



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Daniel Alberto Silva Castillo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ingeniería, Departamento
Bogotá, Colombia

2023

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Daniel Alberto Silva Castillo

Trabajo final de profundización presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Geotecnia

Director: Ferney Betancourt Cardozo
Doctor en Ingeniería – Ciencia y Tecnología de Materiales

Línea de Investigación:
Modelación y análisis en Geotecnia

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ingeniería, Departamento
Bogotá, Colombia

2023

Dedicatoria

A mis padres, mi pareja y hermanos por su amor, comprensión y colaboración constante.

Declaración de obra original


Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



Nombre Daniel Alberto Silva Castillo

Fecha 02/12/2022

Fecha

Agradecimientos

Deseo expresar mi profundo agradecimiento al doctor Ferney Betancourt Cardozo, director de este trabajo de grado, por su constante guía, acompañamiento y colaboración, su dedicación ha sido fundamental para el desarrollo exitoso de esta trabajo.

Además, dedico este trabajo a mis queridos hermanos, Luis Hernando y Juan Sebastián Silva, quienes han sido una fuente constante de apoyo. Su respaldo incondicional ha sido invaluable.

A mi amada compañera de vida, la ingeniera Juliana Rodríguez, quiero expresar mi más sincero agradecimiento por su hermosa presencia y su colaboración constante. Su paciencia y apoyo han sido pilares fundamentales en este proceso.

También quiero extender mi más profundo agradecimiento a mis padres por su confianza y apoyo incondicional en cada paso que he dado. Su amor y aliento han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar mis metas.

A la compañía Dynatest que me permitió el uso de sus equipos con el fin de adelantar la presente investigación.

A los jurados por su colaboración y aportes que permiten una mayor calidad de los productos entregados.

A todos ellos, les dedico este logro con gratitud y cariño sincero

Resumen

Título en español: Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

En este trabajo se realizó la evaluación del desempeño funcional y estructural, en cuatro tramos viales en pavimentos flexibles y en especial, de las capas de rodadura hechas en concretos asfálticos modificados, objeto de experimentación, elaborados en el año 2015 mediante reconstrucción de los pavimentos existentes, inicialmente en mal estado y ubicados en sitios diferentes de la malla vial de la ciudad de Bogotá. Los tramos viales fueron diseñados y construidos en el año 2015, para un período de 10 años, y operación bajo tránsito real y condiciones ambientales naturales, incluyendo en cada uno mejoramiento del drenaje, subrasante mejorada con rajón, materiales granulares idénticos, asfalto base penetración 60/70 (Refinería de Barrancabermeja, Colombia), capas de rodadura con diferentes asfaltos modificados, y con procesos de producción y construcción similares, como resultado de la cooperación financiera y técnica institucionales, de la Unidad de la Malla Vial de Bogotá y la Universidad Nacional de Colombia. Las capas de rodadura asfáltica se elaboraron con concretos asfálticos modificados en fase húmeda, con Cal hidratada, Sasobit^R, negro de humo-cal hidratada y aceite fluxante (asfalto penetración 80/100); este último, se tomó como referencia, dado que es empleado para pavimentación en Bogotá.

La evaluación de desempeño funcional y estructural de los tramos viales, después de operación durante seis años (2015-2021), fue realizada a partir de la información de las condiciones iniciales, el seguimiento a la operación en el primer año y de lo realizado en este trabajo, a partir de la ejecución de ensayos de campo, con equipos convencionales y de tecnologías – no destructivas – de alto rendimiento, entre las que se destacan la del FWD, perfilómetro láser RSP III y la del equipo multifuncional (MFV). Los resultados obtenidos en términos de regularidad superficial, ahuellamiento, textura, fricción, índice de

condición de pavimento (PCI), número estructural y módulos elásticos retro calculados, entre otros, evidenciaron una evolución favorable y en la actualidad ofrecen buen desempeño funcional y estructural, en este orden, para los tramos de los Barrios Restrepo, Cundinamarca y Puente Aranda, de acuerdo con el nivel de deterioros superficiales, los índices de estado (IDU; segunda y tercera generación de concesiones viales) y los índices de aporte estructural estimados para las capas de rodadura; el desempeño del tramo experimental ubicado en Barrio Villa Luz, presentó el más bajo desempeño. En el presente estudio las capas de rodadura presentaron el mejor desempeño funcional y estructural, en orden de mayor a menor, las de concretos asfálticos modificados con Cal hidratada, negro de humo-Cal y Sasobit (Mezcla tibia), con respecto a la de concreto asfáltico empleado como referencia (asfalto 60-70).

Palabras clave: (Asfalto, Mezclas asfálticas modificadas, Cal, Sasobit, negro de humo, tramos experimentales, Desempeño funcional y estructural).

Abstract

Título en inglés: Performance evaluation of four experimental sections and their respective asphalt mixtures after five years of operation in the road network of the city of Bogotá

In this study, the functional and structural performance evaluation was carried out on four road sections with flexible pavements, and specifically, on wearing courses made of modified asphalt concretes, which were the subject of experimentation, created in 2015 through the reconstruction of existing pavements that were initially in poor condition and located in different areas of the road network in Bogotá. The road sections were designed and constructed in 2015, for a period of 10 years, and operated under real traffic and natural environmental conditions, with each section including drainage improvements, improved subgrade with crushed stone, identical granular materials, penetration grade 60/70 asphalt base (Barrancabermeja Refinery, Colombia), wearing courses with different modified asphalts, and similar production and construction processes, as a result of the financial and technical cooperation between the Bogotá Road Network Unit and the National University of Colombia. The asphalt wearing courses were made with modified asphalt concretes in the wet phase, with hydrated lime, Sasobit[®], carbon black-hydrated lime, and flux oil (penetration grade 80/100 asphalt); the latter was used as a reference, as it is commonly used for pavement in Bogotá.

The functional and structural performance evaluation of the road sections, after operating for six years (2015-2021), was carried out based on initial conditions, monitoring during the first year, and the work carried out in this study, which involved field tests using conventional equipment and high-performance non-destructive technologies, including FWD, RSP III laser profilometer, and the multifunctional equipment (MFV). The results

obtained in terms of surface evenness, rutting, texture, friction, pavement condition index (PCI), structural number, and back-calculated elastic moduli, among others, showed a favorable evolution, and currently offer good functional and structural performance, in that order, for the road sections in the Restrepo, Cundinamarca, and Puente Aranda neighborhoods, according to the level of surface deterioration, state indices (IDU; second and third generation of road concessions), and the estimated structural contribution indices for the wearing courses. The performance of the experimental section located in the Villa Luz neighborhood presented the lowest performance. In this study, the wearing courses with the best functional and structural performance, in descending order, were those made of modified asphalt concretes with hydrated lime, carbon black-lime, and Sasobit (warm mix), compared to the asphalt concrete used as a reference (60-70 asphalt).

Keywords: (Asphalt, modified asphalt mixes, lime, Sasobit, lampblack, experimental sections, Functional and structural performance).

Contenido

	Pág.
Resumen	VI
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XVII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIX
Introducción	1
1. Marco conceptual.....	11
1.1 Asfalto.....	11
1.1.1 Obtención del asfalto	12
1.1.2 Principales propiedades del asfalto.....	12
1.1.3 Asfaltos modificados con polímeros.....	15
1.2 Mezclas asfálticas	15
1.2.1 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas	16
1.2.2 Diseño Marshall y requerimientos de diseño vigentes en Colombia.....	17
1.2.3 Mezclas asfálticas modificadas recientemente usadas en Colombia	18
▪ Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente:.....	20
▪ Asphalts and modified dense asphalt mixtures with rubber of military boots :	21
▪ Mezcla asfáltica modificada con agregados livianos. Nueva alternativa para el desarrollo vial.....	21
▪ Evaluación del desempeño mecánico de mezclas asfálticas con escorias de acero:	22
▪ Evaluación de los cambios químicos que experimenta el asfalto durante el proceso de envejecimiento a corto plazo y su relación con algunas propiedades físico-mecánicas	22
▪ Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá	23
1.3 Características funcionales y estructurales del pavimento flexible.....	23
1.3.1 Evaluación superficial del pavimento	23
▪ Metodología VIZIR.....	24
▪ Metodología Índice de condición del pavimento (PCI).....	27

1.3.2	Evaluación de la regularidad.....	31
▪	Índice de regularidad internacional (IRI)	32
▪	Técnicas para medir la regularidad.....	34
→	IRI estimado mediante MERLIN.....	37
1.3.3	Evaluación de la Textura	38
▪	Microtextura.....	38
▪	Macrotextura.....	38
1.3.4	Evaluación de la fricción	41
1.3.5	Índice de fricción internacional IFI.....	44
▪	Determinación del parámetro S_p	45
▪	Determinación del parámetro F_{60}	46
▪	Rangos de fricción	47
▪	Aplicación e interpretación del IFI	48
1.3.6	Evaluación estructural de pavimentos flexibles	50
▪	Medida de deflexión bajo carga por impacto	51
▪	Normalización de las deflexiones.....	51
▪	Corrección por carga	51
▪	Cuencos de deflexiones.....	52
▪	Parámetros cualitativos de Horak	54
▪	Área normalizada del cuenco.....	55
▪	Parámetros AASTHO.....	57
▪	Retrocálculo de módulos	59
▪	Módulo de superficie.....	62
1.4	Tramos de prueba	64
1.4.1	Ensayos acelerados	65
1.4.2	Los ensayos en tiempo real	71
2.	Metodología	75
2.1	Tramos viales experimentales en operación.....	76
2.2	Metodología general.....	82
2.3	Metodología específica	85
2.3.1	Evaluación funcional de los pavimentos	86
▪	Evaluación superficial de deterioros.....	86
➤	Índice de Condición del Pavimento (PCI)	88
▪	Medición del Ahuellamiento	88
▪	Índice de regularidad internacional (IRI)	89
➤	IRI (método Merlín)	90
➤	IRI método perfilómetro láser RSP III	92
▪	Macrotextura.....	92
➤	Macrotextura método círculo de arena	93
➤	Macrotextura método perfilómetro láser	95
▪	Fricción	97
➤	Índice de Fricción Internacional IFI.....	98
▪	Normas de referencia	99
2.3.2	Evaluación estructural de los pavimentos	99
▪	Análisis de la condición de temperatura.....	100
▪	Análisis datos defletométricos.....	102
▪	Retro cálculo de módulos	104
▪	Clasificación Global del Pavimento	105

