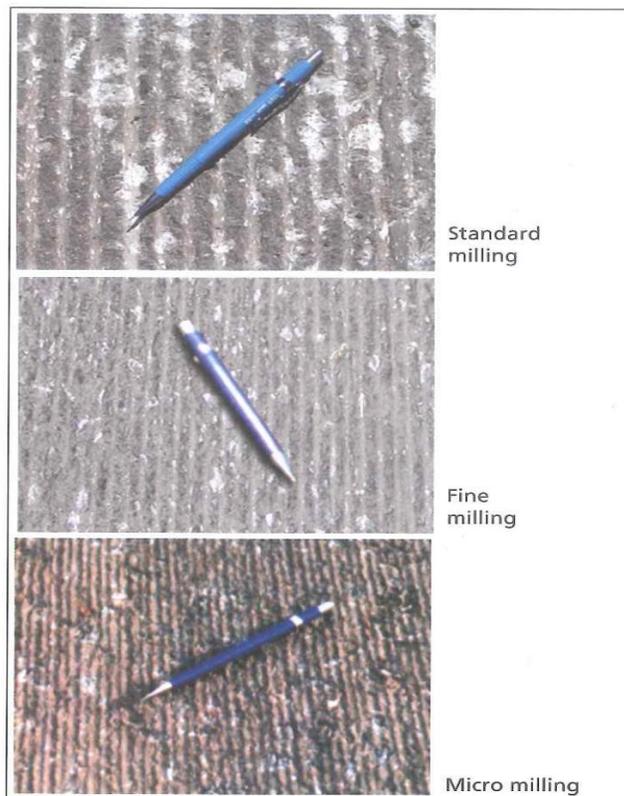


Ilustración 113. Comparación entre los diferentes tipos de fresado de acuerdo con los resultados de regularidad sobre la superficie

En la actualidad las tres empresas que tienen a su cargo el mantenimiento de la red vial pavimentada, han adquirido este tipo de sistemas para micro fresar los pavimentos que presentan incumplimiento en IRI. Es importante señalar que, para este tipo de intervención, no existe en nuestro país una normativa; pues cepillado y micro fresado son técnicas que manejan equipos y sistemas diferentes. Las Ilustraciones 114 y 115 muestran una intervención con esta técnica en la Ruta Nacional N°126



Ilustración 115 Intervención con micro fresado en la Ruta



Ilustración 116 Intervención con micro fresado en la Ruta

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El proceso de cepillado es una técnica utilizada en muchos países principalmente como medida de preservación de pavimentos. Este hecho lo hace un procedimiento válido para mejorar el IRI, tanto en un pavimento nuevo, como durante la conservación vial del mismo.
- El modelo MCP demuestra que, a partir de él, un profesional puede elaborar un plan de cepillado tanto para un pavimento flexible como rígido. Es importante que los datos de MRI (promedio de laser derecho e izquierdo de una medición) sean consistentes estadísticamente para que el modelo tenga un mayor porcentaje de predicción; es decir que los datos deben de provenir de un proceso aleatorio, con homogeneidad de varianzas en los grupos y que estos sean totalmente independientes.
- El MCP (Modelo de Cepillado de Pavimentos) desarrollado en este proyecto para establecer a partir de los datos de MRI, un plan de cepillado para mejorar la regularidad superficial, representa una herramienta similar a uno de los módulos propuestos en Proval (Software para Ver y Analizar Perfiles de Pavimento) desarrollado por el Grupo Transtec de Austin Texas. Sin embargo, la metodología de análisis es totalmente diferente.
- Al comparar el Modelo MCP con los resultados de Proval, no se obtiene suficiente evidencia de que exista correlación estadística, esto se puede originar en el hecho de que los modelos operan con algoritmos diferentes y los parámetros de cepillado también no concuerdan, puesto que en Proval se puede establecer una personalización para el equipo de cepillado, o trabajar con un equipo estándar. A diferencia del modelo MCP, que requiere de datos con el equipo, personal y pavimento a tratar, previo a establecer la función de cepillado requerida por el modelo.
- En Costa Rica, a pesar de que en proyectos nuevos y de mantenimiento vial, el cepillado es viable de implementar, esta técnica no se ha aplicado como solución para mejorar el IRI. El único proyecto donde se ha utilizado es Cañas – Liberia en 2015. Posiblemente el alto costo (alrededor de \$ 1 millón) de estos equipos, no hace atractivo a contratistas nacionales tal inversión, sin embargo, en un esquema de pago

en función de la calidad que incluya el parámetro de regularidad superficial, indudablemente que habrá una relación positiva del beneficio / costo para el contratista, al tener acceso a estos equipos, pues el ahorro en multas y costos asociados, es significativo.

- El procedimiento realizado para establecer la función de cepillado, se desarrolló a partir de datos sobre pavimento rígido, no obstante, para uno flexible el proceso es el mismo. Esto se debe a que, en el equipo, solo se requiere utilizar los discos correspondientes al tipo de pavimento (rígido o flexible), y a la dureza de los agregados por tratar (gravas, calizas, etc.). Para ello, el fabricante del equipo de cepillado dispone de una gama de discos para cada tipo de trabajo, y asesora al contratista en la selección de los mismos. La técnica no cambia para uno u otro pavimento, y lo que se debe hacer es desarrollar para un proyecto específico, la función de cepillado a partir del proceso descrito en este trabajo de investigación.
- Una forma de tener una mejor correlación entre el IRI inicial y final es estandarizar la técnica, por ejemplo, realizar el cepillado a partir de la ubicación del cabezal sobre un plano del perfil y penetrarlo 3 m sobre el pavimento. Esto elimina la dispersión provocada por las otras posiciones que producen datos más variables y generaría una mejor predicción.
- Como se puede inferir, para todos estos análisis es indispensable la utilización de un perfilómetro debidamente estandarizado y operado por personal calificado, a fin de obtener datos confiables en el proyecto.
- Con los perfilómetros modernos, el proceso de establecer un plan de cepillado es totalmente factible y sencillo, pero con perfiles topográficos es complicado y lento, debido a que se debe suavizar el perfil y calcular los datos de MRI con algún programa. Suavizar el perfil topográfico requiere de análisis matemático, y es un proceso tedioso pues se trabaja con bases de datos muy grandes. Por ejemplo, para estimar la exactitud de un perfilómetro con la norma ASTM E-950, se requiere un perfil de 322 m de longitud, que produce 1057 datos (1 @ 12 in), y estos datos se comparan con un perfil de referencia, pero si se toman datos a cada pulgada como los origina un perfilómetro, se obtendría una matriz con 12684 datos, por esto se utilizan en estos procesos, los perfiles que producen los paquetes de cómputo del fabricante de estos equipos.

- Se observa un considerable ahorro al aplicar el cepillado, con respecto a la utilización de perfilado y sobre-capa asfáltica, para mejorar tramos con incumplimientos de MRI, de acuerdo con los costos de estas actividades en Costa Rica.
- La optimización del proceso de cepillado requiere que el ingeniero desarrolle una técnica adecuada en campo, lo cual implica la comprensión de las especificaciones aplicables a su proyecto, la interpretación de singularidades y la utilización de un servicio de perfilometría confiable, que le brinde los datos de forma organizada, y le permita en gabinete, optimizar el tratamiento del pavimento por medio de una herramienta como MCP.
- La técnica del micro fresado que se está implementando en Costa Rica, requiere de una normativa adecuada, es necesario que las autoridades de Conavi regulen su aplicación para evitar pavimentos con deficiencias superficiales, que puedan afectar la seguridad del usuario.

7.2. Recomendaciones

- Algunos profesionales en el campo vial han externado sus observaciones sobre la posibilidad de que, al cepillar un pavimento asfáltico, se presente deterioro prematuro de la mezcla asfáltica por el desnudamiento del agregado. Como en Costa Rica no se ha aplicado esta técnica en pavimentos asfálticos, no se tiene registro de este fenómeno, sin embargo, la técnica se utiliza en muchos países sobre este tipo de pavimentos. La transferencia de tecnología es en este sentido; la solución para evitar los criterios errados sobre la utilización de diferentes soluciones en todos los ámbitos profesionales. Se hace necesario, entonces, promover esta discusión en nuestro país y llevar a cabo investigación al respecto.
- Para promover este tipo de soluciones, es necesario que la Administración Vial de nuestro país (Conavi) conozca las posibilidades, beneficios y alcances de las técnicas de cepillado y micro fresado de pavimentos, por lo que nos corresponde ser factores multiplicadores de este conocimiento.
- Para el inicio de la utilización de esta técnica, es necesario poseer una especificación clara y que sea de aplicación en el ámbito nacional. La normativa nacional hace referencia exclusiva al tratamiento de pavimentos rígidos, por lo que se podría adoptar la norma chilena que si incluye a los pavimentos flexibles.

BIBLIOGRAFIA

- Perera & Kohn. (marzo de 2002). Issues in Pavement Smoothness. AsistenteMinitab18. (2017).
- Badilla, G. (28 de ENERO de 2009). *DETERMINACIÓN DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS MEDIANTE EL CÁLCULO DEL INDICE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI): ASPECTOS Y CONSIDERACIONES IMPORTANTES*. Obtenido de www.Lanamme-UCR: <http://163.178.106.6/banco-de-informacion-digital-on-line/07-02-13/2009/determinacion-de-procedimiento-de-ensayo-para-calculo-de-iri.PDF>
- Buddhavarapu, P. (2013). Evaluation of the benefits of diamond grinding of CRCP. *Texas Department of Transportation* .
- Chile, D. d. (2015). Manual de Carreteras Volumen 7 Mantnimiento Vial. Chile. Recuperado el 22 de Agosto de 2017
- Dominguez, A. N. (2010). *Probabilidad y estadística para ingeniería un enfoque moderno*. Mexico D.F.: Mc Graw Hill.
- EMIN, G. (s.f.). *www.epav.cl*. Recuperado el 2 de junio de 2016
- Excel, M. (2016).
- Gillespie T. D, S. (1986). *Guidelines for Conductin and Calibrating Road Roughness Measurements*. . Reporte Técnico, The World Bank.
- Hidalgo, P.L. (julio de 2014). *Investigaciones en Infraestructura de Transporte*. San José, Costa Rica. Obtenido de <http://fliphtml5.com/dfbs/fttv/basic>
- LGC. (12 de 08 de 2016). PREPARACION DEL SISTEMA DE PERFIL PARA EL FUNCIONAMIENTO. Desamparados, San José, Costa Rica.
- Ministerio de Obras Publicas de Chile. (2016). Manual de Carreteras. *Mantenimiento Vial, Volúmen 7*. Chile.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2015). Manual de Especificaciones Generales para la Conservación de Caminos, Carreteras y Puentes MCV-2015. San José, Costa Rica.
- Minitab18. (2017). Minitab. Obtenido de <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Proval.3.61. (2015).
- Salazar, R. G. (2015). [http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/MULTAS%20DE%20IRI%20\(2015\)%20V2.pdf](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/MULTAS%20DE%20IRI%20(2015)%20V2.pdf). Obtenido de www.vialidad.cl.
- Sayers. (1995). On the calculation of International Roughness Index from longitudinal road profile. Washington, United States.
- The Transtec Group. (2010). <http://www.roadprofile.com>.
- Vialidad, C. N. (Noviembre de 2014). <https://www.hacienda.go.cr/rp/ca/InformacionTramite.aspx?TRAMIDEN=2014LN0000018-OCV&TITUTRAM=0584>. Recuperado el 15 de Enero de 2016
- Hidalgo, P. L. (Julio de 2014). Circular Número LM-PI-C1 Investigaciones en Infraestructura del Transporte. *Estudios Técnicos para la Aplicación del Índice de Regularidad Internacional (IRI) en Costa Rica*. San Pedro, San Jose, Costa Rica. Obtenido de <http://fliphtml5.com/dfbs/fttv/basic>.

- Minitab18. (2017). Minitab. Obtenido de <https://www.minitab.com/es-mx/>
- Proval.3.61. (2015). Proval. Obtenido de <http://www.roadprofile.com/proval-3-61-released/>
- American Concrete Pavement Association. (2000). Diamond Grinding and Concrete Pavemente Restoriation. *Concrete Paving Technology, TB008.01P*. Estados Unidos. Recuperado el 5 de Mayo de 2016
- American Concrete Pavement Association. (2002). The Longevity and Performance of Diamond-Ground Pavements. *Concrete Information*. Recuperado el 6 de mayo de 2016
- Boletín Oficial del Estado de España. (12 de Diciembre de 2003). http://www.carreteros.org/normativa/firmes/6_3ic/apartados/11.htm. Recuperado el 4 de Julio de 2016
- Chen, D. a. (2014). Improving Surface Characteristics by Using Diamond Grinding. Recent Developments in Evaluation of Pavements and Paving Materials. *Recent Developments in Evaluation of Pavements and Paving Materials*. Austin, Texas, Estados Unidos. doi: 10.1061/9780784478493.011
- Concrete Pavement Association. (January de 2006). Research and Technology. Concrete Pavement. *Diamond Grinding Shines in California and Missouri*. California, Estados Unidos. Recuperado el 7 de mayo de 2016
- Depto. Técnico de Pavimentos del Instituto del Cemento Portland Argentina. (2012). *Pulido con discos diamantados para la rehabilitación de pavimentos de*. Argentina. Recuperado el 5 de mayo de 2016
- Grupo EMIN. (s.f.). www.epav.cl. Recuperado el 2 de junio de 2016
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (1999). Hormigón al Día. *Hormigón al Día(16)*. Chile. Recuperado el 2 de junio de 2016
- International Grooving and Grinding Association IGGA. (30 de Setiembre de 2014). IGGA Guide Specification: Conventional Diamond Grinding of City Streets. Estados Unidos. Recuperado el 28 de junio de 2016
- Karamihas, M. W. (june de 1996). INTERPRETATION OF ROAD ROUGHNESS. *INTERPRETATION OF ROAD ROUGHNESS*. Estados Unidos. Recuperado el 3 de febrero de 2015
- Ministerio de Obras Públicas y Transporte. (2010). *Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras, Caminos y Puentes CR-2010, 1, 788*. San José, Costa Rica. Recuperado el 10 de abril de 2016

Prasad Buddhavarapu, A. d. (2013). *Evaluation of the Benefits of Diamond Grinding of CRCP*.: Texas Department of Transportation.

Sayers, M. (1995). *On the Calculation of International Roughness Index from Longitudinal Road Profile*. Washington, United States. Transportation Research Record, Transportation Research Board (TRB), Washington, DC. No. 1501, p 1-12.

Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile. *Manual de Carreteras, Volumen 7, Mantenimiento Vial. Sección 7.3.05.7. Recuperado 22 agosto 2017.*

Haider, S. C. (2015). Impact of Diamond Grinding on Rigid Pavement Performance. Airfield and Highway Pavements. *Airfield and Highway Pavements 2015: Innovative and Cost-Effective Pavements for a Sustainable Future*. (J. H. Chou, Ed.) Miami, Florida, Estados Unidos. doi:10.1061/9780784479216.045

ANEXOS

Anexo 1: Teorema de Límite Central

A continuación, se presentan los resultados de la utilización del Teorema de Límite Central para los datos de MRI. En el análisis se utiliza el Programa Minitab, cuya licencia vigente se muestra en la Ilustración A-1. Con la finalidad de no hacer muy extenso el estudio de los datos, se presentarán solamente las Ilustraciones donde el conjunto de 200 datos no cumple con la distribución normal y otra donde a partir de la toma de muestras con $n=4$, los datos si presentan esta distribución. Se recuerda que las mediciones de MRI se realizaron en 4,0 Km del Proyecto Cañas – Liberia, en la Sección Río Potrero – Río Urraca; y en la sección 4.1.1.1 se efectuó el estudio de los primeros 200 datos (1000 m).



Ilustración A- 1 Licencia de Minitab para LGC Ingeniería.