3. Resultados y discusión	109
3.1 Desempeño funcional y estructural de los tramos experimentales	109
3.1.1 Evaluación funcional actual de los tramos experimentales	110
▪ Resultados de PCI (índice de condición de pavimento)	110
➤ Ahuellamiento	112
➤ Índice de regularidad internacional (IRI)	114
➤ Macrotextura	115
➤ Fricción	116
➤ Índice de Fricción Internacional (IFI)	117
3.1.2 Evaluación de la capacidad estructural actual de los tramos	121
➤ Representatividad de las mediciones	121
➤ Cuenco de Deflexiones	124
➤ Parámetros cuantitativos de Horak	125
➤ Área normalizada del cuenco	128
➤ Parámetro AASHTO	129
3.2 Desempeño funcional y estructural de las mezclas asfálticas de prueba	135
3.2.1 Desempeño funcional actual de mezclas asfálticas	135
3.2.2 Desempeño estructural actual de mezclas asfálticas	136
3.3 Nivel de mejoramiento alcanzado por los tramos experimentales y las mezclas asfálticas	137
3.3.1 Nivel de mejoramiento de los tramos experimentales	137
▪ Evolución funcional de los tramos	138
▪ Evolución estructural de los tramos	140
▪ Evaluación de la susceptibilidad del tipo de subrasante	144
3.3.2 Nivel de mejoramiento de las mezclas asfálticas de prueba	147
▪ Evolución del desempeño funcional de mezclas asfálticas	147
▪ Evolución del desempeño estructural de mezclas asfálticas	149
▪ Resumen características	151
4. Conclusiones y recomendaciones	154
4.1 Conclusiones	154
4.2 Recomendaciones	156
4.3 Listado de Anexo	157
Bibliografía	170

Lista de figuras

	Pág.
Figura 0-1: Posiciones de las principales economías en Latinoamérica según IGC...	1
Figura 0-2: Composición de la red vial nacional.....	3
Figura 0-3: Estado de la red vial primaria pavimentada no concesionada.....	4
Figura 0-4: Estado de la red primaria pavimentada y no pavimentada administrada por el INVIAS	4
Figura 0-5: Transporte de carga por modo de transporte en porcentaje	5
Figura 0-6: Distribución de los recursos presupuestales comprometidos en el sector por modo de transporte.	5
Figura 0-7: Estado de la red vial Bogotá.	8
Figura 1-1: Subproductos del petróleo.	12
Figura 1-2: investigaciones sobre asfaltos modificados	18
Figura 1-3: Investigaciones sobre asfaltos según institución.....	19
Figura 1-4: Polímeros modificadores del asfalto	20
Figura 1-5: Curva para obtener el valor deducido deterioro piel de cocodrilo.....	29
Figura 1-6: Modelo matemático del cuarto de carro	33
Figura 1-7: Perfilómetro inercial	35
Figura 1-8: Partes de perfilómetro láser.....	36
Figura 1-9: Esquema cálculo perfilómetro inercial.....	36
Figura 1-10: Esquema equipo Merlín	37
Figura 1-11: Elementos empleados para la toma de textura mediante el método de círculos de arena	40
Figura 1-12: Esquema conceptual MPD	41
Figura 1-13: Componentes de la fricción neumático – pavimento	42
Figura 1-14: Variación de la fricción disponible con la velocidad de deslizamiento, para diferentes texturas superficiales	43
Figura 1-15: Curva Fricción vs Velocidad de deslizamiento	45
Figura 1-16: Esquema resumido de parámetros F_{60} y S_p	45
Figura 1-17: Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo	46
Figura 1-18: Lista de equipos que fueron calibrados para predecir el F_{60}	47

Figura 1-19:	Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento	47
Figura 1-20:	Interpretación de las zonas del diagrama de Fricción vs Macrotextura ..	48
Figura 1-21:	Parámetros estructurales para pavimentos flexibles	53
Figura 1-22:	parámetros estructurales para pavimentos flexibles	54
Figura 1-23:	Resistencia de pavimentos según $D_{m\acute{a}x}$ y $A_{N0.9}$	56
Figura 1-24:	Cuenco de deflexiones teórico y real	60
Figura 1-25:	Representación módulo de superficie	63
Figura 1-26:	Esquema módulo de superficie.....	64
Figura 1-27:	Pista de pruebas DRTM, Dinamarca	66
Figura 1-28:	Pista de pruebas IFSTTAR, Francia	67
Figura 1-29:	Actuador de impulso (Izquierda), MLS30 (Derecha)	68
Figura 1-30:	LINTRACK, Países bajos.....	68
Figura 1-31:	NORDIC-HVS, Finlandia y Suecia	69
Figura 1-32:	Pista de pruebas CEDEX, España.....	70
Figura 1-33:	Simulador de Vehículos Pesados (LANAMME)	70
Figura 1-34:	Carrusel de fatiga Universidad de los Andes	71
Figura 2-1:	Ubicación tramos de prueba	77
Figura 2-2:	Proceso metodológico	83
Figura 2-3:	Esquema de trabajo.....	84
Figura 2-4:	Equipo multifuncional MFV	87
Figura 2-5:	Deterioros Dynatest Explorer.....	87
Figura 2-6:	Ejemplo datos de entrada Paveair	88
Figura 2-7:	Esquema medición de ahuellamientos mediante perfilómetro	89
Figura 2-8:	Esquema datos Merlín	90
Figura 2-9:	Esquema Merlín	91
Figura 2-10:	Esquema de medición macrotextura.....	93
Figura 2-11:	Fotografía medición círculo de arena.....	94
Figura 2-12:	Esquema procedimiento círculo de arena.....	95
Figura 2-13:	Esquema conceptual MPD	96
Figura 2-14:	Fotografía medición péndulo ingles	98
Figura 2-15:	Nomograma para determinar la temperatura de la mezcla	101
Figura 2-16:	Esquema selección de cuenco representativo	102
Figura 2-17:	Ejemplo módulos de superficie	103
Figura 2-18:	Ajuste del cuenco de deflexiones y módulo de superficie	104
Figura 2-19:	Esquema ciclo de iteración para realizar el retrocálculo	105
Figura 3-1:	Resumen de deterioros superficiales de los pavimentos (2021)	111
Figura 3-2:	Resumen valor de Ahuellamiento evaluado mediante RSP	113
Figura 3-3:	Resultados IRI mediante equipo Merlín y RSP	114
Figura 3-4:	Valores de macrotextura (MTD).....	116
Figura 3-5:	Resumen valor de fricción evaluado mediante el péndulo británico	116
Figura 3-6:	IFI tramos experimentales	117

Figura 3-7:	Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Villa Luz	119
Figura 3-8:	Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Restrepo	119
Figura 3-9:	Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Puente Aranda.....	119
Figura 3-10:	Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Cundinamarca	120
Figura 3-11:	Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura tramos evaluados.	120
Figura 3-12:	Total de cuencos analizados Villa Luz	121
Figura 3-13:	Diferencias acumuladas tramo Villa Luz	122
Figura 3-14:	Cuenco de deflexión seleccionado Villa Luz sector homogéneo1	123
Figura 3-15:	Cuenco de deflexión seleccionado Villa Luz sector homogéneo 2	123
Figura 3-16:	Ejemplo Módulos de superficie Villa Luz.....	124
Figura 3-17:	Cuenco de deflexiones tramos de prueba.....	124
Figura 3-18:	Valores de la deflexión central de los cuencos representativos en los sectores homogéneos	125
Figura 3-19:	Valores del parámetro ICS (rodadura asfáltica) de los cuencos representativos en los sectores homogéneos.....	126
Figura 3-20:	Valores del parámetro IDB (capas intermedias) de los cuencos representativos en los sectores homogéneos.....	126
Figura 3-21:	Valores del parámetro IDC (subrasante) de los cuencos representativos en los sectores homogéneos.....	127
Figura 3-22:	Área normalizada de los cuencos representativos de los tramos experimentales.	129
Figura 3-23:	Módulo resiliente estimado de las subrasante de los sectores homogéneos	130
Figura 3-24:	Número estructural efectivo de los sectores homogéneos e índice estructural	131
Figura 3-25:	Índice de estado actual.....	132
Figura 3-26:	Clasificación parámetros funcionales.....	134
Figura 3-27:	Clasificación parámetros estructurales	135
Figura 3-28:	Módulos retro calculados de las capas de rodadura a 2021	137
Figura 3-29:	Resumen PCI promedio por tramos.....	138
Figura 3-30:	Resumen valor de Ahuellamiento evaluado en todas las mediciones ...	139
Figura 3-31:	Resumen valor del IRI evaluado en todas las mediciones	140
Figura 3-32:	Valores históricos de la deflexión central de los cuencos representativos .	141
Figura 3-33:	Valores históricos del parámetro ICS (rodadura asfáltica) de los cuencos representativos	142
Figura 3-34:	Valores históricos del parámetro IDB (capas intermedias) de los cuencos representativos	143
Figura 3-35:	Valores históricos del parámetro IDC (subrasante) de los cuencos representativos	144
Figura 3-36:	Invariante de esfuerzos en función de la profundidad	145
Figura 3-37:	Evolución de parámetros asociados al comportamiento de la capa de rodadura	148

Figura 3-38:	Evolución de Módulos retro calculados de la mezcla asfáltica	149
Figura 3-39:	Evolución del número estructural Ne estimado para las mezclas asfálticas	151

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 0–1: Puntaje por pilar del IGC 2018 – 2019 para Colombia.....	2
Tabla 0–2: Puntaje desglosado para las componentes del Pilar 2 IGC 2018-2019	3
Tabla 0–3: Kilómetros de red férrea activa e inactiva.....	5
Tabla 1–1: Características generales de los modificadores	15
Tabla 1–2: Estándares nacionales para la realización de ensayos y diseños de mezclas asfálticas en caliente	17
Tabla 1–3: Parámetros típicos de diseño en la Metodología Marshall definidos en función del tráfico	18
Tabla 1–4: Niveles de gravedad deterioros tipo A en la metodología VIZIR.....	25
Tabla 1–5: Niveles de gravedad deterioros tipo B en la metodología VIZIR.....	25
Tabla 1–6: Escala de clasificación de la condición del pavimento PCI	28
Tabla 1–7: Ejemplo de determinación del valor deducido	30
Tabla 1–8: Cálculo del Valor Deducido	30
Tabla 1–9: Clasificación de las irregularidades superficiales de un pavimento.....	31
Tabla 1–10: Clasificación de equipos de medida de perfil longitudinal	36
Tabla 1–11: Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad	45
Tabla 1–12: Características de algunos equipos para la medida de deflexiones de pavimentos	50
Tabla 1–13: Parámetros de cuenco de deflexión.....	52
Tabla 1–14: parámetros cualitativos de Horak.....	54
Tabla 1–15: parámetros cualitativos de Horak y Emery.....	55
Tabla 1–16: Características de resistencia en función del área normalizada y $D_{máx}$..	56
Tabla 1–17: Resumen de programas para la evaluación de retro cálculo de módulos	61
Tabla 2–1: Características de las adiciones empleadas.....	77
Tabla 2–2: Parámetros de diseño tramos experimentales.....	78
Tabla 2–3: Caracterización geotécnica y resumen del diseño estructural del pavimento	79
Tabla 2–4: Condiciones de medición	85
Tabla 2–5: Normas de referencia.....	99
Tabla 2–6: Temperatura media mensual, TMM.....	100
Tabla 2–7: Temperatura mezcla asfáltica tramos.....	101

Tabla 2-8:	Parámetro empleados en el retrocálculo	104
Tabla 2-9:	Valores índice de estado	107
Tabla 3-1:	Exclusiones de datos realizadas en las mediciones	110
Tabla 3-2:	Determinación de las unidades de muestra.....	111
Tabla 3-3:	Resultados PCI	112
Tabla 3-4:	Resumen valores de fricción a diferentes velocidades	118
Tabla 3-5:	Máximas velocidades de operación.....	118
Tabla 3-6:	Sectores de análisis defletometría.....	122
Tabla 3-7:	Resumen indicadores de Horak de los sectores homogéneos	128
Tabla 3-8:	Valores empleados para el cálculo del Índice de estado	132
Tabla 3-9:	Clasificación cualitativa de parámetros funcionales de los pavimentos	133
Tabla 3-10:	Clasificación cualitativa parámetros estructurales.....	134
Tabla 3-11:	Fechas de mediciones realizadas en los tramos de prueba.....	138
Tabla 3-12:	Invariante de esfuerzos tramos evaluados.....	146
Tabla 3-13:	Relación entre esfuerzos en la superficie y en la subrasante.....	146
Tabla 3-14:	Número estructural de las capas asfálticas.....	150
Tabla 3-15:	Clasificación parámetros estructurales y funcionales.....	151

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
M	Valor mayor de los valores deducidos	1	Ecuación 1.6
MPD	Mean Texture Depth	1	Ecuación 1.9
NP	Nivel Promedio	1	Ecuación 1.9
P1	Nivel máximo 1° mitad del segmento	1	Ecuación 1.9
P2	Nivel máximo 2° mitad del segmento	1	Ecuación 1.9
VD	Valor Deducido	1	Ecuación 1.3
VDC	Valor Deducido Corregido	1	Ecuación 1.5
VDT	Valor Deducido Total	1	Ecuación 1.7

Abreviaturas

Abreviatura	Término
ASTM	American Society for Testing and Materials
CDR	Coficiente de Resistencia al Deslizamiento
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ECP	Envejecimiento a Corto Plazo
ELP	Envejecimiento a Largo Plazo
ETD	Estimated Texture Depth
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano
IFI	Índice de Fricción Internacional
IGC	Índice de Competitividad Global
IGG	índice de Gravedad Global
INV	Instituto Nacional de Vías
INVIAS	Instituto Nacional de Vías
IRI	Índice Regularidad Internacional
IRRE	International Road Roughness Experiment
MFV	Multifunctional Vehicule
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MPD	Mean Texture Depth

Abreviatura	Término
PCI	Pavement Condition Index
QI	Quarter-car Index
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
RMSVA	Root Mean Square Vertical Acceleration
RSP	Road Surface Profiler
SARA	Saturados, Aromáticos, Resinas y Afáltenos
SHRP	Strategic Highway Research Program
SV	Slope Variance
UMV	Unidad de Malla Vial
UV	Ultravioleta
WRI	Western Research Institute

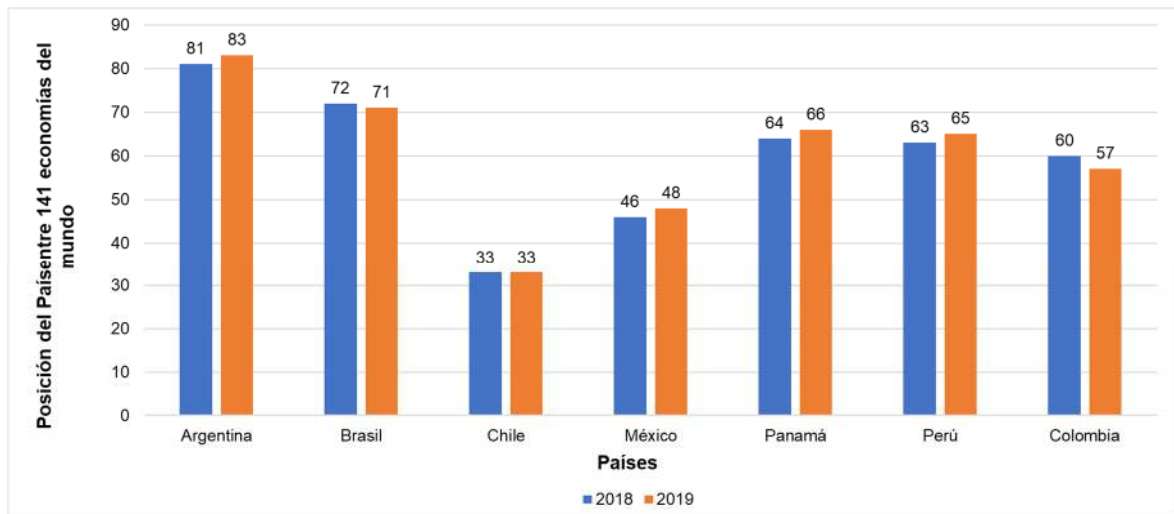
Introducción

- **Contexto general**

La densidad y calidad de la infraestructura vial es de gran importancia para el desarrollo de las regiones. El transporte de bienes facilita e influye directamente en la calidad de vida de las comunidades dado que está relacionada con la competitividad de cada nación.

De acuerdo con el índice de competitividad Global (IGC) del Foro Económico Mundial, para el 2019 Colombia se ubicó en la posición 57 entre 141 economías del mundo, con un puntaje de 62,7 (Mintransporte, 2021). En la Figura 0-1 se muestra la posición que ocupan algunas de las principales economías en Latinoamérica de acuerdo con el (IGG), en donde se muestra el puesto de cada país entre el total de países evaluados (140 países evaluados 2018 y 141 países en el 2019).

Figura 0-1: Posiciones de las principales economías en Latinoamérica según IGC



Fuente : (Mintransporte, 2021)

En la Tabla 0–1 se observa la calificación del Índice de competencia Global para Colombia en el año 2018 y 2019, discriminados por cada uno de los pilares evaluados, las mayores puntuaciones obtenidas fueron para los ítems salud y estabilidad macroeconómica mientras que la puntuación más baja de toda la evaluación correspondió a la “Capacidad de innovación” (Mintransporte, 2021).

El pilar del IGC para Colombia en el 2019 que califica las condiciones de la Infraestructura, y que representa la competitividad del país en términos de transporte, se encuentra en el puesto 81 (con 64 puntos) entre las 141 economías del mundo analizadas (Tabla 0–1). Adicionalmente se puede apreciar en la Tabla 0–2 que los aspectos en los que se encontró mayor falencia en la en la calificación del IGG están relacionados con la baja capacidad de transporte férreo y el relacionado con la calidad de las carreteras, estos aspectos requieren de atención prioritaria en los planes de inversión del estado colombiano, de investigación y de implementación de soluciones adecuadas, de modo que se contribuya al mejoramiento de sus indicadores en infraestructura, de la economía y de la competitividad del país.