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)
1+000.0	1+005.0	5	2,6	2,9	2,8	1+250.0	1+255.0	5	1,4	1,9	1,7
1+005.0	1+010.0	5	2,1	3,8	3	1+255.0	1+260.0	5	2,2	1,6	1,9
1+010.0	1+015.0	5	2	2,5	2,3	1+260.0	1+265.0	5	1,9	1,5	1,7
1+015.0	1+020.0	5	2,7	2,1	2,4	1+265.0	1+270.0	5	0,9	0,9	0,9
1+020.0	1+025.0	5	2,7	2	2,4	1+270.0	1+275.0	5	2	1,8	1,9
1+025.0	1+030.0	5	2,1	1,9	2	1+275.0	1+280.0	5	2,6	2,4	2,5
1+030.0	1+035.0	5	2,1	1,4	1,7	1+280.0	1+285.0	5	3,5	2,5	3
1+035.0	1+040.0	5	2,6	1,9	2,2	1+285.0	1+290.0	5	1,5	1,8	1,7
1+040.0	1+045.0	5	2,1	3,5	2,8	1+290.0	1+295.0	5	1,3	1,6	1,5
1+045.0	1+050.0	5	2,7	2,8	2,7	1+295.0	1+300.0	5	1,7	1	1,4
1+050.0	1+055.0	5	3,4	1,2	2,3	1+300.0	1+305.0	5	2,2	1,9	2,1
1+055.0	1+060.0	5	2,8	3,1	3	1+305.0	1+310.0	5	1	1,5	1,2
1+060.0	1+065.0	5	2,1	1,8	1,9	1+310.0	1+315.0	5	1,8	1,8	1,8
1+065.0	1+070.0	5	1,6	2,1	1,8	1+315.0	1+320.0	5	2,1	2	2,1
1+070.0	1+075.0	5	2,2	3,2	2,7	1+320.0	1+325.0	5	1,2	0,8	1
1+075.0	1+080.0	5	2,7	2	2,3	1+325.0	1+330.0	5	1,3	2	1,6
1+080.0	1+085.0	5	2,6	2,5	2,6	1+330.0	1+335.0	5	1,6	1,1	1,3
1+085.0	1+090.0	5	1,9	3,6	2,8	1+335.0	1+340.0	5	1,3	1,5	1,4
1+090.0	1+095.0	5	1,8	2,4	2,1	1+340.0	1+345.0	5	1,1	1,5	1,3
1+095.0	1+100.0	5	1,5	2,3	1,9	1+345.0	1+350.0	5	2,2	1,1	1,6
1+100.0	1+105.0	5	1,7	1,1	1,4	1+350.0	1+355.0	5	2,3	1,2	1,8
1+105.0	1+110.0	5	1,7	1,6	1,6	1+355.0	1+360.0	5	2,1	1,5	1,8
1+110.0	1+115.0	5	1,6	1,4	1,5	1+360.0	1+365.0	5	1,1	0,8	1
1+115.0	1+120.0	5	2	1,8	1,9	1+365.0	1+370.0	5	2	1,5	1,7
1+120.0	1+125.0	5	1,9	2	1,9	1+370.0	1+375.0	5	1,5	1,3	1,4
1+125.0	1+130.0	5	2,6	2,6	2,6	1+375.0	1+380.0	5	1,2	2,1	1,6
1+130.0	1+135.0	5	1,8	1	1,4	1+380.0	1+385.0	5	1,5	1,8	1,7
1+135.0	1+140.0	5	1,3	1,9	1,6	1+385.0	1+390.0	5	1,1	1,4	1,2
1+140.0	1+145.0	5	1,1	2,1	1,6	1+390.0	1+395.0	5	1	1,3	1,2
1+145.0	1+150.0	5	1,6	1,7	1,7	1+395.0	1+400.0	5	1,3	1	1,2
1+150.0	1+155.0	5	2,1	1,6	1,8	1+400.0	1+405.0	5	2,5	2,2	2,4
1+155.0	1+160.0	5	2,8	3,4	3,1	1+405.0	1+410.0	5	1,8	1,4	1,6
1+160.0	1+165.0	5	3,7	2,9	3,3	1+410.0	1+415.0	5	1,4	1,9	1,6
1+165.0	1+170.0	5	1,2	3,2	2,2	1+415.0	1+420.0	5	1,1	1,9	1,5
1+170.0	1+175.0	5	3,4	2	2,7	1+420.0	1+425.0	5	1,6	1,7	1,6
1+175.0	1+180.0	5	1,9	2,9	2,4	1+425.0	1+430.0	5	2,1	1,7	1,9
1+180.0	1+185.0	5	2	2,9	2,4	1+430.0	1+435.0	5	2,1	1,2	1,6
1+185.0	1+190.0	5	2	2,4	2,2	1+435.0	1+440.0	5	1,5	1,9	1,7
1+190.0	1+195.0	5	1,5	1,4	1,5	1+440.0	1+445.0	5	1,6	1,3	1,5
1+195.0	1+200.0	5	1,8	2,7	2,3	1+445.0	1+450.0	5	1,1	1,4	1,3
1+200.0	1+205.0	5	1,9	1,9	1,9	1+450.0	1+455.0	5	2,1	2	2
1+205.0	1+210.0	5	1,8	2,5	2,2	1+455.0	1+460.0	5	1,6	1,7	1,7
1+210.0	1+215.0	5	3,2	2,1	2,6	1+460.0	1+465.0	5	1,5	1	1,2
1+215.0	1+220.0	5	1,9	2,7	2,3	1+465.0	1+470.0	5	2,4	1,6	2
1+220.0	1+225.0	5	1,9	2,2	2	1+470.0	1+475.0	5	2,2	1,8	2
1+225.0	1+230.0	5	1,8	2,3	2	1+475.0	1+480.0	5	1,4	2	1,7
1+230.0	1+235.0	5	1,6	1,8	1,7	1+480.0	1+485.0	5	1,6	1,1	1,3
1+235.0	1+240.0	5	1,9	1,9	1,9	1+485.0	1+490.0	5	1,7	1,4	1,6
1+240.0	1+245.0	5	1,8	3,6	2,7	1+490.0	1+495.0	5	1,4	2,7	2
1+245.0	1+250.0	5	3	3,5	3,3	1+495.0	1+500.0	5	2,8	2,4	2,6

Tabla A- 1 Datos de 1+000 a 1+500 Sección Río Potrero – Río Urraca

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)
1+500.0	1+505.0	5	2,7	2,3	2,5	1+750.0	1+755.0	5	1	0,9	1
1+505.0	1+510.0	5	1,5	1,7	1,6	1+755.0	1+760.0	5	2,4	2,8	2,6
1+510.0	1+515.0	5	1,5	2,6	2	1+760.0	1+765.0	5	5,7	5	5,4
1+515.0	1+520.0	5	2	1,8	1,9	1+765.0	1+770.0	5	2,8	3,2	3
1+520.0	1+525.0	5	1,6	1,7	1,7	1+770.0	1+775.0	5	2,2	1,2	1,7
1+525.0	1+530.0	5	3,7	6,1	4,9	1+775.0	1+780.0	5	2,2	1,8	2
1+530.0	1+535.0	5	3,5	2,7	3,1	1+780.0	1+785.0	5	1,2	1,3	1,2
1+535.0	1+540.0	5	1,4	1,8	1,6	1+785.0	1+790.0	5	1,4	1,4	1,4
1+540.0	1+545.0	5	3	1,9	2,5	1+790.0	1+795.0	5	1,7	2,4	2,1
1+545.0	1+550.0	5	2	1,6	1,8	1+795.0	1+800.0	5	1,5	1,1	1,3
1+550.0	1+555.0	5	1,7	1,7	1,7	1+800.0	1+805.0	5	1,1	1,9	1,5
1+555.0	1+560.0	5	2,4	2,4	2,4	1+805.0	1+810.0	5	1,5	1,4	1,4
1+560.0	1+565.0	5	1,7	1	1,3	1+810.0	1+815.0	5	1,2	1,1	1,2
1+565.0	1+570.0	5	1,6	2	1,8	1+815.0	1+820.0	5	1,2	1	1,1
1+570.0	1+575.0	5	1,5	1,4	1,5	1+820.0	1+825.0	5	0,9	1,1	1
1+575.0	1+580.0	5	2,2	0,9	1,5	1+825.0	1+830.0	5	1	1	1
1+580.0	1+585.0	5	1,5	2,1	1,8	1+830.0	1+835.0	5	1,8	3	2,4
1+585.0	1+590.0	5	2,3	2,3	2,3	1+835.0	1+840.0	5	1,4	1,2	1,3
1+590.0	1+595.0	5	1,3	2,4	1,9	1+840.0	1+845.0	5	1,4	1,5	1,5
1+595.0	1+600.0	5	2,1	2,7	2,4	1+845.0	1+850.0	5	1,9	1,7	1,8
1+600.0	1+605.0	5	1,7	1,1	1,4	1+850.0	1+855.0	5	1,8	1,5	1,7
1+605.0	1+610.0	5	1,3	1,4	1,3	1+855.0	1+860.0	5	1,9	1,9	1,9
1+610.0	1+615.0	5	1,3	1,9	1,6	1+860.0	1+865.0	5	1,7	1,5	1,6
1+615.0	1+620.0	5	1,4	2,5	1,9	1+865.0	1+870.0	5	1,6	2	1,8
1+620.0	1+625.0	5	2,6	2,2	2,4	1+870.0	1+875.0	5	1,5	1,1	1,3
1+625.0	1+630.0	5	2,4	1,7	2	1+875.0	1+880.0	5	1,5	1,9	1,7
1+630.0	1+635.0	5	1,6	3,2	2,4	1+880.0	1+885.0	5	1	1,8	1,4
1+635.0	1+640.0	5	1,8	1,6	1,7	1+885.0	1+890.0	5	1,6	1	1,3
1+640.0	1+645.0	5	2,7	1,6	2,1	1+890.0	1+895.0	5	0,9	1	1
1+645.0	1+650.0	5	1,8	1,4	1,6	1+895.0	1+900.0	5	0,8	1,5	1,1
1+650.0	1+655.0	5	1,7	1,9	1,8	1+900.0	1+905.0	5	1	1	1
1+655.0	1+660.0	5	1,1	1,7	1,4	1+905.0	1+910.0	5	1,7	1,1	1,4
1+660.0	1+665.0	5	1,2	1,4	1,3	1+910.0	1+915.0	5	1,9	1,3	1,6
1+665.0	1+670.0	5	1,5	1,6	1,6	1+915.0	1+920.0	5	0,8	1,7	1,2
1+670.0	1+675.0	5	1,7	1,5	1,6	1+920.0	1+925.0	5	1,3	1,2	1,2
1+675.0	1+680.0	5	1,9	2,4	2,1	1+925.0	1+930.0	5	1,6	1,4	1,5
1+680.0	1+685.0	5	2,3	2	2,2	1+930.0	1+935.0	5	0,6	2,3	2
1+685.0	1+690.0	5	1,9	2	1,9	1+935.0	1+940.0	5	1,2	1,2	1,1
1+690.0	1+695.0	5	1,7	1,3	1,5	1+940.0	1+945.0	5	1,5	1,9	1,7
1+695.0	1+700.0	5	1,5	2,1	1,8	1+945.0	1+950.0	5	0,9	1,5	1,2
1+700.0	1+705.0	5	0,9	1,1	1	1+950.0	1+955.0	5	1,6	1,2	1,4
1+705.0	1+710.0	5	1,9	1,3	1,6	1+955.0	1+960.0	5	0,9	1,5	1,2
1+710.0	1+715.0	5	1,9	1,1	1,5	1+960.0	1+965.0	5	1,4	0,8	1,1
1+715.0	1+720.0	5	0,9	1,9	1,4	1+965.0	1+970.0	5	1,8	2,2	2
1+720.0	1+725.0	5	1,1	0,7	0,9	1+970.0	1+975.0	5	1,2	1,8	1,5
1+725.0	1+730.0	5	1,2	0,8	1	1+975.0	1+980.0	5	0,9	1,1	1
1+730.0	1+735.0	5	1,4	0,6	1	1+980.0	1+985.0	5	1,4	1,6	1,5
1+735.0	1+740.0	5	1,2	0,8	1	1+985.0	1+990.0	5	1,3	1,5	1,4
1+740.0	1+745.0	5	2,3	1,2	1,7	1+990.0	1+995.0	5	1,4	1,9	1,6
1+745.0	1+750.0	5	2,1	2,2	2,1	1+995.0	2+000.0	5	2,3	2,7	2,5