Tabla 0–1: Puntaje por pilar del IGC 2018 – 2019 para Colombia

Descripción	2018		2019	
	Posición/países	Puntaje ICG	Posición/países	Puntaje ICG
Concepto	60/140	62	57/141	63
	2018		2019	
Ítem del Índice de Competitividad	Posición	Puntaje ICG	Posición	Puntaje ICG
Instituciones	89	50	92	49
Infraestructura	83	63	81	64
Adopción de las TIC	84	47	87	50
Estabilidad macroeconómica	56	87	43	90
Salud	35	91	16	95
Capacidades	80	60	80	60
Mercado de bienes	85	54	90	53
Mercado laboral	80	58	73	59
Sistema financiero	53	64	54	65
Tamaño del mercado	37	66	37	67
Dinamismo de negocios	49	64	49	64
Capacidad de innovación	73	36	77	36

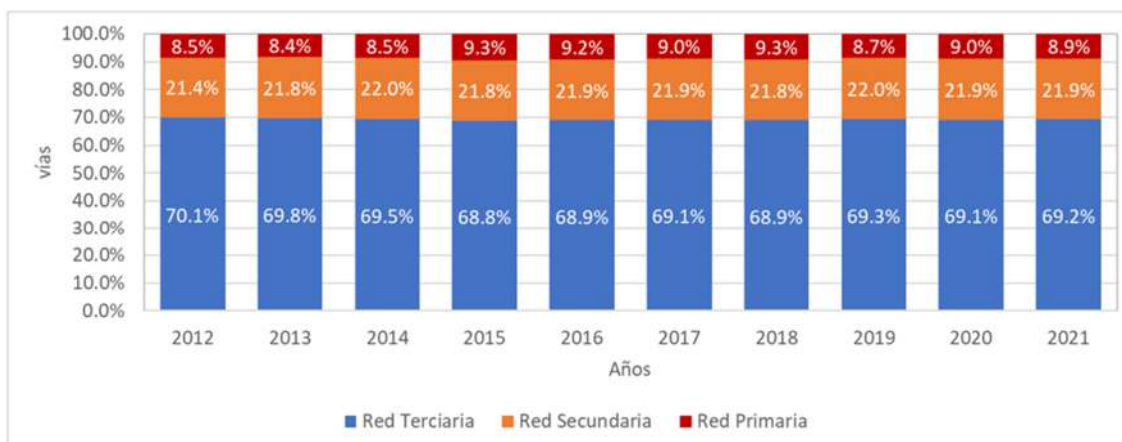
Fuente : (Mintransporte, 2021)

Tabla 0-2: Puntaje desglosado para las componentes del Pilar 2 IGC 2018-2019

Componentes del Pilar 2 Infraestructura	2018		2019	
	Posición	Puntaje	Posición	Puntaje
2.01 Índice de conectividad de carreteras (0-100)	97	47.9	97	65.4
2.02 Calidad de las carreteras (1-7)	102	3.3	104	3.4
2.03 Densidad de la red ferroviaria (km /1000 km)	92	1.5	89	1.9
2.04 Eficiencia de los servicios de trenes (1-7)	125	1.8	99	1.7
2.05 Conectividad aeroportuaria (puntaje)	31	144.4	31	144.4
2.06 Eficiencia de servicios de transporte aéreo (1-7)	80	4.4	78	4.5
2.07 Índice de conectividad de envío de línea (0-100)	34	45	33	50.1
2.08 Eficiencia de los servicios portuarios (1-7)	72	4	72	4.1

Fuente : (Mintransporte, 2021)

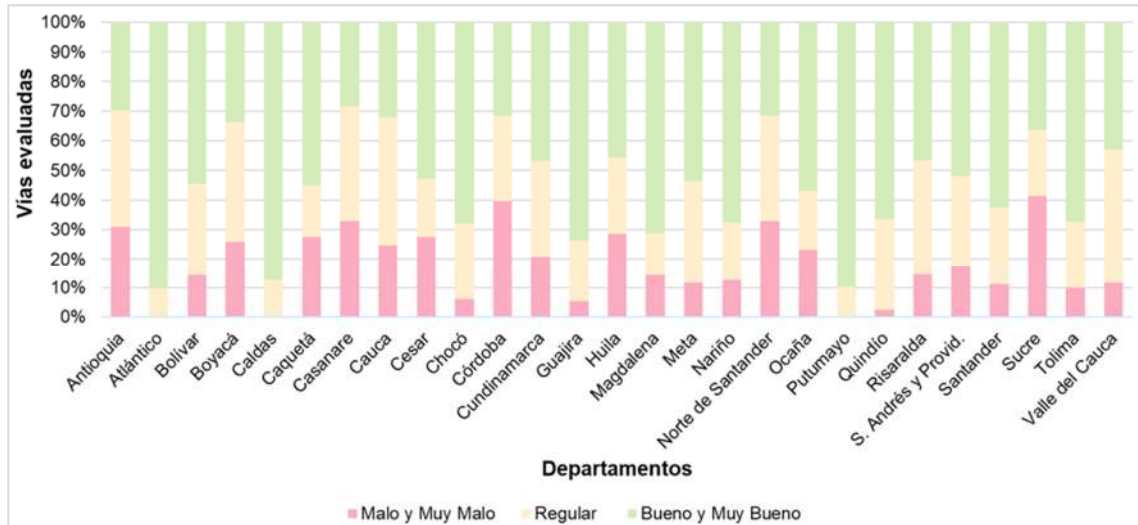
La mayor parte de la red vial colombiana existente se encuentra compuesta por vías de la red secundaria y terciaria. La red vial en Colombia cuenta con cerca de 205,745 km de vías y se compone por redes primarias en un 9%(18,323km), secundarias en un 22% (45,137km) y terciarias en un 69% (142,284km), según el Anuario Nacional de transporte del ministerio de transporte para el 2021 (Mintransporte, 2021). En la Figura 0-2 se muestra una evolución de las vías nacionales entre 2012 y 2021.

Figura 0-2: Composición de la red vial nacional

Fuente : (Mintransporte, 2021)

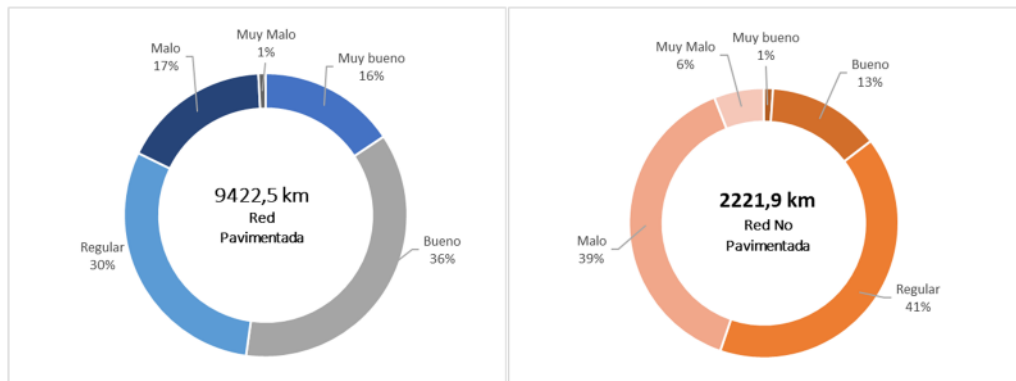
Las vías existentes de la red vial primaria del país se encuentran en estado regular a malo. En la (Figura 0-3), se muestra un resumen de la condición de la red primaria pavimentada y en la Figura 0-4 se puede ver la condición de la red vial administrada por el INVIAS.

Figura 0-3: Estado de la red vial primaria pavimentada no concesionada



Fuente : (Mintransporte, 2021)

Figura 0-4: Estado de la red primaria pavimentada y no pavimentada administrada por el INVIAS



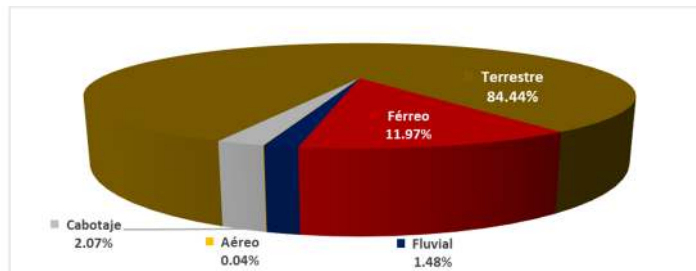
Fuente : (Mintransporte, 2021)

Una de las principales metas en materia de infraestructura es mejorar la conexión entre diferentes medios de transporte y aumentar la cobertura y calidad no solo de las carreteras sino también de las vías férreas, los puertos y aeropuertos. En la actualidad, la mayor parte del transporte de mercancías y pasajeros se realiza por medio terrestre, tal como se puede ver en la Figura 0-5. Adicionalmente, en la Tabla 0–3, se indica que de los 3528 kilómetros de red férrea existente solo el 36% se encuentra en operación (DNP, 2018).

Tabla 0-3: Kilómetros de red férrea activa e inactiva

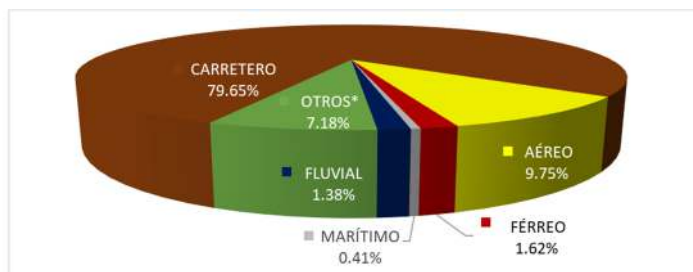
Administrador	Red en Operación (km)	Red Inactiva (km)
ANI	1,077	533
INVIAS	5	1729
Uso Privado	184	0
Total	1266	2262

Fuente : (Mintransporte, 2021)

Figura 0-5: Transporte de carga por modo de transporte en porcentaje

Fuente : (Mintransporte, 2021)

Pese a que se busca tener un adecuado desempeño en los diferentes modos de transporte a nivel nacional la inversión en infraestructura se encuentra principalmente enfocada a las obras viales con un 84.44% de la inversión y sectores como el férreo solo reciben un 11.97% de la inversión total, sin embargo la calidad de las vías existentes hace que los productos movilizados generen unos costos adicionales altos por su transporte terrestre dentro del país (Quiroga, 2019). Adicionalmente sectores como el férreo del cual depende un porcentaje importante del transporte de carga no reciben una proporción tan grande de la inversión.

Figura 0-6: Distribución de los recursos presupuestales comprometidos en el sector por modo de transporte.

Fuente : (Mintransporte, 2021)

Actualmente en Colombia, se están ejecutando proyectos de infraestructura vial de gran envergadura, como las concesiones de cuarta y quinta generación con alto nivel de inversión en un largo periodo de tiempo, por lo tanto, tener un conocimiento adecuado de los diferentes materiales y su desempeño en el tiempo puede ayudar a la construcción de vías más durables y la disminución de costos de inversión, tanto en mantenimiento como en rehabilitación. Disponer de estructuras más durables implica un menor impacto ambiental y de costos de todos los productos debido a la disminución en gastos de transporte y explotación de los recursos naturales, lo cual puede generar inversión en otros rubros que contribuyen al desarrollo del país tales como salud, educación, cultura e infraestructura y que mejoran la calidad de vida de las comunidades.

Debido al gran tamaño de las redes viales es necesario la adopción de nuevas tecnologías no destructivas para la evaluación de pavimentos, estas permiten recolectar información de forma rápida con el fin de tomar decisiones respecto a la infraestructura del pavimento y así garantizar seguridad y eficiencia en la movilidad de los usuarios. Esta adopción, permite evaluar la condición del pavimento de forma periódica y establecer mantenimientos, rehabilitación y/o reemplazo de estas estructuras.

La estrategia de investigación basada en el uso de los tramos experimentales son una herramienta efectiva para el análisis del desempeño de los materiales en el tiempo. Los tramos experimentales permiten establecer propiedades tales como la resistencia, el cambio en las condiciones de comodidad, la sensibilidad de las diferentes variables que intervienen en el deterioro de los pavimentos, sin embargo, es necesario adaptar las investigaciones a las condiciones locales de operación, ya que el desempeño de los materiales en los pavimentos depende de las condiciones de la zona.

Entre las investigaciones desarrolladas mediante tramos de prueba a escala real se destacan la del FHWA 1996, la SHRP2 y otras a nivel local colombiano. El ensayo FHWA 1996, fue iniciado en el año 1987 en Estados Unidos, la cual también es conocida como la LTPP (Long Term Pavement Performance Program), se lleva a cabo dentro del marco SHRP (Strategic Highway Research Program) y contiene aproximadamente 2000 tramos experimentales. El programa de investigación SHRP2 se centró en cuatro áreas

estratégicas: seguridad, renovación, confiabilidad y capacidad, fue llevado a cabo entre 2006 y 2015. Otras investigaciones locales fueron realizadas por el instituto de desarrollo urbano (IDU), la Universidad Javeriana con la implementación del carrusel de pruebas.

El presente estudio evalúa la evolución de las características funcionales y estructurales de cuatro tramos experimentales construidos bajo condiciones similares y bajo el tránsito real de operación, en esta investigación se busca describir el desempeño de las características mecánicas de las mezclas y para esto se seleccionaron métodos no destructivos que determinan la capacidad estructural mediante deflectómetro de impacto, la regularidad del perfil (IRI) mediante perfilómetro láser y método Merlín, la condición de fricción mediante péndulo inglés y el índice de condición del pavimento mediante auscultación visual de las patologías presentes en el pavimento mediante el uso del equipo (MFV). Los tramos objeto de evaluación se construyeron en el año 2015 dentro del marco de un contrato celebrado entre la Universidad Nacional y la Unidad de Malla Vial de Bogotá (UAERMV o UMV), con el fin de evaluar el desempeño de mezclas asfálticas para ser empleadas como capas de rodadura.

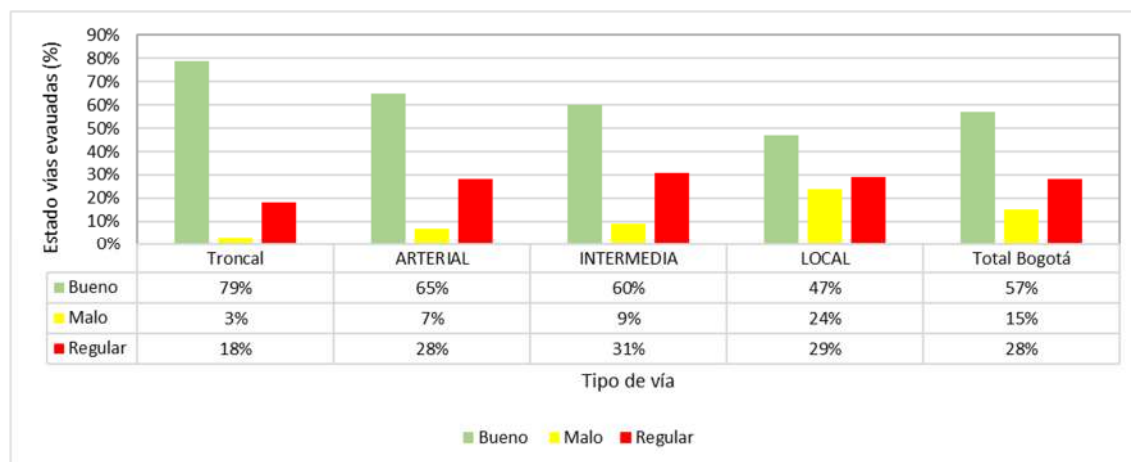
- **Planteamiento del problema**

La malla vial local de la ciudad de Bogotá se ha caracterizado, por lo general, como una red extensa de vías que presentan baja durabilidad y deficiencias en la calidad, evidenciado vías con niveles de alto deterioro, funcional y estructural. Las vías de la malla vial local de esta ciudad mantienen condiciones entre regular y malo (43%, año 2019), tal como se evidencia en la Figura 0-7, tomada a manera de ejemplo (UMV, 2019). Ante la necesidad de obtener mezclas asfálticas con mayor durabilidad, en el 2015 se llevó a cabo una investigación para el diseño e implementación de alternativas de solución, cuyo resultado incluyó la construcción de cuatro (4) tramos experimentales y el seguimiento del desempeño en el corto plazo de la operación del orden de un año las vías de los tramos experimentales están ubicadas en cuatro sitios diferentes de la malla vial local de la ciudad (UAERMV y Universidad Nacional de Colombia, 2015; Betancourt Cardozo, 2018). Los tramos experimentales tienen una extensión de 80 a 100 m de longitud, ancho de calzada de aproximadamente de 8.0 metros, fueron realizados a escala natural bajo condiciones

reales de tránsito y clima, y bajo condiciones similares, para los materiales, la producción de mezclas asfálticas y los procesos constructivos.

En aras de profundizar y evaluar los desempeños, funcional y estructural, de esos tramos experimentales y de las mezclas asfálticas contenidas que están en prueba, en este trabajo se precisa realizar la evaluación del estado y de la evolución del desempeño, de modo que incluya la medición de parámetros físico-mecánicos convencionales para las vías en operación y del uso de tecnologías de alto rendimiento no destructivas (perfilómetros láser RSP, vehículo multifuncional MFV, deflectómetro FWD). Para evaluar el desempeño de los materiales que hacen parte de los cuatro tramos de prueba citados en esta investigación se realizará un comparativo de las condiciones iniciales, y una evaluación funcional y estructural; la evaluación funcional se realizará principalmente a partir de los resultados del coeficiente de fricción y del índice de regularidad internacional (IRI) principalmente, mientras que la evaluación estructural, se hará mediante deflectometría, la estimación de los módulos elásticos de los materiales por retrocálculo y la medición de ahuellamientos.

Figura 0-7: Estado de la red vial Bogotá.



Fuente : (UMV, 2019)

- **Objetivo general**

Evaluar la evolución en el desempeño de cuatro (4) tramos de vías experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba que contienen, después de cinco (5) años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

- **Objetivos Específicos**

- ❖ Establecer el desempeño funcional y estructural, mediante el uso de ensayos no destructivos, de cuatro tramos experimentales de pavimentos flexibles después de cinco (5) años de operación en la malla vial de Bogotá
- ❖ Evaluar el desempeño actual de las mezclas asfálticas de prueba usadas como rodaduras en los cuatro tramos viales experimentales y que se encuentran en operación desde hace cinco (5) años en Bogotá
- ❖ Establecer el nivel de efectividad en el mejoramiento alcanzado por las mezclas asfálticas de prueba, usadas en los cuatro tramos experimentales, que se encuentran en operación desde hace cinco (5) años en la malla vial de Bogotá

- **Organización del documento**

Este trabajo de investigación se presenta en un documento que se organiza de la siguiente forma:

Capítulo 1, contiene el marco conceptual con las bases conceptuales necesarios para el correcto entendimiento del documento relacionado con mezclas asfálticas modificadas, características funcionales y estructurales del pavimento, características de tramos de prueba y modelos de deterioro de pavimentos asfálticos.