Tabla A- 2 Datos de 1+500 a 2+000 Sección Río Potrero – Río Urraca

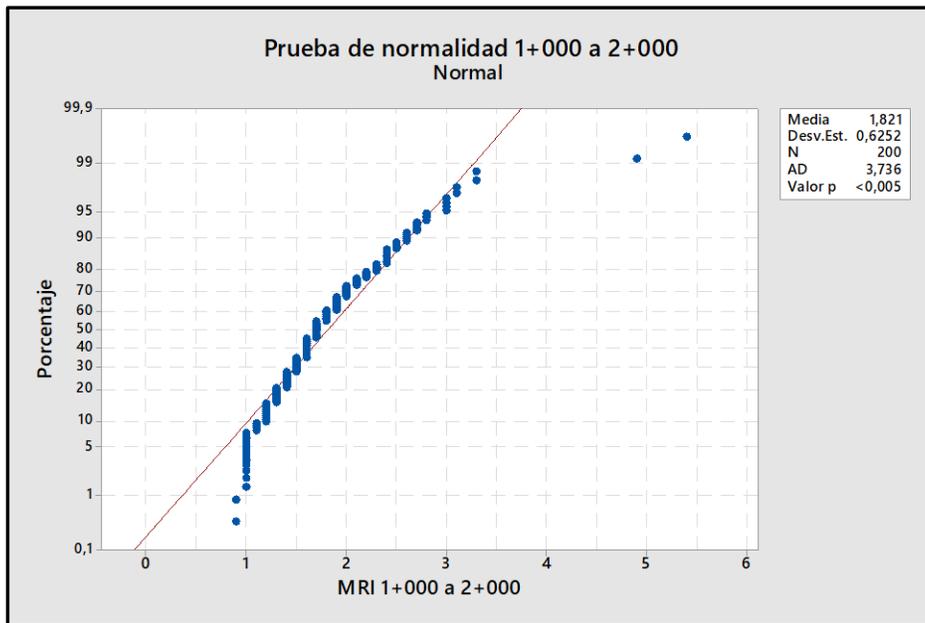


Ilustración A- 2 Datos de 1+000 a 2+000 No normales

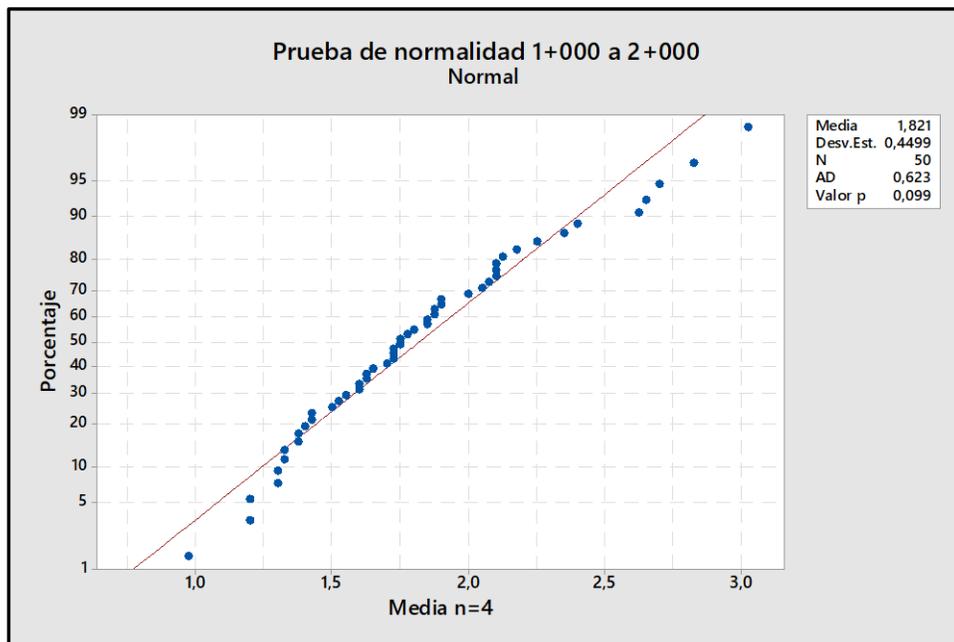


Ilustración A- 3 Datos de 1+000 a 2+000 normales

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)
2+000.0	2+005.0	5	1,3	1,1	1,2	2+250.0	2+255.0	5	2,5	2,3	2,4
2+005.0	2+010.0	5	1,8	1	1,4	2+255.0	2+260.0	5	1,6	1,9	1,7
2+010.0	2+015.0	5	1,3	1,1	1,2	2+260.0	2+265.0	5	2,5	3,5	3
2+015.0	2+020.0	5	2,3	1,8	2,1	2+265.0	2+270.0	5	2,3	3,2	2,7
2+020.0	2+025.0	5	3,3	4	3,7	2+270.0	2+275.0	5	1,9	4,3	3,1
2+025.0	2+030.0	5	0,5	2	1,3	2+275.0	2+280.0	5	1,9	2,4	2,1
2+030.0	2+035.0	5	1,5	1,3	1,4	2+280.0	2+285.0	5	1,2	1,7	1,4
2+035.0	2+040.0	5	1,7	1,7	1,7	2+285.0	2+290.0	5	2,2	3,2	2,7
2+040.0	2+045.0	5	1,5	1,2	1,3	2+290.0	2+295.0	5	1	2,3	1,7
2+045.0	2+050.0	5	2,2	1,2	1,7	2+295.0	2+300.0	5	1,4	3,4	2,4
2+050.0	2+055.0	5	1,2	1	1,1	2+300.0	2+305.0	5	1,8	1,8	1,8
2+055.0	2+060.0	5	0,9	1,1	1	2+305.0	2+310.0	5	1,7	2,6	2,1
2+060.0	2+065.0	5	0,7	1,6	1,1	2+310.0	2+315.0	5	1,8	2,6	2,2
2+065.0	2+070.0	5	1,7	1,8	1,7	2+315.0	2+320.0	5	1,8	1,6	1,7
2+070.0	2+075.0	5	1,6	1,2	1,4	2+320.0	2+325.0	5	2,1	1,9	2
2+075.0	2+080.0	5	1,4	1,3	1,3	2+325.0	2+330.0	5	2,1	2,5	2,3
2+080.0	2+085.0	5	1,5	1,4	1,5	2+330.0	2+335.0	5	2,7	1,5	2,1
2+085.0	2+090.0	5	2,3	1,3	1,8	2+335.0	2+340.0	5	1,3	2,2	1,8
2+090.0	2+095.0	5	1,5	1,1	1,3	2+340.0	2+345.0	5	1,8	2,8	2,3
2+095.0	2+100.0	5	1,6	1,3	1,4	2+345.0	2+350.0	5	2,8	2	2,4
2+100.0	2+105.0	5	1,9	1,2	1,5	2+350.0	2+355.0	5	1,5	0,9	1,2
2+105.0	2+110.0	5	1,7	1	1,3	2+355.0	2+360.0	5	1,6	2	1,8
2+110.0	2+115.0	5	0,7	1	0,8	2+360.0	2+365.0	5	2,3	2,8	2,6
2+115.0	2+120.0	5	1,1	2	1,5	2+365.0	2+370.0	5	4,2	1,5	2,9
2+120.0	2+125.0	5	1,1	1,1	1,1	2+370.0	2+375.0	5	2,5	2,4	2,4
2+125.0	2+130.0	5	1,9	1,8	1,8	2+375.0	2+380.0	5	3,8	3,8	3,8
2+130.0	2+135.0	5	1,8	2,1	2	2+380.0	2+385.0	5	2,6	2,8	2,7
2+135.0	2+140.0	5	2,1	1,3	1,7	2+385.0	2+390.0	5	5	2,8	3,9
2+140.0	2+145.0	5	2,3	1,3	1,8	2+390.0	2+395.0	5	5,2	3	4,1
2+145.0	2+150.0	5	1,4	2	1,7	2+395.0	2+400.0	5	3,9	2,5	3,2
2+150.0	2+155.0	5	2,3	1,7	2	2+400.0	2+405.0	5	2,7	2,4	2,6
2+155.0	2+160.0	5	2,8	2,2	2,5	2+405.0	2+410.0	5	2,4	1,9	2,1
2+160.0	2+165.0	5	1,8	1,6	1,7	2+410.0	2+415.0	5	2,4	3,7	3,1
2+165.0	2+170.0	5	1,3	1	1,2	2+415.0	2+420.0	5	2,7	4,6	3,6
2+170.0	2+175.0	5	1,7	1,2	1,5	2+420.0	2+425.0	5	1,4	3	2,2
2+175.0	2+180.0	5	2,3	1,8	2	2+425.0	2+430.0	5	1,3	3,2	2,3
2+180.0	2+185.0	5	1,1	1,8	1,5	2+430.0	2+435.0	5	2,5	2,2	2,4
2+185.0	2+190.0	5	1,4	1,5	1,5	2+435.0	2+440.0	5	2,2	3,1	2,7
2+190.0	2+195.0	5	1,4	1,3	1,3	2+440.0	2+445.0	5	2,8	2,2	2,5
2+195.0	2+200.0	5	2,4	2,3	2,4	2+445.0	2+450.0	5	2,6	1,5	2
2+200.0	2+205.0	5	1,6	5,2	3,4	2+450.0	2+455.0	5	2,1	2	2,1
2+205.0	2+210.0	5	1,8	3	2,4	2+455.0	2+460.0	5	2,1	2,2	2,2
2+210.0	2+215.0	5	2,3	2,2	2,2	2+460.0	2+465.0	5	3,1	2	2,5
2+215.0	2+220.0	5	1,8	1,1	1,5	2+465.0	2+470.0	5	2,8	2,5	2,6
2+220.0	2+225.0	5	0,9	1,3	1,1	2+470.0	2+475.0	5	3,1	1,5	2,3
2+225.0	2+230.0	5	1,9	2,2	2	2+475.0	2+480.0	5	1,8	1,9	1,8
2+230.0	2+235.0	5	1,1	1,7	1,4	2+480.0	2+485.0	5	1,5	2,9	2,9
2+235.0	2+240.0	5	1,4	2,1	1,7	2+485.0	2+490.0	5	2,6	2,4	2,5
2+240.0	2+245.0	5	1,3	1,2	1,2	2+490.0	2+495.0	5	1,6	1,6	1,6
2+245.0	2+250.0	5	2,3	1,8	2	2+495.0	2+500.0	5	1,5	2,6	2

Tabla A- 3 Datos de 2+000 a 2+500 Sección Río Potrero – Río Urraca

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)
2+500.0	2+505.0	5	2,3	2,3	2,3	2+750.0	2+755.0	5	1,4	2	1,7
2+505.0	2+510.0	5	3,1	2,8	2,9	2+755.0	2+760.0	5	2,1	1,6	1,8
2+510.0	2+515.0	5	3	2,4	2,7	2+760.0	2+765.0	5	1,8	1,3	1,6
2+515.0	2+520.0	5	2,2	2,6	2,4	2+765.0	2+770.0	5	1,6	1,6	1,6
2+520.0	2+525.0	5	2,5	1,4	2	2+770.0	2+775.0	5	1,6	1,2	1,4
2+525.0	2+530.0	5	1,9	1,5	1,7	2+775.0	2+780.0	5	1,9	1,6	1,8
2+530.0	2+535.0	5	1,5	3,8	2,7	2+780.0	2+785.0	5	2,6	2	2,3
2+535.0	2+540.0	5	3,2	2,5	2,9	2+785.0	2+790.0	5	1,6	0,9	1,2
2+540.0	2+545.0	5	2,1	2	2,1	2+790.0	2+795.0	5	2	3,9	3
2+545.0	2+550.0	5	1,7	1,4	1,6	2+795.0	2+800.0	5	2,1	1,8	2
2+550.0	2+555.0	5	1,4	3,2	2,3	2+800.0	2+805.0	5	0,9	2,5	1,7
2+555.0	2+560.0	5	3,6	3,1	3,3	2+805.0	2+810.0	5	2,6	2,2	2,4
2+560.0	2+565.0	5	1,9	2,2	2	2+810.0	2+815.0	5	1,9	2,3	2,1
2+565.0	2+570.0	5	3,6	3,7	3,7	2+815.0	2+820.0	5	2,9	3,1	3
2+570.0	2+575.0	5	2,3	2,5	2,4	2+820.0	2+825.0	5	2,4	1,9	2,2
2+575.0	2+580.0	5	1,5	3,7	2,6	2+825.0	2+830.0	5	1,5	3	2,3
2+580.0	2+585.0	5	1,5	2,3	1,9	2+830.0	2+835.0	5	4,4	2	3,2
2+585.0	2+590.0	5	3,9	2,8	3,4	2+835.0	2+840.0	5	1,8	1,9	1,8
2+590.0	2+595.0	5	2,7	2,9	2,8	2+840.0	2+845.0	5	1,7	2,4	2
2+595.0	2+600.0	5	1,6	2	1,8	2+845.0	2+850.0	5	5,8	4,8	5,3
2+600.0	2+605.0	5	2	2,2	2,1	2+850.0	2+855.0	5	3,8	3,3	3,6
2+605.0	2+610.0	5	2,3	2	2,1	2+855.0	2+860.0	5	1,5	1,3	1,4
2+610.0	2+615.0	5	1,9	1,4	1,7	2+860.0	2+865.0	5	2,3	0,9	1,6
2+615.0	2+620.0	5	1,7	2,4	2	2+865.0	2+870.0	5	3,4	2,4	2,9
2+620.0	2+625.0	5	1,9	1,6	1,7	2+870.0	2+875.0	5	2,9	2,4	2,6
2+625.0	2+630.0	5	2,3	1,3	1,8	2+875.0	2+880.0	5	2,8	2,4	2,6
2+630.0	2+635.0	5	2	1,4	1,7	2+880.0	2+885.0	5	3,9	3,2	3,5
2+635.0	2+640.0	5	2,8	2	2,4	2+885.0	2+890.0	5	2,8	1,9	2,3
2+640.0	2+645.0	5	2,2	2,2	1,7	2+890.0	2+895.0	5	1,7	3,1	2,1
2+645.0	2+650.0	5	2,3	1,5	1,9	2+895.0	2+900.0	5	3	1,8	2,4
2+650.0	2+655.0	5	1,3	1,8	1,6	2+900.0	2+905.0	5	3	2,1	2,6
2+655.0	2+660.0	5	2	1,7	1,9	2+905.0	2+910.0	5	1,3	1,5	1,4
2+660.0	2+665.0	5	1,1	1,4	1,3	2+910.0	2+915.0	5	1,6	1,8	1,7
2+665.0	2+670.0	5	1,9	2,6	2,3	2+915.0	2+920.0	5	1,9	1,5	1,7
2+670.0	2+675.0	5	1,8	1,8	1,8	2+920.0	2+925.0	5	2	2,7	2,3
2+675.0	2+680.0	5	2,5	0,8	1,6	2+925.0	2+930.0	5	1,2	2,4	1,8
2+680.0	2+685.0	5	1,6	2,7	2,1	2+930.0	2+935.0	5	1,4	1,6	1,6
2+685.0	2+690.0	5	2,3	1,2	1,7	2+935.0	2+940.0	5	1,7	1,2	1,4
2+690.0	2+695.0	5	3,7	1,8	2,8	2+940.0	2+945.0	5	1,4	1	1,2
2+695.0	2+700.0	5	2,2	1	1,6	2+945.0	2+950.0	5	1,2	1,3	1,3
2+700.0	2+705.0	5	3,1	2,6	2,9	2+950.0	2+955.0	5	2,1	1	1,5
2+705.0	2+710.0	5	2,5	1,8	2,2	2+955.0	2+960.0	5	1,2	1,1	1,2
2+710.0	2+715.0	5	1,9	1,1	1,5	2+960.0	2+965.0	5	2,1	2,7	2,4
2+715.0	2+720.0	5	1,2	2,1	1,7	2+965.0	2+970.0	5	1,5	1,9	1,7
2+720.0	2+725.0	5	0,9	1,1	1	2+970.0	2+975.0	5	1,7	1,5	1,6
2+725.0	2+730.0	5	1,3	0,8	1,1	2+975.0	2+980.0	5	1,5	1,9	2,2
2+730.0	2+735.0	5	1,2	1,6	1,4	2+980.0	2+985.0	5	1,2	1,2	1,2
2+735.0	2+740.0	5	1,9	1,2	1,6	2+985.0	2+990.0	5	1,9	1,9	1,9
2+740.0	2+745.0	5	1,8	0,8	1,3	2+990.0	2+995.0	5	1,4	1,2	1,3
2+745.0	2+750.0	5	1,3	2,2	1,8	2+995.0	3+000.0	5	2	1,2	1,6