Capítulo 2, se describe la metodología empleada, para llevar a cabo la toma de información, las calibraciones realizadas, los diferentes equipos empleados para la auscultación del pavimento y los cálculos realizados con el fin de obtener los resultados de los parámetros que describen la calidad y el desempeño del pavimento, así como también las normas asociadas a los procedimientos aplicados.

Capítulo 3, se muestran los resultados de las condiciones actuales de la estructura del pavimento de acuerdo a las características estructurales y funcionales medidas en cada uno de los cuatro (4) tramos experimentales, se incluye una evaluación comparativa de la evolución de los indicadores en cada uno de los tramos experimentales y del desempeño

de la mezcla asfáltica y por último se realiza un modelo sobre la evolución de estos tramos en el tiempo.

Capítulo 4, contiene las conclusiones obtenidas en la presente investigación así como las recomendaciones realizadas para el desarrollo de futuras investigaciones.

1. Marco conceptual

En este capítulo se exploran los principales conceptos a partir de los cuales se desarrolla la presente investigación.

1.1 Asfalto

Según el instituto del asfalto, el asfalto puede definirse como un material cementante fuerte, fácilmente adhesivo, altamente impermeable, y durable. Es una sustancia de comportamiento plástico que proporciona una flexibilidad controlable a las mezclas de agregados minerales a las que se adiciona. (Garnica Anguas, Flores Flores, Gómez López, & Delgado Alamilla, 2005).

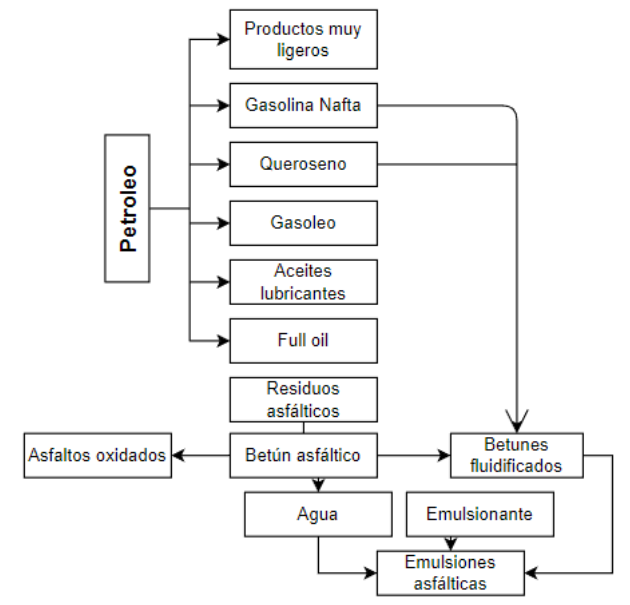
El asfalto se suele comportar como un sólido o semi sólido en condiciones ambientales normales y puede comportarse como un fluido viscoso ante un aumento en la temperatura debido a su característica reológica visco-elastoplástico (Salamanca Arce, 2007). El asfalto es un hidro carburado de color negro con propiedades cementantes, que varía ampliamente en consistencia con la temperatura, y se presenta entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperatura ambiental. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual le permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.

El asfalto sufre alteraciones físicas y químicas cuando es calentado o envejecido por periodos prolongados. Tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento. (IDU, 2011).

1.1.1 Obtención del asfalto

El asfalto puede ser obtenido de forma natural mediante la explotación de yacimientos naturales, en los cuales se encuentran asfaltos con altos porcentajes de impurezas y una alta variabilidad, además se puede obtener como producto de la destilación del crudo como ilustra la Figura 1-1 se separan sus componentes que presentan diferente punto de ebullición, en donde el producto más volátil es el gas combustible, a medida que se requiere mayor temperatura para su extracción se obtiene un producto menos volátil y presenta un aumento de su viscosidad siendo el último producto en este proceso el bitumen, entre los que se encuentra el asfalto (Miro Recasens, 1994). Los crudos del petróleo de composición nafténica, medianos y pesados son utilizados para la obtención de asfalto mediante los procesos de refinación.

Figura 1-1: Subproductos del petróleo.



Fuente: (Miro Recasens, 1994)

1.1.2 Principales propiedades del asfalto

Las propiedades del asfalto se pueden plantear en términos generales en propiedades físicas, mecánicas y químicas. Entre las propiedades físicas más importantes del cemento asfáltico se destacan la durabilidad, la adhesión y la cohesión, la susceptibilidad al

endurecimiento y al envejecimiento. La durabilidad, definida como la capacidad de mantener las características físicas y mecánicas con el tiempo, a pesar de que el asfalto sea expuesto a condiciones normales de degradación y envejecimiento; La adhesión y la cohesión, que hacen referencia, la primera, a la capacidad del cemento asfáltico para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación y, la segunda, a la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado. La susceptibilidad al endurecimiento y al envejecimiento, fenómenos que son causados por una combinación de factores físicos y químicos entre los que se destacan la acción del oxígeno (oxidación) y la volatilización. (Rondón Mogollón, Envejecimiento de asfaltos y mezclas asfálticas: revisión teórica, 2021).

La susceptibilidad a la temperatura es una de las propiedades más importantes del asfalto, ya que hace referencia a la naturaleza termoplástica del mismo y es la responsable de su comportamiento como un sólido elástico a bajas temperaturas o velocidades de carga altas, y como un fluido viscoso a altas temperaturas o velocidades de carga bajas. Esta última propiedad varía entre asfaltos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia (García Melo W. , 2013).

La determinación de cada una de estas propiedades ha ido evolucionando con el desarrollado de nuevos equipos, la implementación de ensayos y los ajustes a los rangos de trabajo establecidos para la producción de asfaltos.

De acuerdo con Arenas (2006), las principales propiedades físicas del asfalto se clasifican en cinco (5) grandes grupos de ensayos para medir la consistencia, la durabilidad, pureza seguridad y otros ensayos, los cuales están relacionados con las propiedades anteriormente mencionadas. Estos grupos de ensayos se detallan a continuación:

- Consistencia:
- Durabilidad:
- Pureza: los cementos asfálticos están constituidos casi siempre por bitumen puro, el cual corresponde a compuestos orgánicos solubles completamente en disulfuro de carbono. Sin embargo, puede existir un porcentaje pequeño de sales, metales y compuestos orgánicos, no solubles, en el asfalto obtenido de refinería, los cuales

pueden llegar a ser nocivos para el comportamiento y durabilidad del mismo. Para definir el grado de pureza del asfalto se utiliza el ensayo de solubilidad en tricloroetileno definido por la norma (INV E 713).

- Seguridad: si el cemento asfáltico es calentado a temperaturas altas, se producen vapores que en presencia de alguna chispa se pueden incendiar. El punto de inflamación, de chispa o flash point es la temperatura hasta la cual el cemento asfáltico puede ser calentado sin peligro de incendio en presencia de una chispa; esta temperatura es inferior a la correspondiente al punto de llama y es necesario conocerla y controlarla por razones de seguridad. La determinación del punto de chispa se realiza con el ensayo de la copa de Cleveland (INV E 709).
- Otros ensayos:

Estas propiedades físicas son tenidas en cuenta en el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, de conformidad con especificaciones y normas de ensayo, nacionales e internacionales, sin embargo adolecen del control de las propiedades reológicas y las químicas, dado que todas las propiedades físicas del asfalto dependen de su composición química. Las propiedades reológicas se evidencian cuando influyen simultáneamente en los procesos de carga durante operación, tales como la frecuencia o velocidad de carga, la temperatura y la deformación por corte o por compresión; las propiedades reológicas se establecen en la medición de ellos módulos de corte y ángulo de fase, en combinación con los factores influyentes. Entre las propiedades químicas, usuales en investigación del asfalto, se destacan la composición en fragmentos estructurales (resonancia magnética nuclear), composición de radicales libres (resonancia magnética electrónica), la composición de grupos funcionales (infrarrojo), la composición elemental de compuestos orgánicos e inorgánicos (análisis elemental) y el cambio de masas (termogravimetría), entre las más destacadas.

1.1.3 Asfaltos modificados con polímeros

El uso de asfaltos modificados permite obtener mezclas asfálticas de mayor durabilidad y comportamiento bajo las cargas de tránsito. La tecnología de asfaltos modificados se emplea desde hace varios años en diferentes países del mundo. Algunos de los modificadores empleados comúnmente se muestran en la Tabla 1–1 (Figueroa Infante, Reyes Lizcano, & Hernandez Barrera, 2007).

Tabla 1–1: Características generales de los modificadores

Polímero	Características
Termoplásticos	1. Se reblandecen con calor, pueden ser solubles
	2. Al enfriarse se dejan moldear sin perder propiedades
	3. Polímeros lineales. Forman pequeñas ramificaciones.
	4. Polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo, poliestireno, copolímero de etileno-acetato de vinilo EVA, poliamidas. Etc.
Termoendurecidos	1. Formados por la base y el endurecedor. No se puede transformar después de deformarse.
	2. Resinas fenólicas, epoxi, de poliéster, de poliuretano
Elastómeros o cauchos	1. Polímeros naturales, amorfos
	2. Para conseguir las propiedades elásticas se debe vulcanizar
	3. Caucho natural, caucho etilo propileno, butadieno-estireno (SBR), de policloropeno, elastómeros termoplásticos de butadieno-estireno (SBS).