Tabla A- 4 Datos de 2+500 a 3+000 Sección Río Potrero – Río Urraca

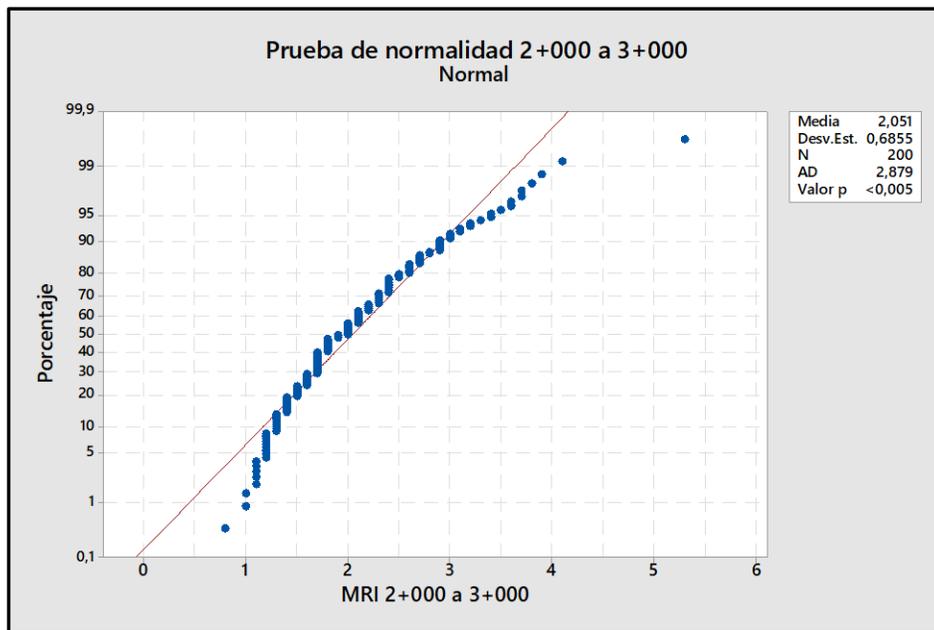


Ilustración A- 4 Datos de 2+000 a 3+000 No normales

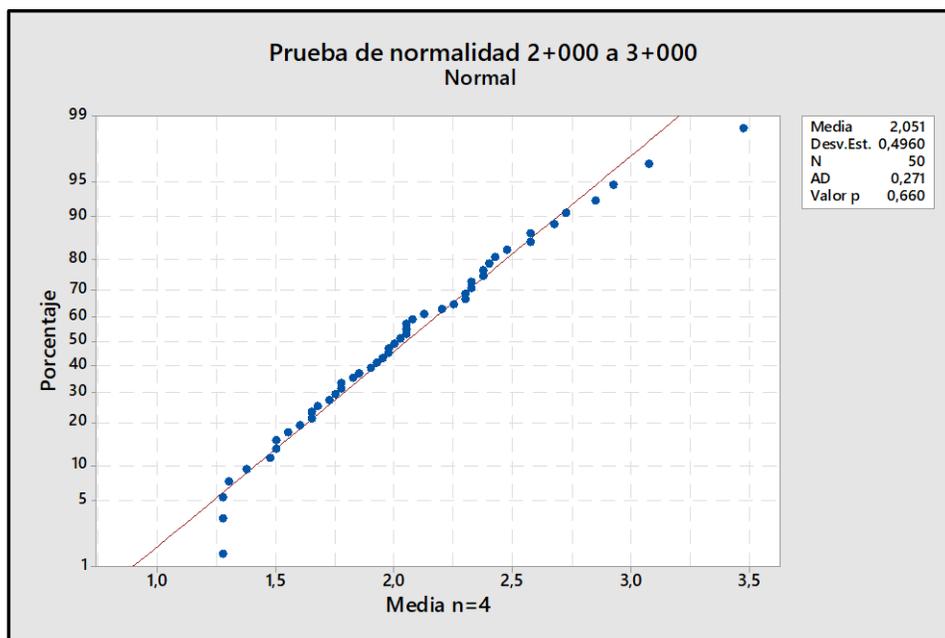


Ilustración A- 5 Datos de 2+000 a 3+000 normales

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)
3+000.0	3+005.0	5	1,8	2,2	2	3+250.0	3+255.0	5	0,9	1,7	1,3
3+005.0	3+010.0	5	1,5	1,3	1,4	3+255.0	3+260.0	5	0,8	1,8	1,3
3+010.0	3+015.0	5	1,8	1,1	1,5	3+260.0	3+265.0	5	1,2	1,5	1,5
3+015.0	3+020.0	5	1,6	1,1	1,3	3+265.0	3+270.0	5	2	1,5	1,7
3+020.0	3+025.0	5	1,8	1,5	1,7	3+270.0	3+275.0	5	1,6	1,3	1,4
3+025.0	3+030.0	5	2	1,6	1,8	3+275.0	3+280.0	5	1,8	1,4	1,6
3+030.0	3+035.0	5	2	1,2	1,6	3+280.0	3+285.0	5	1,1	1	1
3+035.0	3+040.0	5	1,9	1,3	1,6	3+285.0	3+290.0	5	1,6	1,8	1,7
3+040.0	3+045.0	5	2,1	1,2	1,6	3+290.0	3+295.0	5	1,8	1,5	1,6
3+045.0	3+050.0	5	2	2,4	2,2	3+295.0	3+300.0	5	1,6	1,2	1,4
3+050.0	3+055.0	5	1,7	1,4	1,5	3+300.0	3+305.0	5	2,5	2,4	2,4
3+055.0	3+060.0	5	2,2	1,3	1,7	3+305.0	3+310.0	5	1,2	1	1,1
3+060.0	3+065.0	5	1,5	1,1	1,3	3+310.0	3+315.0	5	1,6	0,8	1,2
3+065.0	3+070.0	5	2,5	2,2	2,3	3+315.0	3+320.0	5	1,1	0,7	0,9
3+070.0	3+075.0	5	1,9	1,6	1,8	3+320.0	3+325.0	5	1,5	1,3	1,4
3+075.0	3+080.0	5	1,3	1	1,2	3+325.0	3+330.0	5	1,2	1,1	1,2
3+080.0	3+085.0	5	1,5	1,6	1,5	3+330.0	3+335.0	5	1,5	1,7	1,6
3+085.0	3+090.0	5	2	1,7	1,8	3+335.0	3+340.0	5	1,7	1	1,4
3+090.0	3+095.0	5	0,8	1,4	1,1	3+340.0	3+345.0	5	2	2,2	2,1
3+095.0	3+100.0	5	2,7	2,2	2,4	3+345.0	3+350.0	5	1,2	1,8	1,5
3+100.0	3+105.0	5	2,6	3,6	3,1	3+350.0	3+355.0	5	1,3	1,4	1,4
3+105.0	3+110.0	5	2,7	3,1	2,9	3+355.0	3+360.0	5	1,1	1,2	1,1
3+110.0	3+115.0	5	1,8	1,1	1,5	3+360.0	3+365.0	5	1	1,8	1,4
3+115.0	3+120.0	5	1,2	0,9	1	3+365.0	3+370.0	5	2,3	1,5	1,9
3+120.0	3+125.0	5	3,4	1,9	2,6	3+370.0	3+375.0	5	1,5	2,1	1,8
3+125.0	3+130.0	5	1,2	1,2	1,2	3+375.0	3+380.0	5	2	2,6	2,3
3+130.0	3+135.0	5	1,3	1,6	1,5	3+380.0	3+385.0	5	1,6	1,2	1,4
3+135.0	3+140.0	5	1,5	1,2	1,3	3+385.0	3+390.0	5	1,2	2	1,6
3+140.0	3+145.0	5	1,7	0,5	1,1	3+390.0	3+395.0	5	2,5	1,6	2
3+145.0	3+150.0	5	1,4	0,6	1	3+395.0	3+400.0	5	1,7	2,2	1,9
3+150.0	3+155.0	5	1,3	0,8	1	3+400.0	3+405.0	5	2	1,3	1,7
3+155.0	3+160.0	5	1,3	0,9	1,1	3+405.0	3+410.0	5	2	1,1	1,5
3+160.0	3+165.0	5	1,2	0,9	1	3+410.0	3+415.0	5	1,9	1,8	1,9
3+165.0	3+170.0	5	1,4	0,9	1,1	3+415.0	3+420.0	5	2,4	1,9	2,1
3+170.0	3+175.0	5	1,7	1,5	1,6	3+420.0	3+425.0	5	2,1	1,3	1,7
3+175.0	3+180.0	5	2,3	2	2,1	3+425.0	3+430.0	5	1,6	3	2,3
3+180.0	3+185.0	5	2,2	1,3	1,7	3+430.0	3+435.0	5	1,9	0,7	1,3
3+185.0	3+190.0	5	1,3	0,8	1,1	3+435.0	3+440.0	5	2,1	2	2,1
3+190.0	3+195.0	5	1,9	1,2	1,5	3+440.0	3+445.0	5	2,1	2,2	2,1
3+195.0	3+200.0	5	1,5	1	1,3	3+445.0	3+450.0	5	1,4	2,3	1,9
3+200.0	3+205.0	5	1,1	1,6	1,4	3+450.0	3+455.0	5	2,7	1,9	2,3
3+205.0	3+210.0	5	2,1	1,5	1,8	3+455.0	3+460.0	5	2,4	2,8	2,6
3+210.0	3+215.0	5	1,5	0,9	1,2	3+460.0	3+465.0	5	2,2	2,8	2,5
3+215.0	3+220.0	5	1,4	1,1	1,3	3+465.0	3+470.0	5	2,4	2,6	2,5
3+220.0	3+225.0	5	1,8	2,3	2,1	3+470.0	3+475.0	5	2,8	3,1	3
3+225.0	3+230.0	5	1,7	1,4	1,6	3+475.0	3+480.0	5	1,7	1,9	1,8
3+230.0	3+235.0	5	1,1	1,7	1,4	3+480.0	3+485.0	5	2,9	2,6	2,8
3+235.0	3+240.0	5	1,5	1,4	1,4	3+485.0	3+490.0	5	1,6	2,5	2,1
3+240.0	3+245.0	5	2,5	1,8	2,1	3+490.0	3+495.0	5	1,4	2	1,7
3+245.0	3+250.0	5	2	1,8	1,9	3+495.0	3+500.0	5	2,5	2,5	2,5

Tabla A- 5 Datos de 3+000 a 3+500 Sección Río Potrero – Río Urraca

Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)	Begin Station	End Station	Segment Length (m)	Left Track IRI (m/km)	Right Track IRI (m/km)	Average IRI (in/mile)
3+500.0	3+505.0	5	2,3	2,9	2,6	3+750.0	3+755.0	5	1,4	2	1,7
3+505.0	3+510.0	5	1,4	2	1,7	3+755.0	3+760.0	5	0,7	1,2	1
3+510.0	3+515.0	5	2,1	1,2	1,7	3+760.0	3+765.0	5	1,2	1,2	1,2
3+515.0	3+520.0	5	2	1,4	1,7	3+765.0	3+770.0	5	0,8	1,4	1,1
3+520.0	3+525.0	5	1,1	1,2	1,1	3+770.0	3+775.0	5	1,6	0,9	1,3
3+525.0	3+530.0	5	2,3	2,5	2,4	3+775.0	3+780.0	5	0,8	1,2	1
3+530.0	3+535.0	5	1,1	1,5	1,3	3+780.0	3+785.0	5	1,3	1,6	1,5
3+535.0	3+540.0	5	1	1	1	3+785.0	3+790.0	5	1,8	1,4	1,6
3+540.0	3+545.0	5	1	1,3	1,2	3+790.0	3+795.0	5	1,3	0,6	1
3+545.0	3+550.0	5	1,4	2,1	1,7	3+795.0	3+800.0	5	1,2	1,8	1,5
3+550.0	3+555.0	5	1,9	1,7	1,8	3+800.0	3+805.0	5	1,6	1,4	1,5
3+555.0	3+560.0	5	2,1	1,5	1,8	3+805.0	3+810.0	5	1,8	1,2	1,2
3+560.0	3+565.0	5	1,5	1,3	1,4	3+810.0	3+815.0	5	1,7	1	1,4
3+565.0	3+570.0	5	1,6	0,8	1,2	3+815.0	3+820.0	5	1,4	1,7	1,6
3+570.0	3+575.0	5	1,7	3	2,4	3+820.0	3+825.0	5	1,6	1,9	1,7
3+575.0	3+580.0	5	2,7	2,9	2,8	3+825.0	3+830.0	5	2,4	1,9	2,1
3+580.0	3+585.0	5	1,8	1,8	1,8	3+830.0	3+835.0	5	1,8	1,5	1,6
3+585.0	3+590.0	5	1,2	0,9	1	3+835.0	3+840.0	5	1,2	1,5	1,4
3+590.0	3+595.0	5	3,1	1,8	2,4	3+840.0	3+845.0	5	1,7	0,7	1,2
3+595.0	3+600.0	5	1,9	2,9	2,4	3+845.0	3+850.0	5	1,5	1	1,3
3+600.0	3+605.0	5	1,9	3,1	2,5	3+850.0	3+855.0	5	1,5	1	1,3
3+605.0	3+610.0	5	1,3	1,6	1,5	3+855.0	3+860.0	5	1,6	1,3	1,4
3+610.0	3+615.0	5	1,9	1,6	1,7	3+860.0	3+865.0	5	2,2	1,2	1,7
3+615.0	3+620.0	5	1,5	2,4	2	3+865.0	3+870.0	5	2,9	2,5	2,7
3+620.0	3+625.0	5	3,4	2,9	3,2	3+870.0	3+875.0	5	1,7	1,1	1,4
3+625.0	3+630.0	5	2,2	1,7	1,7	3+875.0	3+880.0	5	2,2	1,1	1,6
3+630.0	3+635.0	5	1,1	1,6	1,3	3+880.0	3+885.0	5	2	1,7	1,8
3+635.0	3+640.0	5	3,2	1,7	2,4	3+885.0	3+890.0	5	2,1	2,8	2,5
3+640.0	3+645.0	5	1,6	2,2	1,9	3+890.0	3+895.0	5	1,5	1,3	1,4
3+645.0	3+650.0	5	2,7	3,6	3,2	3+895.0	3+900.0	5	1,9	1,8	1,8
3+650.0	3+655.0	5	2,7	1,8	2,2	3+900.0	3+905.0	5	1,5	1,8	1,6
3+655.0	3+660.0	5	3,1	3,1	3,1	3+905.0	3+910.0	5	1,6	1,6	1,6
3+660.0	3+665.0	5	2,3	3,7	3	3+910.0	3+915.0	5	2,7	1,3	2
3+665.0	3+670.0	5	4,4	2,3	3,3	3+915.0	3+920.0	5	1,5	1,7	1,6
3+670.0	3+675.0	5	2,2	2,7	2,5	3+920.0	3+925.0	5	1,7	1,7	1,7
3+675.0	3+680.0	5	2,1	1,9	1,9	3+925.0	3+930.0	5	1,1	1,5	1,3
3+680.0	3+685.0	5	1,9	1,9	1,9	3+930.0	3+935.0	5	0,7	1	0,8
3+685.0	3+690.0	5	2,4	1,8	2,1	3+935.0	3+940.0	5	0,2	0,9	0,6
3+690.0	3+695.0	5	1,4	1,4	1,4	3+940.0	3+945.0	5	1,4	1,4	1,4
3+695.0	3+700.0	5	2	1,4	1,7	3+945.0	3+950.0	5	2,1	2,2	2,2
3+700.0	3+705.0	5	1,6	2	1,8	3+950.0	3+955.0	5	1,4	1,4	1,4
3+705.0	3+710.0	5	1,9	1,7	1,8	3+955.0	3+960.0	5	1,7	2,5	2,1
3+710.0	3+715.0	5	1,9	1,5	1,7	3+960.0	3+965.0	5	2	1,7	1,9
3+715.0	3+720.0	5	1,7	1,8	1,8	3+965.0	3+970.0	5	1,8	2,7	2,6
3+720.0	3+725.0	5	3,2	3	3,1	3+970.0	3+975.0	5	1,2	1	1,1
3+725.0	3+730.0	5	1,3	2,1	1,7	3+975.0	3+980.0	5	3,8	2,8	3,3
3+730.0	3+735.0	5	1,5	1,5	1,5	3+980.0	3+985.0	5	2,2	1,8	2
3+735.0	3+740.0	5	1,6	2,6	2,1	3+985.0	3+990.0	5	2,4	3,2	2,8
3+740.0	3+745.0	5	1,4	2,4	1,9	3+990.0	3+995.0	5	2	2,2	2,1
3+745.0	3+750.0	5	1,6	1,8	1,7	3+995.0	4+000.0	5	1,7	1,1	1,4

Tabla A- 6 Datos de 3+500 a 4+000 Sección Río Potrero – Río Urraca

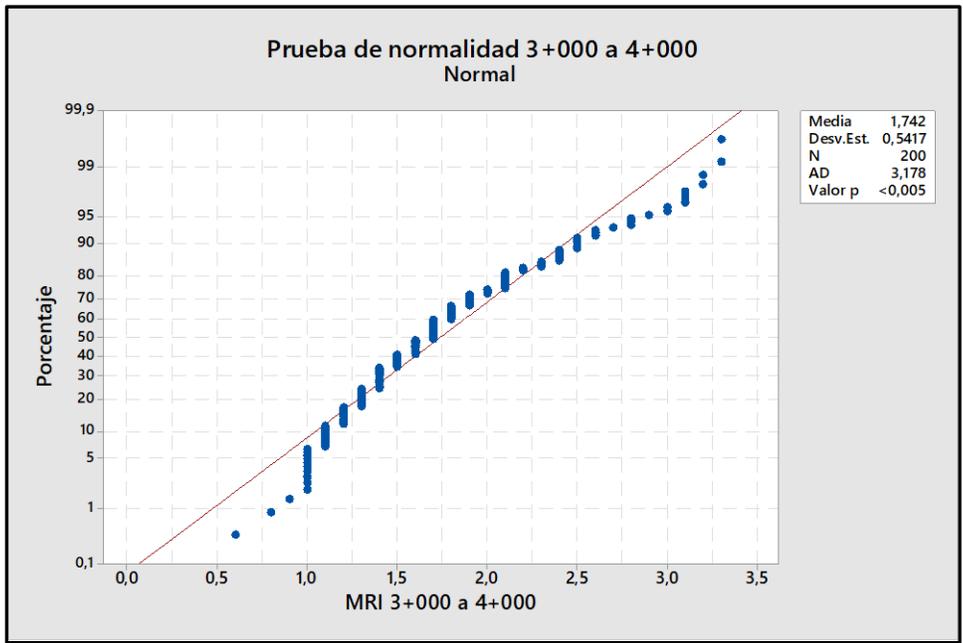


Ilustración A- 6 Datos de 3+000 a 4+000 No normales

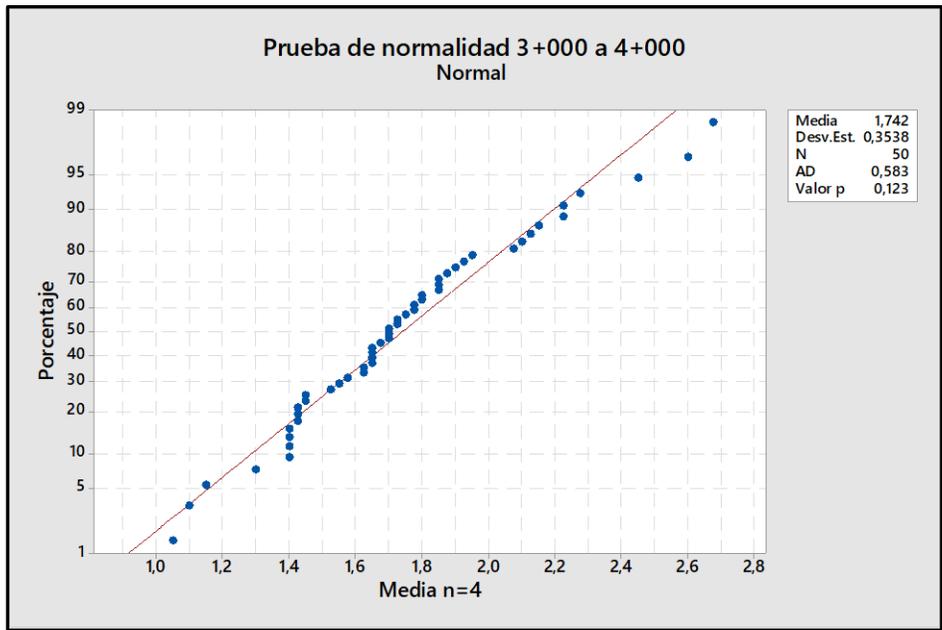


Ilustración A- 7 Datos de 3+000 a 4+000 normales

Anexo 2: Precios Unitarios para perfilado y carpeta asfáltica

Imprimir

Copias: 1

Impresora

RICOH MP C2503

Propiedades de impresora

Configuración

Imprimir hojas activas

Imprimir solo las hojas activas

Páginas: 1 a 1

Imprimir a una cara

Imprimir solo en una cara de la p...

Intercaladas

1,2,3 1,2,3 1,2,3

Sin grapas

Orientación horizontal

Carta

21,59 cm x 27,94 cm

Personalizado

Personalizar escala

Configurar página

ESTIMACIÓN DESCRIPTIVA N° 4.9 FONDO VIAL

PERIODO DEL 01 AL 15 DE JULIO DEL 2017

CONTRATO VIAL MANTENIMIENTO RUTARIO CON MAGNANIA EMPRESARIAL, CONTRATACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN PLUVIAL DE LA RED VIAL NACIONAL.

PROYECTO: ZONA 1-3, LOS SANTOS

LICITACIÓN PÚBLICA N° 02/14-000014-0000

Constructora Herman Solís S.R.L.

CUADRO RESUMEN

Item	Descripción	Unid.	Presio. \$	Cantidad	Factor de Paga.	A pagar. \$
M403.1.1	Diseño de rehabilitaciones y sobre capas asfálticas	km	737.666.47	0.000	0	0
M415A2	Bacheo a profundidad parcial con mezcla asfáltica en caliente	t	72.356.56	0.000	0	0
M415B	Puntado de pavimento	m ²	1.616.90	0.000	0	0
M415C	Pavimento bituminoso en caliente	t	55.753.26	0.000	0	0
M416A	Pavimento bituminoso en caliente con polímeros	t	61.209.02	0.000	0	0
M420A	Levantamiento de capas de pozos	u	48.184.97	0.000	0	0
M420C	Polvo y sellado de grietas	m	2.416.12	0.000	0	0
M416B	Tratamiento bituminoso de preservación tipo S-2	m ²	1.839.21	0.000	0	0
CR-301.01	Suministro, colocación y compactación de base granular	m ³	14.783.65	0.000	0	0
CR-301.02	Suministro, colocación y compactación sub base granular	m ³	12.796.70	0.000	0	0
M421.02B.01	Material de secado	m ³	16.189.66	0.000	0	0
M301A	Recondicionamiento de la calzada	m ²	1.153.28	0.000	0	0
CR-303.03	Cemento Portland	t	144.946.37	0.000	0	0
M421.02B.02	Emulsión asfáltica para impermeación	m ²	343.08	0.000	0	0
CR-634.02.A.1	Señalamiento tipo A (Línea continua negra)	km	3.499.10	0.000	0	0
CR-634.02.A.2	Señalamiento tipo A (Línea intermitente amarilla)	km	256.639.06	0.000	0	0
CR-634.02.A.3	Señalamiento tipo A (Línea continua amarilla)	km	367.415.63	0.000	0	0
CR-634.02.A.4	Señalamiento tipo A (Línea continua blanca)	km	305.906.91	0.000	0	0
CR-634.02.A.5	Señalamiento tipo A (Línea intermitente blanca corta)	km	256.072.21	0.000	0	0
CR-634.02.A.6	Señalamiento tipo A (Línea intermitente blanca corta)	km	314.486.04	0.000	0	0
CR-634.02.A.7	Señalamiento tipo A (Letreros de Alto)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.8	Señalamiento tipo A (Letreros de Ceda)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.9	Señalamiento tipo A (Letreros de Velocidad de KPH)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.10	Señalamiento tipo A (Letreros de Escuela)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.11	Señalamiento tipo A (Letreros de Solo)	m ²	8.103.91	0.000	0	0
CR-634.02.A.12	Señalamiento tipo A (Sendas peatonales)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.13	Señalamiento tipo A (Cruce de ferrocarril)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.14	Señalamiento tipo A (Piechetas)	m ²	19.800.74	0.000	0	0
CR-634.02.A.15	Señalamiento tipo A (Isla de Canalización Amarilla)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.16	Señalamiento tipo A (Isla de Canalización Blanca)	m ²	7.836.54	0.000	0	0
CR-634.02.A.17	Señalamiento tipo A (Línea intermitente amarilla)	km	942.923.11	0.000	0	0
CR-634.02.A.18	Señalamiento tipo A (Línea intermitente amarilla)	km	1.003.145.11	0.000	0	0
CR-634.02.A.19	Señalamiento tipo A (Línea continua blanca)	km	1.030.829.62	0.000	0	0
CR-634.02.A.20	Señalamiento tipo A (Línea intermitente blanca)	km	945.759.52	0.000	0	0
CR-634.02.A.21	Señalamiento tipo A (Línea intermitente blanca corta)	km	617.130.97	0.000	0	0

Página 1 de 2

Imprimir

Copias: 1

Impresora

RICOH MP C2503

Propiedades de impresora

Configuración

Imprimir hojas activas

Imprimir solo las hojas activas

Páginas: 1 a 1

Imprimir a una cara

Imprimir solo en una cara de la p...

Intercaladas

1,2,3 1,2,3 1,2,3

Sin grapas

Orientación horizontal

Carta

21,59 cm x 27,94 cm

Personalizado

Personalizar escala

Configurar página

CR-634.02.1.4	Señalamiento tipo I (Letreros de Alto)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.5	Señalamiento tipo I (Letreros de Ceda)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.6	Señalamiento tipo I (Letreros de Velocidad de KPH)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.7	Señalamiento tipo I (Letreros de Escuela)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.8	Señalamiento tipo I (Letreros de Solo)	m ²	18.862.49	0.000	0	0
CR-634.02.1.9	Señalamiento tipo I (Sendas peatonales)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.10	Señalamiento tipo I (Cruce de ferrocarril)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.11	Señalamiento tipo I (Piechetas)	m ²	29.349.92	0.000	0	0
CR-634.02.1.12	Señalamiento tipo I (Isla de Canalización Amarilla)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.13	Señalamiento tipo I (Isla de Canalización Blanca)	m ²	17.827.20	0.000	0	0
CR-634.02.1.14	Señalamiento tipo I (Línea continua amarilla)	km	1.030.829.62	0.000	0	0
CR-634.02.1.15	Señalamiento tipo I (Línea intermitente amarilla)	km	945.759.52	0.000	0	0
CR-634.02.1.16	Señalamiento tipo I (Línea intermitente blanca)	km	945.759.52	0.000	0	0
CR-634.02.1.17	Señalamiento tipo I (Línea intermitente blanca corta)	km	617.130.97	0.000	0	0
110.00	Trabajo a costo más porcentaje	Global	1.00	0.000	0	0
	SUB TOTAL					

MIS TAS 0

A PAGAR EN COLONES 0

A CANCELAR EN ESTA ESTIMACION 0

Ing. Eduardo Solera Moreno
Administrador Vial Zona 1-3, Los Santos
Compañía Asesora en Construcción e Ingeniería S.A.
CACISA

Ing. Jeffrey Morales Calvo
Director Técnico Zona 1-3, Los Santos
Constructora Herman Solís S.R.L.

Ing. Juan José Madrid Guzmán
Ingeniero a Cargo de la Zona 1-3, Los Santos
Gerencia de Conservación de Vías y Puentes

Página 2 de 2

Anexo 3: Cotización para cepillado, Proyecto Cañas - Liberia

Santiago, 31 de julio 2015
EPAV - 045 / 2015

Señores
José Enrique Fouz
Juan José López
FCC Construcción de Centroamérica, S.A.
Presente

Ref: Cepillado de Pavimento de Hormigón

De acuerdo a lo solicitado, envío presupuesto por trabajos de cepillado de pavimento de hormigón en aproximadamente 70.000 m² en la ciudad de Liberia, Costa Rica.

Nuestra operación garantiza una reducción importante del IRI entregado por FCC en los tramos detallados en el plan de fresado. No obstante lo anterior, la discontinuidad del plan no necesariamente asegura el cumplimiento del índice requerido en cada punto o tramo, siendo la solución en este caso, cepillar nuevamente el sector al mismo valor de m2 (segunda pasada). Esto se suma a que no es conocimiento de EPAV S.A. el IRI requerido para cada tramo.

Estos trabajos se realizarán con 2 (dos) máquina cepilladoras de ancho efectivo de tambor de 0,95m.

El valor del servicio presentado es el siguiente:

Descripción	Cant.	Un.	Precio Unitario	Total (\$)
Cepillado pavimento de hormigón una pasada	70.000	M ²	USD 5,66	USD 396.200
Traslados hacia y desde Puerto Limón	2	un	USD 39.850	USD 79.700
Total				USD 475.900

Aportes EPAV:

- 2 Máquinas cepilladora de última generación
- Operadores especializados
- Ing. Supervisor de obras de cepillado

Aportes Mandante FCC:

- Disponibilidad 100% del terreno para ejecución de las obras, y con carriles limpios y despejados
- Cortes de tránsito (desvíos o segregaciones) que aseguren al menos 700 m2 por máquina. Se recomienda para optimizar los recursos de FCC y EPAV, tener una calzada a disposición, de tal forma de atacar ambos carriles en paralelo.
- Traslado 2 Máquina cepilladora alto rendimiento desde Puerto Limón – Obra – Puerto Limón
- Traslados internos entre frentes de trabajo y a lugar de aparcamiento del equipo
- Se considera la provisión, por parte del mandante, de la seguridad y/o resguardo de las maquinaria utilizadas

CASA MATRIZ EPAV
Félix de Amesti N° 90 / Las Condes / Santiago
Tel / (56 2) 22998070 / (56 2) 22998044
epav@epav.cl / www.epav.cl

Anexo 4: Comparación entre programa de cepillado obtenido con PROVAL Y MCP

Tramo en Estudio	Estación 1 (m)	Estación 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
VV-E	500	505,003814697266	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
	505,003814697266	510,007598876953	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
	510,007598876953	515,011413574219	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
	515,011413574219	520,015197753906	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
	520,015197753906	525,018981933594	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
	525,018981933594	530,022827148438	5,00379991531372	4,9	NO	2,8	SI	2,8
	530,022827148438	535,026611328125	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
	535,026611328125	540,030395507813	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
	540,030395507813	545,0341796875	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
	545,0341796875	550,038024902344	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
	550,038024902344	555,041809082031	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
	555,041809082031	560,045593261719	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
	560,045593261719	565,049377441406	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
	565,049377441406	570,05322265625	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
	570,05322265625	575,057006835938	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
	575,057006835938	580,060791015625	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
	580,060791015625	585,064575195313	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
	585,064575195313	590,068420410156	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
	590,068420410156	595,072204589844	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
	595,072204589844	599,974426269531	4,64820003509521	2,5	NO	1,7	SI	1,7

Ilustración A- 8 Salida de datos MCP Tramo 1

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	503,12	506,07	Forward	0	n/a	2,95
True	509,19	519,18	Forward	0	n/a	9,98
True	525,17	532,21	Forward	0	n/a	7,04
True	537,06	540,18	Forward	0	n/a	3,12
True	541,83	544,96	Forward	0	n/a	3,12
True	546,58	549,71	Forward	0	n/a	3,12
True	551,69	554,2	Forward	0	n/a	2,51
True	554,81	558,32	Forward	0	n/a	3,51
True	563,07	570,82	Forward	0	n/a	7,75
True	572,77	579,22	Forward	0	n/a	6,45
True	582,17	585,45	Forward	0	n/a	3,28
True	585,7	587,5	Forward	0	n/a	1,8
True	588,37	591,34	Forward	0	n/a	2,97
True	593,4	596,85	Forward	0	n/a	3,45
					Total:	61,05

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
500	599,720398	99,7203979	2,65649772	11	1,69450223	6

Ilustración A- 9 Salida de datos Proval Tramo 1

Tramo en Estudio	P-Salt	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,5	IRI Proyectado ->	1,8	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	49,7	Porcentaje Cepillado ->	49,8	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	500	505,003814697266	5,00379991531372	1,1	SI		NO	1,1
2	505,003814697266	510,007598876953	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
3	510,007598876953	515,011413574219	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
4	515,011413574219	520,015197753906	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
5	520,015197753906	525,018981933594	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
6	525,018981933594	530,022827148438	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
7	530,022827148438	535,026611328125	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
8	535,026611328125	540,030395507813	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
9	540,030395507813	545,0341796875	5,00379991531372	0,9	SI		NO	0,9
10	545,0341796875	550,038024902344	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
11	550,038024902344	555,041809082031	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
12	555,041809082031	560,045593261719	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
13	560,045593261719	565,049377441406	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
14	565,049377441406	570,05322265625	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
15	570,05322265625	575,057006835938	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
16	575,057006835938	580,060791015625	5,00379991531372	4,5	NO	2,6	SI	2,6
17	580,060791015625	585,064575195313	5,00379991531372	6	NO	3,3	SI	3,3
18	585,064575195313	590,068420410156	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
19	590,068420410156	595,072204589844	5,00379991531372	3,8	NO	2,3	SI	2,3
20	595,072204589844	599,974426269531	4,64820003509521	4,5	NO	2,6	SI	2,6

Ilustración A- 10 Salida de datos MCP Tramo 2

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	503,12	506,07	Forward	0	n/a	2,95
True	509,19	519,18	Forward	0	n/a	9,98
True	525,17	532,21	Forward	0	n/a	7,04
True	537,06	540,18	Forward	0	n/a	3,12
True	541,83	544,96	Forward	0	n/a	3,12
True	546,58	549,71	Forward	0	n/a	3,12
True	551,69	554,2	Forward	0	n/a	2,51
True	554,81	558,32	Forward	0	n/a	3,51
True	563,07	570,82	Forward	0	n/a	7,75
True	572,77	579,22	Forward	0	n/a	6,45
True	582,17	585,45	Forward	0	n/a	3,28
True	585,7	587,5	Forward	0	n/a	1,8
True	588,37	591,34	Forward	0	n/a	2,97
True	593,4	596,85	Forward	0	n/a	3,45
					Total:	61,05
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
500	599,720398	99,7203979	2,51765537	9	1,68158054	5

Ilustración A- 11 Salida de datos Proval Tramo 2

Tramo en Estudio	A-C	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	15	Porcentaje Cepillado ->	15	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	3100	3105,00390625	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
2	3105,00390625	3110,00756835938	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
3	3110,00756835938	3115,01147460938	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	NO	2,5
4	3115,01147460938	3120,01513671875	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
5	3120,01513671875	3125,01904296875	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
6	3125,01904296875	3130,02270507813	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
7	3130,02270507813	3135,02661132813	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
8	3135,02661132813	3140,03051757813	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
9	3140,03051757813	3145,0341796875	5,00379991531372	3,1	NO	2	NO	3,1
10	3145,0341796875	3150,0380859375	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	NO	2,4
11	3150,0380859375	3155,04174804688	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
12	3155,04174804688	3160,04565429688	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
13	3160,04565429688	3165,04931640625	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	NO	2,5
14	3165,04931640625	3170,05322265625	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
15	3170,05322265625	3175,05688476563	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
16	3175,05688476563	3180,06079101563	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
17	3180,06079101563	3185,06469726563	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
18	3185,06469726563	3190,068359375	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
19	3190,068359375	3195,072265625	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
20	3195,072265625	3199,97436523438	4,64820003509521	1,8	SI		NO	1,8

Ilustración A- 12 Salida de datos MCP Tramo 3

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	3.105,79	3.110,79	Forward	0	Deep Grinding	5
True	3.114,38	3.140,00	Forward	0	Deep Grinding	25,63
True	3.144,75	3.148,64	Forward	0	Deep Grinding	3,89
True	3.149,28	3.157,23	Forward	0	Deep Grinding	7,95
True	3.163,04	3.172,90	Forward	0	Deep Grinding	9,86
True	3.175,97	3.177,90	Forward	0	n/a	1,93
True	3.180,77	3.186,23	Forward	0	Deep Grinding	5,46
True	3.188,06	3.194,41	Forward	0	n/a	6,35
True	3.194,87	3.196,85	Forward	0	n/a	1,98
Total:						68,05
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
3100	3199,72046	99,7203979	2,03755045	10	1,491797924	5

Ilustración A- 13 Salida de datos Proval Tramo 3

Tramo en Estudio	C-A	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,8	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	49,7	Porcentaje Cepillado ->	49,8	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	3200	3205,00390625	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
2	3205,00390625	3210,00756835938	5,00379991531372	4,6	NO	2,6	SI	2,6
3	3210,00756835938	3215,01147460938	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
4	3215,01147460938	3220,01513671875	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
5	3220,01513671875	3225,01904296875	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	NO	2,2
6	3225,01904296875	3230,02270507813	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
7	3230,02270507813	3235,02661132813	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
8	3235,02661132813	3240,03051757813	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	NO	3,4
9	3240,03051757813	3245,0341796875	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
10	3245,0341796875	3250,0380859375	5,00379991531372	3	NO	1,9	SI	1,9
11	3250,0380859375	3255,04174804688	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
12	3255,04174804688	3260,04565429688	5,00379991531372	3,1	NO	2	SI	2
13	3260,04565429688	3265,04931640625	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
14	3265,04931640625	3270,05322265625	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
15	3270,05322265625	3275,05688476563	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
16	3275,05688476563	3280,06079101563	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	NO	2,5
17	3280,06079101563	3285,06469726563	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
18	3285,06469726563	3290,068359375	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
19	3290,068359375	3295,072265625	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
20	3295,072265625	3299,97436523438	4,64820003509521	2,4	NO	1,7	SI	1,7

Ilustración A- 14 Salida de datos MCP Tramo 4

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	3.206,68	3.220,80	Forward	0	Deep Grinding	14,12
True	3.223,77	3.229,84	Forward	0	Deep Grinding	6,07
True	3.230,96	3.236,37	Forward	0	Deep Grinding	5,41
True	3.238,81	3.242,32	Forward	0	Deep Grinding	3,51
True	3.245,49	3.250,50	Forward	0	Deep Grinding	5
True	3.253,09	3.258,29	Forward	0	Deep Grinding	5,21
True	3.260,50	3.265,99	Forward	0	Deep Grinding	5,49
True	3.268,50	3.273,94	Forward	0	Deep Grinding	5,44
True	3.275,97	3.281,79	Forward	0	Deep Grinding	5,82
True	3.282,30	3.286,03	Forward	0	n/a	3,73
True	3.288,21	3.290,80	Forward	0	Deep Grinding	2,59
True	3.293,70	3.296,85	Forward	0	Deep Grinding	3,15
					Total:	65,54
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
3200	3299,72046	99,7203979	2,38816977	11	1,579762459	5

Ilustración A- 15 Salida de datos Proval Tramo 4

Tramo en Estudio	MN-CO	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	1,8	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	59,7	Porcentaje Cepillado ->	59,9	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	900	905,003784179688	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	NO	2,3
2	905,003784179688	910,007629394531	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
3	910,007629394531	915,011413574219	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
4	915,011413574219	920,015197753906	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
5	920,015197753906	925,018981933594	5,00379991531372	1,3	SI		NO	1,3
6	925,018981933594	930,022827148438	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
7	930,022827148438	935,026611328125	5,00379991531372	3,1	NO	2	SI	2
8	935,026611328125	940,030395507813	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
9	940,030395507813	945,0341796875	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	SI	2,1
10	945,0341796875	950,038024902344	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
11	950,038024902344	955,041809082031	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
12	955,041809082031	960,045593261719	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
13	960,045593261719	965,049377441406	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
14	965,049377441406	970,05322265625	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
15	970,05322265625	975,057006835938	5,00379991531372	3	NO	1,9	SI	1,9
16	975,057006835938	980,060791015625	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
17	980,060791015625	985,064575195313	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
18	985,064575195313	990,068420410156	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
19	990,068420410156	995,072204589844	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
20	995,072204589844	999,974426269531	4,6482003509521	3,4	NO	2,1	SI	2,1