Fuente: (Figueroa Infante, Reyes Lizcano, & Hernandez Barrera, 2007).

Existe una gran variedad de modificadores para el asfalto, diferentes a los polímeros, entre los que se destacan los llenantes activos o los compuestos orgánicos. Entre los llenantes activos son comunes el cemento hidráulico, cal hidratada y negro de humo, y entre los de origen orgánico, están los compuestos de cadena larga, del tipo cera.

1.2 Mezclas asfálticas

Existen varias clasificaciones de mezclas asfálticas, de acuerdo con el parámetro considerado para establecer las diferencias. Así, conforme las fracciones de agregado pétreo empleado en la elaboración de la mezcla, éstas se dividen en mástico asfáltico; mortero asfáltico; macadam asfáltico; y concreto asfáltico. Si la temperatura es considerada, se dividen en mezclas en frío y mezclas en caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; , semidensas o semicerradas; o abiertas y porosas, dependiendo de si tienen menos del

6%, entre el 6 y el 12%, entre el 12 y el 18% o más del 20%, de vacíos de aire respectivamente. Otra clasificación se establece de acuerdo con la estructura de los agregados pétreos; así, se tienen mezclas con o sin esqueleto mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas (Garnica, Florez, Delgado, & Gómez, 2005). La mezcla asfáltica en caliente se tipifica así, porque tanto el agregado pétreo, como el asfalto, se calientan antes del mezclado; esta mezcla compuesta por un 93 a 97 % de agregado pétreo y por un 3 a 7 % de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla.

1.2.1 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto. La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento (Garnica, Florez, Delgado, & Gómez, 2005). Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado, las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica en caliente son:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas
- Resistencia al daño por humedad
- Resistencia al deslizamiento
- Trabajabilidad
- Grado de desempeño (PG)

1.2.2 Diseño Marshall y requerimientos de diseño vigentes en Colombia

En la Tabla 1–2 se muestra un compendio de las normas colombianas aplicables al diseño de mezclas asfálticas, tanto para los agregados y el asfalto que la componen como para la mezcla asfáltica.

Tabla 1–2: Estándares nacionales para la realización de ensayos y diseños de mezclas asfálticas en caliente

Material	Referencia	Título
Agregados	INV E 128	Determinación de la gravedad específica de los suelos y del llenante mineral.
	INV E 133	Equivalente de arena.
	INV E 218	Desgaste en Máquina de los Ángeles.
	INV E 220	Sanidad de agregados (sulfato de sodio).
	INV E 222	Gravedad específica y absorción de agregados finos.
	INV E 223	Gravedad específica y absorción de agregados gruesos.
	INV E 227	Porcentaje de caras fracturadas.
	INV E 230	Índices de aplanamiento y alargamiento.
Asfalto	INV E 234	Reacción potencial álcali-sílice.
	INV E 702	Ductilidad de materiales asfálticos.
	INV E 706	Penetración de materiales asfálticos.
	INV E 712	Punto de ablandamiento.
	INV E 717 (modificado)	Curva Reológica a partir del Viscosímetro Rotacional Brookfield.
	INV E 721	Pérdida de masa por calentamiento en película delgada (163 C, durante 5 horas), penetración del residuo e incremento en el punto de ablandamiento.
Mezclas	INV E 724	Índice de penetración.
	INV E 725	Susceptibilidad al agua de mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta.
	INV E 748	Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall.
	INV E 749	Ensayo de tensión indirecta para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas.
	INV E 799	Análisis volumétrico de mezclas asfálticas en caliente compactadas.
	INV ART. 400	Disposiciones generales para la ejecución de riegos de imprimación, liga y curado, tratamientos superficiales, sellos de arena asfalto, lechadas asfálticas, mezclas en frío y en caliente y reciclado de pavimentos asfálticos.
INV ART. 450	Mezclas asfálticas en caliente (Concreto asfáltico y Mezcla de alto módulo).	

Fuente: (García Melo W. , 2013)

El método también provee información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento (Sequeira Rojas & Cervantes Calvo, 2014). El diseño de la mezcla asfáltica seleccionado debe ser aquel que cumpla de la manera más económica con todos los parámetros de diseño establecidos en la metodología Marshall, en la Tabla 1–3 se muestran parámetros típicos del diseño Marshall en función del tráfico.

Tabla 1-3: Parámetros típicos de diseño en la Metodología Marshall definidos en función del tráfico

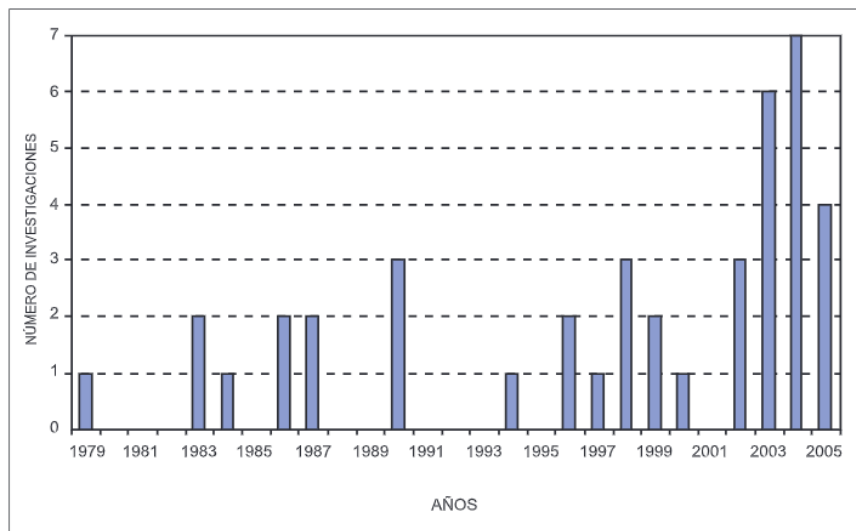
Parámetro de diseño	Tráfico liviano (ESAL<10 ⁴)	Tráfico medio (10 ⁴ <ESAL<10 ⁶)	Tráfico Pesado (ESAL>10 ⁶)
Compactación (número de golpes por cada lado del espécimen)	35	50	75
Estabilidad, N (kgf)	3.336 (450)	5.338 (550)	8.006 (800)
Flujo método Marshall, 1/100 cm	8 a 18 (20 a 45)	8 a 16 (20 a 40)	8 a 16 (20 a 35)
Vacios al aire, %	3 a 5	3 a 5	3 a 5
Vacios llenos con asfalto (VFA), %	70 a 80	65 a 78	65 a 75

Fuente: (Asphalt Institute, 2007)

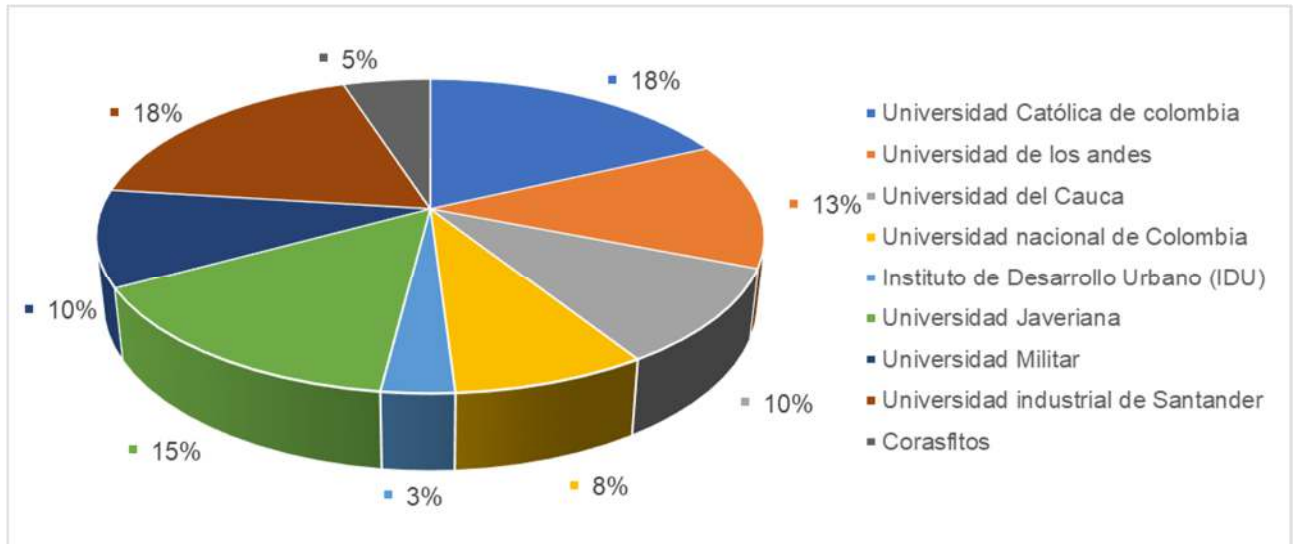
1.2.3 Mezclas asfálticas modificadas recientemente usadas en Colombia

En la Figura 1-2 se puede observar el número de investigaciones por año que se realizaron en Colombia sobre asfaltos modificados (Rondón Quintana, Rodríguez Rincón, Reyes Lizcano, & Real Triana, 2012) y a partir de la Figura 1-3 se muestra la distribución de estas investigaciones en diferentes instituciones.