Ilustración A- 16 Salida de datos MCP Tramo 5

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	903,38	907,04	Forward	0	Deep Grinding	3,66
True	910,79	923,6	Forward	0	Deep Grinding	12,8
True	926,92	931,72	Forward	0	Deep Grinding	4,8
True	934,24	941,38	Forward	0	Deep Grinding	7,14
True	944,98	951,28	Forward	0	Deep Grinding	6,3
True	957,23	967,51	Forward	0	Deep Grinding	10,29
True	969,11	971,73	Forward	0	Deep Grinding	2,62
True	974,32	980,54	Forward	0	Deep Grinding	6,22
True	984,02	987,63	Forward	0	Deep Grinding	3,61
True	989,92	993,83	Forward	0	Deep Grinding	3,91
					Total:	61,35
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
900	999,720398	99,7203979	2,36111355	13	1,668801308	9

Ilustración A- 17 Salida de datos MCP Tramo 5

Tramo en Estudio	T-RB	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,6	IRI Proyectado ->	1,9	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	75,1	Porcentaje Cepillado ->	75,3	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	1045	1050,00378417969	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
2	1050,00378417969	1055,00756835938	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
3	1055,00756835938	1060,01135253906	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
4	1060,01135253906	1065,01525878906	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
5	1065,01525878906	1070,01904296875	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
6	1070,01904296875	1075,02282714844	5,00379991531372	3,1	NO	2	SI	2
7	1075,02282714844	1080,02661132813	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
8	1080,02661132813	1085,03039550781	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
9	1085,03039550781	1090,0341796875	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
10	1090,0341796875	1095,03796386719	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
11	1095,03796386719	1100,04174804688	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
12	1100,04174804688	1105,04565429688	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
13	1105,04565429688	1110,04943847656	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
14	1110,04943847656	1115,05322265625	5,00379991531372	4	NO	2,4	SI	2,4
15	1115,05322265625	1120,05700683594	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
16	1120,05700683594	1125,06079101563	5,00379991531372	5	NO	2,8	SI	2,8
17	1125,06079101563	1130,06457519531	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
18	1130,06457519531	1135,068359375	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	NO	2,5
19	1135,068359375	1140,07214355469	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
20	1140,07214355469	1144,97436523438	4,6482003509521	1,9	SI		NO	1,9

Ilustración A- 18 Salida de datos MCP Tramo 6

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	1.049,24	1.068,04	Forward	0	Deep Grinding	18,8
True	1.070,60	1.073,14	Forward	0	Deep Grinding	2,54
True	1.074,97	1.078,88	Forward	0	Deep Grinding	3,91
True	1.079,52	1.081,83	Forward	0	n/a	2,31
True	1.082,13	1.084,60	Forward	0	n/a	2,46
True	1.087,93	1.092,83	Forward	0	Deep Grinding	4,9
True	1.096,23	1.103,06	Forward	0	Deep Grinding	6,83
True	1.111,55	1.114,67	Forward	0	Deep Grinding	3,12
True	1.115,84	1.118,05	Forward	0	n/a	2,21
True	1.119,19	1.122,37	Forward	0	Deep Grinding	3,17
True	1.124,37	1.131,72	Forward	0	Deep Grinding	7,34
True	1.133,32	1.135,12	Forward	0	n/a	1,8
True	1.135,73	1.141,85	Forward	0	Deep Grinding	6,12
					Total:	65,51
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
1045	1144,72046	99,7203979	2,63798594	8	1,664197445	12

Ilustración A- 19 Salida de datos MCP Tramo 6

Tramo en Estudio	E-VV	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,2	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	45	Porcentaje Cepillado ->	45,1	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	1600	1605,00378417969	5,00379991531372	4	NO	2,4	NO	4
2	1605,00378417969	1610,00756835938	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
3	1610,00756835938	1615,01135253906	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
4	1615,01135253906	1620,01525878906	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	NO	3,3
5	1620,01525878906	1625,01904296875	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
6	1625,01904296875	1630,02282714844	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
7	1630,02282714844	1635,02661132813	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
8	1635,02661132813	1640,03039550781	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
9	1640,03039550781	1645,0341796875	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
10	1645,0341796875	1650,03796386719	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
11	1650,03796386719	1655,04174804688	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
12	1655,04174804688	1660,04565429688	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
13	1660,04565429688	1665,04943847656	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	NO	2,3
14	1665,04943847656	1670,05322265625	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
15	1670,05322265625	1675,05700683594	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
16	1675,05700683594	1680,06079101563	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
17	1680,06079101563	1685,06457519531	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
18	1685,06457519531	1690,068359375	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
19	1690,068359375	1695,07214355469	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
20	1695,07214355469	1699,97436523438	4,64820003509521	1,7	SI		NO	1,7

Ilustración A- 20 Salida de datos MCP Tramo 7

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	1.603,89	1.614,02	Forward	0	Deep Grinding	10,13
True	1.616,61	1.630,78	Forward	0	Deep Grinding	14,17
True	1.636,73	1.638,68	Forward	0	n/a	1,96
True	1.641,76	1.647,47	Forward	0	n/a	5,71
True	1.650,24	1.683,95	Forward	0	Deep Grinding	33,71
True	1.687,10	1.693,17	Forward	0	n/a	6,07
True	1.695,33	1.696,85	Forward	0	Deep Grinding	1,52
					Total:	73,27
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
1600	1699,72046	99,7203979	2,25114655	11	1,545294285	5

Ilustración A- 21 Salida de datos Proval Tramo 7

Tramo en Estudio	INI-RC	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	3,2	IRI Proyectado ->	2,1	IRI Final ->	2,1	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	94,7	Porcentaje Cepillado ->	95	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	SI	2,1
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	4,1	NO	2,4	SI	2,4
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,5	NO	2,2	SI	2,2
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	5,5	NO	3	SI	3
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,5	NO	2,2	SI	2,2
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	3,8	NO	2,3	SI	2,3
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	3,5	NO	2,2	SI	2,2
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	SI	2,1
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	3	NO	1,9	SI	1,9
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	3,7	NO	2,3	SI	2,3
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820030509521	3,6	NO	2,2	SI	2,2

Ilustración A- 22 Salida de datos MCP Tramo 8

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	3,51	32,11	Forward	0	Deep Grinding	28,6
True	34,62	38,3	Forward	0	Deep Grinding	3,68
True	38,48	41,58	Forward	0	Deep Grinding	3,1
True	43,54	46,74	Forward	0	Deep Grinding	3,2
True	48,26	56,18	Forward	0	Deep Grinding	7,92
True	58,12	62,03	Forward	0	Deep Grinding	3,91
True	64,11	66,32	Forward	0	n/a	2,21
True	67,97	71,88	Forward	0	Deep Grinding	3,91
True	72,87	76,48	Forward	0	Deep Grinding	3,61
True	78,13	81,15	Forward	0	Deep Grinding	3,02
True	83,46	87,43	Forward	0	Deep Grinding	3,96
True	88,57	96,85	Forward	0	Deep Grinding	8,28
					Total:	75,4
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
0	99,7203979	99,7203979	3,24295759	4	1,769569516	6

Ilustración A- 23 Salida de datos MCP Tramo 8

Tramo en Estudio	UP-CORO	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	64,7	Porcentaje Cepillado ->	64,9	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	NO	2,6
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	NO	2,4
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	NO	2,7
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	3,1	NO	2	NO	3,1
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2	NO	1,5	SI	1,5

Ilustración A- 24 Salida de datos MCP Tramo 9

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	3,12	4,95	Forward	0	n/a	1,83
True	7,98	34,98	Forward	0	Deep Grinding	27
True	38,99	58,22	Forward	0	Deep Grinding	19,23
True	62,66	67,13	Forward	0	Deep Grinding	4,47
True	68,71	75,08	Forward	0	n/a	6,38
True	78,71	81,28	Forward	0	n/a	2,57
True	81,71	88,82	Forward	0	Deep Grinding	7,11
True	92,28	96,85	Forward	0	n/a	4,57
					Total:	73,16
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
0	99,7203979	99,7203979	2,34593892	11	1,527181983	4

Ilustración A- 25 Salida de datos MCP Tramo 9

Tramo en Estudio	SALT-P	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,1	IRI Proyectado ->	1,6	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	25	Porcentaje Cepillado ->	25,1	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	500	505,003814697266	5,00379991531372	1,1	SI		NO	1,1
2	505,003814697266	510,007598876953	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
3	510,007598876953	515,011413574219	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	NO	2,2
4	515,011413574219	520,015197753906	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
5	520,015197753906	525,018981933594	5,00379991531372	1,3	SI		NO	1,3
6	525,018981933594	530,022827148438	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	NO	2,4
7	530,022827148438	535,026611328125	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
8	535,026611328125	540,030395507813	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	NO	2,3
9	540,030395507813	545,0341796875	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
10	545,0341796875	550,038024902344	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
11	550,038024902344	555,041809082031	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
12	555,041809082031	560,045593261719	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
13	560,045593261719	565,049377441406	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
14	565,049377441406	570,05322265625	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
15	570,05322265625	575,057006835938	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
16	575,057006835938	580,060791015625	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
17	580,060791015625	585,064575195313	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	NO	2,7
18	585,064575195313	590,068420410156	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
19	590,068420410156	595,072204589844	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	NO	2,2
20	595,072204589844	599,974426269531	4,6482003509521	2,6	NO	1,8	NO	2,6

Ilustración A- 26 Salida de datos MCP Tramo 10

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	506,63	517,55	Forward	0	Deep Grinding	10,92
True	525,07	528,57	Forward	0	n/a	3,51
True	529,67	533,4	Forward	0	Deep Grinding	3,73
True	534,9	538,68	Forward	0	Deep Grinding	3,78
True	541,17	546,35	Forward	0	Deep Grinding	5,18
True	546,84	553,11	Forward	0	Deep Grinding	6,27
True	555,24	559,26	Forward	0	Deep Grinding	4,01
True	559,89	563,17	Forward	0	Deep Grinding	3,28
True	565,02	566,67	Forward	0	n/a	1,65
True	569,16	573,99	Forward	0	n/a	4,83
True	575,23	578,56	Forward	0	n/a	3,33
True	580,42	583,77	Forward	0	Deep Grinding	3,35
True	584,53	587,88	Forward	0	n/a	3,35
True	588,93	593,29	Forward	0	n/a	4,37
True	594,82	596,85	Forward	0	Deep Grinding	2,03
Total:						63,59
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
500	599,720398	99,7203979	2,08216858	12	1,691339254	6

Ilustración A- 27 Salida de datos Proval Tramo 10

Tramo en Estudio	URR-POTR	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	4,2	IRI Proyectado ->	2,5	IRI Final ->	2,5	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	89,7	Porcentaje Cepillado ->	90	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	4,6	NO	2,6	SI	2,6
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	7,4	NO	3,9	SI	3,9
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	5,9	NO	3,2	SI	3,2
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	5,1	NO	2,9	SI	2,9
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	5,4	NO	3	SI	3
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	4,3	NO	2,5	SI	2,5
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	5,2	NO	2,9	SI	2,9
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	4,7	NO	2,7	SI	2,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	4	NO	2,4	SI	2,4
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	6,4	NO	3,4	SI	3,4
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	4,5	NO	2,6	SI	2,6
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	4	NO	2,4	SI	2,4
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	3,5	NO	2,2	SI	2,2
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	6,5	NO	3,5	SI	3,5
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2,3	NO	1,6	SI	1,6

Ilustración A- 28 Salida de datos MCP Tramo 11

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	3,12	19,68	Forward	0	Deep Grinding	16,56
True	21,69	24,69	Forward	0	Deep Grinding	3
True	26,19	43,81	Forward	0	Deep Grinding	17,63
True	49,38	52,35	Forward	0	Deep Grinding	2,97
True	52,6	61,77	Forward	0	Deep Grinding	9,17
True	64,03	71,63	Forward	0	Deep Grinding	7,59
True	75,64	81,56	Forward	0	Deep Grinding	5,92
True	85,04	93,52	Forward	0	Deep Grinding	8,48
					Total:	71,32
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
0	99,7203979	99,7203979	4,25172949	3	2,607686281	6

Ilustración A- 29 Salida de datos Proval Tramo 11

Tramo en Estudio	PIJ-URR	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,3	IRI Proyectado ->	1,8	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	39,7	Porcentaje Cepillado ->	39,8	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	80	85,0037994384766	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
2	85,0037994384766	90,0075988769531	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	NO	2,2
3	90,0075988769531	95,0113983154297	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	NO	2,8
4	95,0113983154297	100,015197753906	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
5	100,015197753906	105,018997192383	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
6	105,018997192383	110,022796630859	5,00379991531372	3,7	NO	2,3	SI	2,3
7	110,022796630859	115,026596069336	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
8	115,026596069336	120,030403137207	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
9	120,030403137207	125,034202575684	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
10	125,034202575684	130,037994384766	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
11	130,037994384766	135,041793823242	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
12	135,041793823242	140,045593261719	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	NO	2,8
13	140,045593261719	145,049392700195	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
14	145,049392700195	150,053192138672	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
15	150,053192138672	155,056991577148	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
16	155,056991577148	160,060806274414	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
17	160,060806274414	165,064605712891	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
18	165,064605712891	170,068405151367	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
19	170,068405151367	175,072204589844	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
20	175,072204589844	179,974395751953	4,64820030509521	2,7	NO	1,8	SI	1,8

Ilustración A- 30 Salida de datos MCP Tramo 12

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	83,12	90,87	Forward	0	Deep Grinding	7,75
True	94,45	99,58	Forward	0	Deep Grinding	5,13
True	104,36	110,07	Forward	0	Deep Grinding	5,71
True	110,45	115	Forward	0	Deep Grinding	4,55
True	117,26	128,69	Forward	0	Deep Grinding	11,43
True	130,85	139,97	Forward	0	n/a	9,12
True	142,2	144,64	Forward	0	n/a	2,44
True	146,8	149,42	Forward	0	n/a	2,62
True	152,26	159,55	Forward	0	n/a	7,29
True	162,5	165,34	Forward	0	n/a	2,84
True	166,82	169,79	Forward	0	Deep Grinding	2,97
True	171,95	174,31	Forward	0	Deep Grinding	2,36
					Total:	64,21
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
80	179,720398	99,7203979	2,28981566	10	1,527899623	8

Ilustración A- 31 Salida de datos Proval Tramo 12

Tramo en Estudio	PIE-BAG		Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340
			IRI Inicial ->	2,9	IRI Proyectado ->	1,9	IRI Final ->	1,9
			Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	99,7	Porcentaje Cepillado ->	100
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	1200	1205,00378417969	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
2	1205,00378417969	1210,00756835938	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
3	1210,00756835938	1215,01135253906	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
4	1215,01135253906	1220,01525878906	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
5	1220,01525878906	1225,01904296875	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
6	1225,01904296875	1230,02282714844	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
7	1230,02282714844	1235,02661132813	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
8	1235,02661132813	1240,03039550781	5,00379991531372	3,6	NO	2,2	SI	2,2
9	1240,03039550781	1245,0341796875	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
10	1245,0341796875	1250,03796386719	5,00379991531372	3,5	NO	2,2	SI	2,2
11	1250,03796386719	1255,04174804688	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
12	1255,04174804688	1260,04565429688	5,00379991531372	4	NO	2,4	SI	2,4
13	1260,04565429688	1265,04943847656	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
14	1265,04943847656	1270,05322265625	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
15	1270,05322265625	1275,05700683594	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
16	1275,05700683594	1280,06079101563	5,00379991531372	4	NO	2,4	SI	2,4
17	1280,06079101563	1285,06457519531	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
18	1285,06457519531	1290,068359375	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
19	1290,068359375	1295,07214355469	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
20	1295,07214355469	1299,97436523438	4,64820003509521	2	NO	1,5	SI	1,5

Ilustración A- 32 Salida de datos MCP Tramo 13

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	1.206,96	1.233,25	Forward	0	Deep Grinding	26,29
True	1.233,96	1.237,52	Forward	0	Deep Grinding	3,56
True	1.239,37	1.246,89	Forward	0	Deep Grinding	7,52
True	1.247,62	1.265,86	Forward	0	Deep Grinding	18,24
True	1.272,16	1.278,54	Forward	0	Deep Grinding	6,38
True	1.280,92	1.284,12	Forward	0	Deep Grinding	3,2
True	1.284,35	1.296,42	Forward	0	Deep Grinding	12,06
Total:						77,25
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
1200	1299,72046	99,7203979	2,90664124	5	2,033480644	8

Ilustración A- 33 Salida de datos Proval Tramo 13

Tramo en Estudio	PIE-POT		Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340
			IRI Inicial ->	2,2	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	1,9
			Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	30	Porcentaje Cepillado ->	30,1
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	1700	1705,00378417969	5,00379991531372	1,2	SI		NO	1,2
2	1705,00378417969	1710,00756835938	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
3	1710,00756835938	1715,01135253906	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
4	1715,01135253906	1720,01525878906	5,00379991531372	3,6	NO	2,2	SI	2,2
5	1720,01525878906	1725,01904296875	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
6	1725,01904296875	1730,02282714844	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
7	1730,02282714844	1735,02661132813	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
8	1735,02661132813	1740,03039550781	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
9	1740,03039550781	1745,0341796875	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
10	1745,0341796875	1750,03796386719	5,00379991531372	1,2	SI		NO	1,2
11	1750,03796386719	1755,04174804688	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
12	1755,04174804688	1760,04565429688	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	NO	2,8
13	1760,04565429688	1765,04943847656	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
14	1765,04943847656	1770,05322265625	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
15	1770,05322265625	1775,05700683594	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
16	1775,05700683594	1780,06079101563	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
17	1780,06079101563	1785,06457519531	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	NO	2,2
18	1785,06457519531	1790,068359375	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
19	1790,068359375	1795,07214355469	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	NO	2,9
20	1795,07214355469	1799,97436523438	4,64820003509521	2,1	NO	1,6	NO	2,1

Ilustración A- 34 Salida de datos MCP Tramo 14

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	1.709,86	1.747,88	Forward	0	Deep Grinding	38,02
True	1.751,31	1.761,09	Forward	0	Deep Grinding	9,78
True	1.762,99	1.765,23	Forward	0	n/a	2,24
True	1.769,70	1.773,61	Forward	0	n/a	3,91
True	1.776,07	1.778,56	Forward	0	n/a	2,49
True	1.779,73	1.781,41	Forward	0	n/a	1,68
True	1.781,48	1.789,84	Forward	0	Deep Grinding	8,36
True	1.791,47	1.796,85	Forward	0	Deep Grinding	5,38
					Total:	71,86
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
1700	1799,72046	99,7203979	2,15536761	14	1,443160653	3

Ilustración A- 35 Salida de datos Proval Tramo 14

Tramo en Estudio	MN-RB	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	1,8	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	65	Porcentaje Cepillado ->	65,2	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	150	155,003799438477	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
2	155,003799438477	160,007598876953	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
3	160,007598876953	165,01139831543	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
4	165,01139831543	170,015197753906	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
5	170,015197753906	175,018997192383	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
6	175,018997192383	180,022796630859	5,00379991531372	3,1	NO	2	SI	2
7	180,022796630859	185,026596069336	5,00379991531372	1,2	SI		NO	1,2
8	185,026596069336	190,030395507813	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
9	190,030395507813	195,034194946289	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
10	195,034194946289	200,037994384766	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
11	200,037994384766	205,041793823242	5,00379991531372	4,7	NO	2,7	SI	2,7
12	205,041793823242	210,045593261719	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
13	210,045593261719	215,049392700195	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	SI	2,1
14	215,049392700195	220,053192138672	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
15	220,053192138672	225,056991577148	5,00379991531372	4,1	NO	2,4	SI	2,4
16	225,056991577148	230,060806274414	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
17	230,060806274414	235,064605712891	5,00379991531372	1,3	SI		NO	1,3
18	235,064605712891	240,068405151367	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	NO	2,5
19	240,068405151367	245,072204589844	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	NO	2,4
20	245,072204589844	249,974395751953	4,6482003509521	1,7	SI		NO	1,7

Ilustración A- 36 Salida de datos MCP Tramo 15

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	153,12	159,42	Forward	0	n/a	6,3
True	162,73	165,19	Forward	0	n/a	2,46
True	165,82	169,3	Forward	0	Deep Grinding	3,48
True	171,69	177,36	Forward	0	Deep Grinding	5,66
True	179,67	181,88	Forward	0	n/a	2,21
True	186,37	189,5	Forward	0	n/a	3,12
True	189,88	197,85	Forward	0	Deep Grinding	7,98
True	202,15	206,77	Forward	0	Deep Grinding	4,62
True	211,11	237,76	Forward	0	Deep Grinding	26,64
True	241,39	246,85	Forward	0	Deep Grinding	5,46
Total:						67,93
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
150	249,720398	99,7203979	2,44655704	11	1,539300442	5

Ilustración A- 37 Salida de datos Proval Tramo 15

Tramo en Estudio	TEN-UPA	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,7	IRI Final ->	2	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	65	Porcentaje Cepillado ->	65,2	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	500	505,003814697266	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
2	505,003814697266	510,007598876953	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
3	510,007598876953	515,011413574219	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
4	515,011413574219	520,015197753906	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
5	520,015197753906	525,018981933594	5,00379991531372	3,5	NO	2,2	SI	2,2
6	525,018981933594	530,022827148438	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
7	530,022827148438	535,026611328125	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
8	535,026611328125	540,030395507813	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
9	540,030395507813	545,0341796875	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
10	545,0341796875	550,038024902344	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	SI	1,9
11	550,038024902344	555,041809082031	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
12	555,041809082031	560,045593261719	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
13	560,045593261719	565,049377441406	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
14	565,049377441406	570,05322265625	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
15	570,05322265625	575,057006835938	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
16	575,057006835938	580,060791015625	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	NO	2,4
17	580,060791015625	585,064575195313	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	NO	2,5
18	585,064575195313	590,068420410156	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	NO	2,8
19	590,068420410156	595,072204589844	5,00379991531372	2,8	NO	1,9	NO	2,8
20	595,072204589844	599,974426269531	4,64820003509521	3,9	NO	2,3	NO	3,9

Ilustración A- 38 Salida de datos MCP Tramo 16

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	504,72	515,85	Forward	0	Deep Grinding	11,13
True	520,42	527,76	Forward	0	Deep Grinding	7,34
True	530,05	536,37	Forward	0	Deep Grinding	6,32
True	540,16	545,67	Forward	0	Deep Grinding	5,51
True	548,51	552,04	Forward	0	Deep Grinding	3,53
True	554,23	561,29	Forward	0	Deep Grinding	7,06
True	563,83	569,32	Forward	0	n/a	5,49
True	575,08	578,16	Forward	0	n/a	3,07
True	578,54	581,48	Forward	0	n/a	2,95
True	585,17	595,2	Forward	0	Deep Grinding	10,03
					Total:	62,43
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
500	599,720398	99,7203979	2,4444561	9	1,691695213	9

Ilustración A- 39 Salida de datos Proval Tramo 16

Tramo en Estudio	UPA-TEN		Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340
			IRI Inicial ->	2,8	IRI Proyectado ->	1,9	IRI Final ->	1,9
			Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	84,7	Porcentaje Cepillado ->	85
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	0	5,00379991531372	5,00379991531372	0,9	SI		NO	0,9
2	5,00379991531372	10,0075998306274	5,00379991531372	1,2	SI		NO	1,2
3	10,0075998306274	15,0114002227783	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
4	15,0114002227783	20,0151996612549	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
5	20,0151996612549	25,0189990997314	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
6	25,0189990997314	30,0228004455566	5,00379991531372	4,7	NO	2,7	SI	2,7
7	30,0228004455566	35,0265998840332	5,00379991531372	7,3	NO	3,8	SI	3,8
8	35,0265998840332	40,0303993225098	5,00379991531372	3,9	NO	2,3	SI	2,3
9	40,0303993225098	45,0341987609863	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
10	45,0341987609863	50,0379981994629	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
11	50,0379981994629	55,0417976379395	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
12	55,0417976379395	60,0456008911133	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
13	60,0456008911133	65,0494003295898	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
14	65,0494003295898	70,0531997680664	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	SI	2,1
15	70,0531997680664	75,056999206543	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
16	75,056999206543	80,0607986450195	5,00379991531372	2,2	NO	1,6	SI	1,6
17	80,0607986450195	85,0645980834961	5,00379991531372	2,3	NO	1,6	SI	1,6
18	85,0645980834961	90,0683975219727	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
19	90,0683975219727	95,0721969604492	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
20	95,0721969604492	99,9743957519531	4,64820003509521	2,1	NO	1,6	SI	1,6

Ilustración A- 40 Salida de datos MCP Tramo 17

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	7,19	9,88	Forward	0	n/a	2,69
True	13,18	22,35	Forward	0	Deep Grinding	9,17
True	24,84	36,55	Forward	0	Deep Grinding	11,71
True	43	47,45	Forward	0	n/a	4,44
True	52,91	60,76	Forward	0	Deep Grinding	7,85
True	65,1	68,25	Forward	0	Deep Grinding	3,15
True	74,68	84,33	Forward	0	Deep Grinding	9,65
True	86,33	88,67	Forward	0	n/a	2,34
True	89,76	93,09	Forward	0	n/a	3,33
Total:						54,33

Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
0	99,7203979	99,7203979	2,77330589	6	1,763241529	5

Ilustración A- 41 Salida de datos MCP Tramo 17

Tramo en Estudio	CSUR-SAND		Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340
			IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,8	IRI Final ->	1,9
			Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	55	Porcentaje Cepillado ->	55,2
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	145	150,003799438477	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
2	150,003799438477	155,007598876953	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	NO	2,7
3	155,007598876953	160,01139831543	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
4	160,01139831543	165,015197753906	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
5	165,015197753906	170,018997192383	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
6	170,018997192383	175,022796630859	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
7	175,022796630859	180,026596069336	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
8	180,026596069336	185,030395507813	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
9	185,030395507813	190,034194946289	5,00379991531372	3,7	NO	2,3	SI	2,3
10	190,034194946289	195,037994384766	5,00379991531372	4,3	NO	2,5	SI	2,5
11	195,037994384766	200,041793823242	5,00379991531372	3,6	NO	2,2	SI	2,2
12	200,041793823242	205,045593261719	5,00379991531372	3,3	NO	2,1	SI	2,1
13	205,045593261719	210,049392700195	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
14	210,049392700195	215,053192138672	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
15	215,053192138672	220,056991577148	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	SI	1,7
16	220,056991577148	225,060806274414	5,00379991531372	1,7	SI		NO	1,7
17	225,060806274414	230,064605712891	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
18	230,064605712891	235,068405151367	5,00379991531372	2,4	NO	1,7	NO	2,4
19	235,068405151367	240,072204589844	5,00379991531372	2	NO	1,5	NO	2
20	240,072204589844	244,974395751953	4,6482003509521	1,5	SI		NO	1,5

Ilustración A- 42 Salida de datos MCP Tramo 18

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	148,61	170,91	Forward	0	Deep Grinding	22,3
True	173,88	184,47	Forward	0	Deep Grinding	10,59
True	187,14	192,52	Forward	0	Deep Grinding	5,38
True	197,15	202,61	Forward	0	Deep Grinding	5,46
True	204,74	206,54	Forward	0	Deep Grinding	1,8
True	208,45	211,24	Forward	0	n/a	2,79
True	215,43	219,19	Forward	0	n/a	3,76
True	219,73	227,19	Forward	0	n/a	7,47
True	228,92	233,21	Forward	0	Deep Grinding	4,29
True	237,56	241,85	Forward	0	Deep Grinding	4,29
					Total:	68,13
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
145	244,720398	99,7203979	2,43347549	9	1,489714026	4

ilustración A- 43 Salida de datos Proval Tramo 18

Tramo en Estudio	SAND-CSUR	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,4	IRI Proyectado ->	1,8	IRI Final ->	1,8	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	64,7	Porcentaje Cepillado ->	64,9	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	300	305,003814697266	5,00379991531372	1,6	SI		NO	1,6
2	305,003814697266	310,007598876953	5,00379991531372	1,3	SI		NO	1,3
3	310,007598876953	315,011413574219	5,00379991531372	3,8	NO	2,3	SI	2,3
4	315,011413574219	320,015197753906	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
5	320,015197753906	325,019012451172	5,00379991531372	4,5	NO	2,6	SI	2,6
6	325,019012451172	330,022796630859	5,00379991531372	1,8	SI		NO	1,8
7	330,022796630859	335,026611328125	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
8	335,026611328125	340,030395507813	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
9	340,030395507813	345,034210205078	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
10	345,034210205078	350,037994384766	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	SI	1,6
11	350,037994384766	355,041809082031	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
12	355,041809082031	360,045593261719	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
13	360,045593261719	365,049407958984	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
14	365,049407958984	370,053192138672	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	SI	1,8
15	370,053192138672	375,057006835938	5,00379991531372	1,9	SI		NO	1,9
16	375,057006835938	380,060791015625	5,00379991531372	2,7	NO	1,8	NO	2,7
17	380,060791015625	385,064605712891	5,00379991531372	1,3	SI		NO	1,3
18	385,064605712891	390,068389892578	5,00379991531372	2,6	NO	1,8	SI	1,8
19	390,068389892578	395,072204589844	5,00379991531372	2	NO	1,5	SI	1,5
20	395,072204589844	399,974395751953	4,6482003509521	2,4	NO	1,7	SI	1,7

Ilustración A- 44 Salida de datos MCP Tramo 19

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	304,19	320,07	Forward	0	Deep Grinding	15,87
True	321,67	327,53	Forward	0	Deep Grinding	5,87
True	330,4	332,49	Forward	0	n/a	2,08
True	333,78	336,02	Forward	0	Deep Grinding	2,24
True	336,4	346,25	Forward	0	Deep Grinding	9,86
True	346,51	348,08	Forward	0	n/a	1,57
True	348,31	352,7	Forward	0	n/a	4,39
True	354,66	357,63	Forward	0	Deep Grinding	2,97
True	367,11	373,51	Forward	0	Deep Grinding	6,4
True	380,47	386,66	Forward	0	Deep Grinding	6,2
True	390,35	393,57	Forward	0	n/a	3,23
					Total:	60,68
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
300	399,720398	99,7203979	2,37802029	11	1,625621796	5

Ilustración A- 45 Salida de datos Proval Tramo 19

Tramo en Estudio	CAR-SALT	Norma	2,0	Variable1 (b)	0,6464	Variable2 (m)	0,4340	
		IRI Inicial ->	2,9	IRI Proyectado ->	1,9	IRI Final ->	1,9	
		Distancia Total ->	99,7	Distancia Cepillado ->	64,7	Porcentaje Cepillado ->	64,9	
Numero Fila	Estacion 1 (m)	Estacion 2 (m)	Distancia (m)	IRI Inicial (m/km)	Cumple S/N	Funcion Cepillado (m/km)	Cepillar S/N	IRI Final (m/km)
1	2000	2005,00378417969	5,00379991531372	0,8	SI		NO	0,8
2	2005,00378417969	2010,00756835938	5,00379991531372	1,2	SI		NO	1,2
3	2010,00756835938	2015,01135253906	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
4	2015,01135253906	2020,01525878906	5,00379991531372	2,1	NO	1,6	NO	2,1
5	2020,01525878906	2025,01904296875	5,00379991531372	1	SI		NO	1
6	2025,01904296875	2030,02282714844	5,00379991531372	1,4	SI		NO	1,4
7	2030,02282714844	2035,02661132813	5,00379991531372	1,5	SI		NO	1,5
8	2035,02661132813	2040,03039550781	5,00379991531372	4,5	NO	2,6	SI	2,6
9	2040,03039550781	2045,0341796875	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
10	2045,0341796875	2050,0380859375	5,00379991531372	3,1	NO	2	SI	2
11	2050,0380859375	2055,04174804688	5,00379991531372	5,6	NO	3,1	SI	3,1
12	2055,04174804688	2060,04565429688	5,00379991531372	4,5	NO	2,6	SI	2,6
13	2060,04565429688	2065,04931640625	5,00379991531372	3,7	NO	2,3	SI	2,3
14	2065,04931640625	2070,05322265625	5,00379991531372	3,4	NO	2,1	SI	2,1
15	2070,05322265625	2075,05688476563	5,00379991531372	2,9	NO	1,9	SI	1,9
16	2075,05688476563	2080,06079101563	5,00379991531372	3,2	NO	2	SI	2
17	2080,06079101563	2085,06469726563	5,00379991531372	3,8	NO	2,3	SI	2,3
18	2085,06469726563	2090,068359375	5,00379991531372	2,5	NO	1,7	SI	1,7
19	2090,068359375	2095,072265625	5,00379991531372	3,7	NO	2,3	SI	2,3
20	2095,072265625	2099,97436523438	4,6482003509521	4,6	NO	2,6	SI	2,6

Ilustración A- 46 Salida de datos MCP Tramo 20

Enabled	Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Direction	Head Height (mm)	Warning	Length (m)
True	2.004,65	2.031,67	Forward	0	Deep Grinding	27,03
True	2.034,95	2.036,47	Forward	0	Deep Grinding	1,52
True	2.037,52	2.040,28	Forward	0	n/a	2,77
True	2.044,40	2.046,23	Forward	0	n/a	1,83
True	2.049,10	2.055,80	Forward	0	Deep Grinding	6,71
True	2.058,45	2.061,85	Forward	0	Deep Grinding	3,4
True	2.065,00	2.068,33	Forward	0	Deep Grinding	3,33
True	2.070,28	2.080,57	Forward	0	Deep Grinding	10,29
True	2.082,09	2.084,76	Forward	0	n/a	2,67
True	2.091,16	2.096,85	Forward	0	Deep Grinding	5,69
					Total:	65,24
Start Distance (m)	Stop Distance (m)	Length (m)	No Grinding MRI (m/km)	No Grinding Defect Count	After Grinding MRI (m/km)	After Grinding Defect Count
2000	2099,72046	99,7203979	2,85913324	2	1,67955637	8

Ilustración A- 47 Salida de datos Proval Tramo 20

Anexo 5: Código Fuente de MCP

```
using System;
using System.Data;
using System.IO;
using System.Windows.Forms;
using System.Linq;
using Excel = Microsoft.Office.Interop.Excel;
using System.Collections.Generic;

namespace planCepillado
{
    public partial class planCepillado : Form
    {
        System.Collections.Generic.Dictionary<int, int> cGrupos;

        #region Constructor
        public planCepillado()
        {
            InitializeComponent();
        }
        #endregion

        #region Metodos
        private void listarDatos(String pArchivo)
        {
            Excel.Application lAplicacion = new Excel.Application();
            Excel.Range lRango = null;

            this.errorProvider.Clear();

            try
            {
                if (File.Exists(@pArchivo))
                {
                    #region Excel

                    Excel.Workbook lLibro = lAplicacion.Workbooks.Open(@pArchivo);
                    Excel._Worksheet lHoja = lLibro.Sheets[1];
                    lRango = lHoja.UsedRange;

                    #endregion

                    if (lRango != null)
                    {
                        if (lRango.Rows.Count > 1)
                        {
                            #region Valores Base

                            double lIRI_Norma = 0;
                            double.TryParse(this.txtNorma.Text, out lIRI_Norma);

                            double lVariable1 = 0;
                            double.TryParse(this.txtVariable1.Text, out lVariable1);

                            double lVariable2 = 0;
                            double.TryParse(this.txtVariable2.Text, out lVariable2);

                            #endregion

                            #region Datos Tramo

                            String lDistancia = "";
                            String lEstacion1 = "";
                            String lEstacion2 = "";
                            double lIriInicial = 0;

                            double lIriCorregido = 0;


```

```

#endregion

#region Promedios

double lPromedioOriginal = 0;
double lPromedioCorregido = 0;
double lPromedioFinal = 0;

#endregion

this.dgvTramos.Rows.Clear();
this.cGrupos = new Dictionary<int, int>();

for (int i = 2; i <= lRango.Rows.Count; i++)
{
    try
    {
        lEstacion1 = lRango.Cells[i, 1].Value.ToString();

        lEstacion2 = lRango.Cells[i, 2].Value.ToString();

        lDistancia = lRango.Cells[i, 3].Value.ToString();

        lIriInicial = 0;
        double.TryParse(lRango.Cells[i, 4].Value.ToString(), out lIriInicial);
        lIriInicial = Math.Round(lIriInicial, 1);

        if (lIriInicial > 0)
        {
            lIriCorregido = 0;
            lIriCorregido = this.agregarFila(i - 1, lEstacion1, lEstacion2, lDistancia, lIriInicial, lIRI_Norma, lVariable1, lVariable2);

            lPromedioOriginal += lIriInicial;
            lPromedioCorregido += lIriCorregido;
            lPromedioFinal += lIriCorregido;

            lPromedioFinal += lIriCorregido;
        }
    }
    catch
    {
        break;
    }
}

#region Promedios

lPromedioOriginal = (lPromedioOriginal / (lRango.Rows.Count - 1));
lPromedioCorregido = (lPromedioCorregido / (lRango.Rows.Count - 1));
lPromedioFinal = (lPromedioFinal / (lRango.Rows.Count - 1));

this.txtPromOriginal.Text = Math.Round(lPromedioOriginal, 1).ToString();
this.txtPromCorregido.Text = Math.Round(lPromedioCorregido, 1).ToString();
this.txtPromFinal.Text = Math.Round(lPromedioFinal, 1).ToString();

#endregion

this.definirGrupos();

this.calcularDistancia();

#region Botones

this.btnOptimizar.Visible = (this.dgvTramos.RowCount > 0);
this.btnOptimizar.Enabled = (this.dgvTramos.RowCount > 0);

this.btnReiniciar.Visible = (this.dgvTramos.RowCount > 0);
this.btnReiniciar.Enabled = (this.dgvTramos.RowCount > 0);

this.btnExportar.Visible = (this.dgvTramos.RowCount > 0);
this.btnExportar.Enabled = (this.dgvTramos.RowCount > 0);

```

```

this.btnImportar.Visible = !(this.dgvTramos.RowCount > 0);
this.btnImportar.Enabled = !(this.dgvTramos.RowCount > 0);

this.txtNorma.Enabled = !(this.dgvTramos.RowCount > 0);
this.txtVariable1.Enabled = !(this.dgvTramos.RowCount > 0);
this.txtVariable2.Enabled = !(this.dgvTramos.RowCount > 0);

#endregion

#region Alertas

if (lPromedioOriginal <= lIRI_Norma)
{
    this.btnOptimizar.Enabled = false;
    //this.btnExportar.Enabled = false;
    MessageBox.Show("El Promedio de IRI Original ya cumple con la Norma, no es necesario la aplicación de la Función de Cepillado.", "Atenci
}

if (lPromedioFinal > lIRI_Norma)
{
    this.btnOptimizar.Enabled = false;
    //this.btnExportar.Enabled = false;
    MessageBox.Show("El IRI Final no mejoró tras la aplicación de la Función de Cepillado.", "Atención", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon
}

if (lPromedioFinal == lIRI_Norma)
{
    this.btnOptimizar.Enabled = false;
    MessageBox.Show("El IRI Final es igual a la Norma tras la aplicación de la Función de Cepillado.\nNo se puede optimizar.", "Atención", M
}

#endregion

}
}
}

lLibro.Close(0);
}
else
{
    MessageBox.Show("No Se Encuentra el Archivo.", "Atención");
}
}
catch (Exception lExcp)
{
    throw new Exception("Error al Listar los Datos.\n" + lExcp.Message);
}
finally
{
    GC.Collect();
    GC.WaitForPendingFinalizers();

    if (lAplicacion != null)
    {
        lAplicacion.Quit();
        System.Runtime.InteropServices.Marshal.ReleaseComObject(lAplicacion);
    }
}
}

private double agregarFila(int pID,
    String pTexto1,
    String pTexto2,
    String pTexto3,
    double pIriInicial,
    double pNorma,
    double pVariable1,
    double pVariable2)
{

```

```

    {
        try
        {
            bool lCumple = (pIriInicial < pNorma);

            double lIriCorregido = 0;

            if (lCumple == false)
            {
                lIriCorregido = Math.Round((pVariable1 + pVariable2 * pIriInicial), 1);
            }
            else
            {
                lIriCorregido = pIriInicial;
            }

            this.dgvTramos.Rows.Add(pID, pTexto1, pTexto2, pTexto3, pIriInicial, lCumple, lIriCorregido, "0", lCumple, lIriCorregido);

            return lIriCorregido;
        }
        catch (Exception lExcp)
        {
            throw lExcp;
        }
    }

    private void definirGrupos()
    {
        try
        {
            if (this.dgvTramos.Rows.Count > 0)
            {
                int lGrupo = 0;
                int lCantidad = 0;
                bool lCumple = false;
                bool lAnterior = false;

                foreach (DataGridViewRow lFila in this.dgvTramos.Rows)
                {
                    lCumple = false;
                    bool.TryParse(lFila.Cells[5].Value.ToString(), out lCumple);

                    if (lCumple == false)
                    {
                        if (lFila.Index == 0)
                        {
                            lGrupo = 1;
                            lCantidad = 1;

                            this.cGrupos.Add(lGrupo, lCantidad);

                            lFila.Cells[7].Value = lGrupo;
                        }
                        else
                        {
                            lAnterior = false;
                            bool.TryParse(this.dgvTramos.Rows[lFila.Index - 1].Cells[5].Value.ToString(), out lAnterior);

                            if (lAnterior == false)//Anterior no cumple, mismo grupo +1 cantidad
                            {
                                lFila.Cells[7].Value = lGrupo;
                                lCantidad++;
                                this.cGrupos[lGrupo] = lCantidad;
                            }
                            else
                            {
                                lGrupo++;
                                lCantidad = 1;
                                this.cGrupos.Add(lGrupo, lCantidad);
                                lFila.Cells[7].Value = lGrupo;
                            }
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```



```

double lPromedio = 0;
double lIri = 0;

foreach (DataGridViewRow lFila in this.dgvTramos.Rows)
{
    lNumGrupo = 0;
    int.TryParse(lFila.Cells[7].Value.ToString(), out lNumGrupo);

    if (lNumGrupo.Equals(pGrupo))
    {
        lFila.Cells[9].Value = lFila.Cells[6].Value;//Optimizado igual al Cepillado
        lFila.Cells[8].Value = true;
    }

    lIri = 0;
    double.TryParse(lFila.Cells[9].Value.ToString(), out lIri);

    lPromedio += lIri;
}

lPromedio = Math.Round((lPromedio / this.dgvTramos.RowCount), 1);

this.txtPromFinal.Text = lPromedio.ToString();
}
catch (Exception lExcp)
{
    throw new Exception("Error al Revertir la Optimización.\n" + lExcp.Message);
}
}

private void exportarExcel()
{
    try
    {
        if (this.dgvTramos.RowCount > 0)
        {
            Excel.Application lAplicacion = new Excel.Application();

            String cDireccion = System.Environment.CurrentDirectory.ToString() + "/plantillas/Plan_Cepillado.xlsx";

            Excel.Workbook lLibro = lAplicacion.Workbooks.Add(cDireccion);

            Excel.Worksheet lHojalListado = (Excel.Worksheet)lLibro.Worksheets[1];

            lAplicacion.Visible = true;

            lHojalListado.Cells[1, 2] = this.txtTramo.Text;
            lHojalListado.Cells[1, 5] = this.txtNorma.Text;
            lHojalListado.Cells[1, 7] = this.txtVariable1.Text;
            lHojalListado.Cells[1, 9] = this.txtVariable2.Text;

            lHojalListado.Cells[3, 5] = this.txtPromOriginal.Text;
            lHojalListado.Cells[3, 7] = this.txtPromCorregido.Text;
            lHojalListado.Cells[3, 9] = this.txtPromFinal.Text;

            lHojalListado.Cells[5, 5] = this.txtDistancia.Text;
            lHojalListado.Cells[5, 7] = this.txtDistanciaCepillado.Text;
            lHojalListado.Cells[5, 9] = this.txtPorcentajeCepillado.Text;

            int lFilaExcel = 8;

            bool lCumple = false;

            bool lAplica = false;

            foreach (DataGridViewRow lFila in this.dgvTramos.Rows)
            {
                lHojalListado.Cells[lFilaExcel, 1] = lFila.Cells[0].Value;// ID

                lHojalListado.Cells[lFilaExcel, 2] = lFila.Cells[1].Value;// Estacion1

```



```

        lFila.Cells[9].Value = lFila.Cells[4].Value;
    }
    else
    {
        if (lCumple == true)
        {
            #region Valores Base

            double lIriInicial = 0;
            double.TryParse(lFila.Cells[4].Value.ToString(), out lIriInicial);

            double lVariable1 = 0;
            double.TryParse(this.txtVariable1.Text, out lVariable1);

            double lVariable2 = 0;
            double.TryParse(this.txtVariable2.Text, out lVariable2);

            #endregion

            double lIriCorregido = Math.Round((lVariable1 + lVariable2 * lIriInicial), 1);

            lFila.Cells[9].Value = lIriCorregido;
        }
        else
        {
            lFila.Cells[9].Value = lFila.Cells[6].Value;
        }
    }

    this.recalcularIriFinal();
    this.calcuarDistancia();
}
catch (Exception lExcp)
{
    MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
}
}

private void calcuarDistancia()
{
    try
    {
        double lDistancia;
        //int lCantidadCepillado;
        double lDistanciaCepillado = 0;
        double lPorcentajeCepillado = 0;

        //lDistancia = (this.dgvTramos.Rows.Count * 5); //Se asume q todos los tramos son de 5m;
        //lCantidadCepillado = dgvTramos.Rows.Cast<DataGridViewRow>().Count();
        //lDistanciaCepillado = (lCantidadCepillado * 5);

        lDistancia = Math.Round(dgvTramos.Rows.Cast<DataGridViewRow>().Sum(row => Convert.ToDouble(row.Cells[3].Value)), 1);

        lDistanciaCepillado = Math.Round(dgvTramos.Rows.Cast<DataGridViewRow>()
            .Where(row => row.Cells[8].Value.ToString() == "True")
            .Sum(row => Convert.ToDouble(row.Cells[3].Value)), 1);

        lPorcentajeCepillado = Math.Round(((lDistanciaCepillado * 100) / lDistancia), 1);

        this.txtDistancia.Text = lDistancia.ToString();

        this.txtDistanciaCepillado.Text = lDistanciaCepillado.ToString();

        this.txtPorcentajeCepillado.Text = lPorcentajeCepillado.ToString();

    }
    catch (Exception lExcp)
    {
        MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
    }
}

private void recalcularIriFinal()

```

```

private void recalcularIriFinal()
{
    try
    {
        var lIriFinal = dgvTramos.Rows.Cast<DataGridViewRow>().Average(row => (double)row.Cells[9].Value);
        lIriFinal = Math.Round(lIriFinal, 1);

        this.txtPromFinal.Text = lIriFinal.ToString();
    }
    catch (Exception lExcp)
    {
        MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
    }
}

#endregion

#region Botones

private void lnkOrigenDatos_LinkClicked(object sender, LinkLabelLinkClickedEventArgs e)
{
    try
    {
        String cDireccion = System.Environment.CurrentDirectory.ToString() + "/plantillas/Origen_Datos.xlsx";

        Excel.Application lAplicacion = new Excel.Application();

        Excel.Workbook lLibro = lAplicacion.Workbooks.Add(cDireccion);

        Excel.Worksheet lHojaListado = (Excel.Worksheet)lLibro.Worksheets[1];

        lAplicacion.Visible = true;
    }
    catch (Exception lExcp)
    {
        MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
    }
}

private void btnImportar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        #region Validar

        this.errorProvider.Clear();

        double lIRI_Norma = 0;
        double.TryParse(this.txtNorma.Text, out lIRI_Norma);

        if (lIRI_Norma <= 0)
        {
            this.errorProvider.SetError(this.txtNorma, "Por Favor Digite el Valor de la Norma");
            this.txtNorma.Focus();
            throw new Exception("Por Favor Digite el Valor de la Norma");
        }

        double lVariable1 = 0;
        double.TryParse(this.txtVariable1.Text, out lVariable1);

        if (lVariable1 <= 0)
        {
            this.errorProvider.SetError(this.txtVariable1, "Por Favor Digite el Valor de \"b\"");
            this.txtVariable1.Focus();
            throw new Exception("Por Favor Digite el Valor de Variable1");
        }

        double lVariable2 = 0;
        double.TryParse(this.txtVariable2.Text, out lVariable2);

        if (lVariable2 <= 0)
        {
            this.errorProvider.SetError(this.txtVariable2, "Por Favor Digite el Valor de \"m\"");
        }
    }
}

```

```

        this.errorProvider.SetError(this.txtVariable2, "Por Favor Digite el Valor de \"m\"");
        this.txtVariable2.Focus();
        throw new Exception("Por Favor Digite el Valor de Variable2");
    }

    #endregion

    OpenFileDialog lAbrir = new OpenFileDialog();
    lAbrir.Filter = "Excel 2007 o superior (.xlsx)|*.xlsx";
    lAbrir.Multiselect = false;
    DialogResult lResult = lAbrir.ShowDialog();
    if (lResult == DialogResult.OK)
    {
        this.listarDatos(lAbrir.FileName);
    }
}
catch (Exception lExcp)
{
    MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
}
}

private void btnOptimizar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    try
    {
        this.optimizar();
        this.btnOptimizar.Enabled = false;
        this.calcularDistancia();
    }
    catch (Exception lExcp)
    {
        MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
        MessageBox.Show(lExcp.Message, "Atención");
    }
}

private void btnExportar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.exportarExcel();
}

private void btnReiniciar_Click(object sender, EventArgs e)
{
    this.btnOptimizar.Visible = false;
    this.btnOptimizar.Enabled = false;

    this.btnReiniciar.Visible = false;
    this.btnReiniciar.Enabled = false;

    this.btnExportar.Visible = false;
    this.btnExportar.Enabled = false;

    this.btnImportar.Visible = true;
    this.btnImportar.Enabled = true;

    this.txtNorma.Enabled = true;
    this.txtVariable1.Enabled = true;
    this.txtVariable2.Enabled = true;

    this.txtNorma.Clear();
    this.txtVariable1.Clear();
    this.txtVariable2.Clear();

    this.txtPromOriginal.Clear();
    this.txtPromCorregido.Clear();
    this.txtPromFinal.Clear();

    this.dgvTramos.Rows.Clear();
}

```

```

        this.txtNorma.Clear();
        this.txtVariable1.Clear();
        this.txtVariable2.Clear();

        this.txtPromOriginal.Clear();
        this.txtPromCorregido.Clear();
        this.txtPromFinal.Clear();

        this.dgvTramos.Rows.Clear();
        this.cGrupos = null;
    }

    private void btnSalir_Click(object sender, EventArgs e)
    {
        this.Close();
    }

    #endregion

    #region Eventos

    private void dgvTramos_CellContentClick(object sender, DataGridViewCellEventArgs e)
    {
        if (this.dgvTramos.Rows.Count > 0)
        {
            if (e.ColumnIndex == 8)
            {
                this.dgvTramos.CommitEdit(DataGridViewDataErrorContexts.Commit);
                this.cepilladoManual(e.RowIndex);
            }
        }
    }

    #endregion
}
}

```