Figura 1-2: investigaciones sobre asfaltos modificados

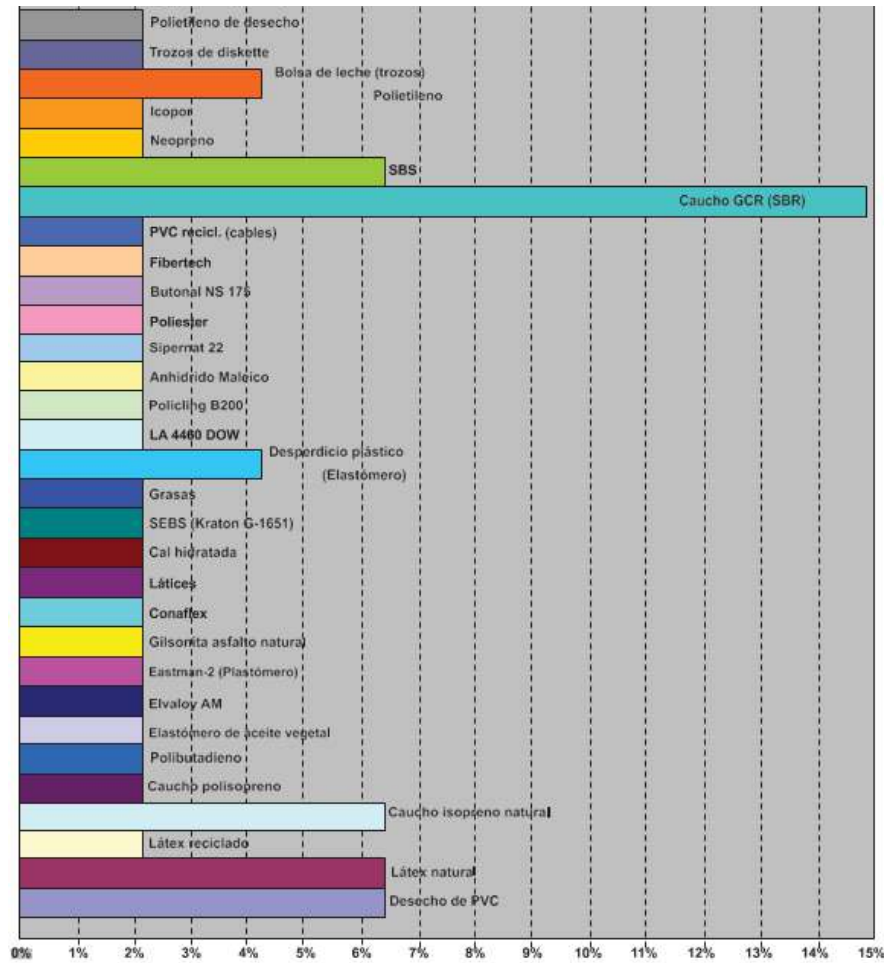


Fuente: (Rondón Quintana, Rodríguez Rincón, Reyes Lizcano, & Real Triana, 2012)

Figura 1-3: Investigaciones sobre asfaltos según institución

Fuente: (Rondón Quintana, Rodríguez Rincón, Reyes Lizcano, & Real Triana, 2012)

Figura 1-4: Polímeros modificadores del asfalto



A continuación se listan algunas de las investigaciones recientes realizadas en Colombia sobre mezclas asfálticas modificadas.

- **Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente:**

En esta investigación se identificaron dificultades de la incorporación del Icopor (desechos reciclados) y el asfalto, así como limitantes en cuanto al control de calidad y la temperatura en el uso de esta adicción. Se obtuvo una mejora en la estabilidad en el ensayo Marshall así como un aumento del módulo dinámico de las mezcla en todas las frecuencias y temperaturas ensayadas (Figueroa Infante, Reyes Lizcano, & Hernandez Barrera, 2007).

- **Asphalts and modified dense asphalt mixtures with rubber of military boots :**

Evalúa en laboratorio las propiedades físicas y reológicas del Cemento Asfáltico (CA) modificado por vía húmeda con diferentes contenidos de caucho (C) proveniente de botas militares usadas. Fueron realizados ensayos de laboratorio de penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, viscosidad, envejecimiento a corto plazo y determinación de los parámetros reológicos en el reómetro de corte dinámico DSR. Además, se evaluó el desempeño mecánico de una mezcla asfáltica densa convencional (control) y de tres mezclas asfálticas densas con cemento asfáltico modificado con diferentes contenidos de caucho, adicionado por vía húmeda. Como resultado se obtuvo un aumento significativo de la rigidez en función del contenido de caucho, tanto las mezclas de control como las adicionadas con caucho presentaron el mismo valor de porcentaje óptimo de asfalto y se presentó un aumento de la rigidez y módulo dinámico (Lozano, Molina Gómez, & Ruge, 2020).

- **Mezcla asfáltica modificada con agregados livianos. Nueva alternativa para el desarrollo vial**

La granulometría para la mezcla asfáltica tipo MDC-19 fue modificada con agregados livianos de arcilla, en la fracción retenida en el tamiz de ½" y compactada por "amasado", haciendo uso de un compactador giratorio. Los agregados livianos de arcilla presentaron un buen comportamiento, ante los ensayos de propiedades intrínsecas típicamente realizados a agregados pétreos convencionales. Para los ensayos realizados, los agregados livianos cumplen con lo establecido en la normatividad vigente colombiana, exceptuando el ensayo de desgaste por máquina de los ángeles. Aun siendo un material de forma redondeada, los agregados livianos de arcilla presentaron una adherencia correcta tanto con el ligante asfáltico, como dentro de la mezcla asfáltica. La mezcla compactada por amasado presentó mejor desempeño ante tres de los cuatro parámetros que fueron evaluados (estabilidad, relación estabilidad/flujo y peso unitario), con relación a la mezcla compactada por golpe (Jerez Rodríguez, 2020).

- **Evaluación del desempeño mecánico de mezclas asfálticas con escorias de acero:**

Se realizó la evaluación con una mezcla patrón y una mezcla modificada, en la cual se reemplazó el 100 % del agregado pétreo por escoria en el tamaño de partícula n°10. Se realizaron ensayos de caracterización básica y ensayos de evaluación del comportamiento mecánico tales como: Estabilidad y flujo Marshall, susceptibilidad al daño por humedad, módulo dinámico y resistencia al ahuellamiento. Como resultado se obtuvo que la caracterización de las mezclas asfálticas, los resultados obtenidos del ensayo de estabilidad, indican que las mezclas evaluadas presentan una resistencia óptima superando los requerimientos mínimos establecidos por la especificación de construcción de carretas INVIAS; adicionalmente, que la deformación o flujo definido para las mezclas analizadas (0 % o 100 % escorias), se encuentran entre los rangos establecidos en las especificaciones de construcción de carreteras; la mezcla que menor deformación sufre es la modificada con 100 % de escorias. (Morcote Católico, 2019)

- **Evaluación de los cambios químicos que experimenta el asfalto durante el proceso de envejecimiento a corto plazo y su relación con algunas propiedades físico-mecánicas**

La investigación del ECP del asfalto se realizó a partir de la auscultación del envejecimiento en campo, evaluaciones del envejecimiento según modelos, convencionales y uno modificado de laboratorio, planteamiento e implementación de alternativas para mejorar la durabilidad de mezclas asfálticas modificadas (MAM, en fase húmeda con aceite fluxante, cal hidratada, Sasobit y una mezcla de negro de humo y cal hidratada). De los asfaltos modificados (AM), las MAM y las capas de rodadura, construidas con estos, los modificados con cal hidratada y con Sasobit mostraron el mejor desempeño. Los AM recuperados presentaron menores efectos del ECP según los índices de variación en el infrarrojo (FTIR-ATR), con ausencia de señales atribuibles a especies oxidadas (carbonilos, epóxidos o éteres aromáticos) y menores cambios en el modelo de sustitución en fragmentos aromáticos, aunque sin inhibición marcada de éteres alifáticos y especies azufradas; además, los AM mostraron menor susceptibilidad térmica. Las MAM evaluadas en laboratorio y campo presentaron condiciones técnicas (funcional, estructural) y

económicas satisfactorias, en particular para las mezclas asfálticas modificadas con cal hidratada y las modificadas con Sasobit o (mezclas tibias) (Betancourt, 2018).

- **Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá**

Esta investigación resume diferentes investigaciones a nivel internacional donde se demuestra que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico en los pavimentos y mitigar impactos ambientales que genera el mal manejo de las llantas deshechas.

Los diferentes estudios encontrados en la revisión del estado del arte, demuestran que la adición del GCR a las mezclas asfálticas, independientemente del proceso (proceso seco o húmedo) mejora considerablemente los comportamientos mecánicos de los pavimentos. El GCR presente en las mezclas asfálticas, mejora los problemas de ahuellamiento, disminuyendo los contenidos de vacíos de aire en las mezclas asfálticas acompañados de un proceso más intensificado de compactación la mezcla. Inicialmente, en los estudios encontrados, se refleja que el problema del ahuellamiento, entre otros factores, se ve favorecido por la falta de compactación, por lo cual la solución esperada es aumentar los ciclos, sin embargo, se demostró que al adicionar GCR estos ciclos pueden disminuir, ya que las partículas de caucho reciclado mejoran esta característica, con respecto de una mezcla asfáltica convencional (Díaz Claros, 2017).

1.3 Características funcionales y estructurales del pavimento flexible

1.3.1 Evaluación superficial del pavimento

La evaluación superficial corresponde al análisis de la condición a nivel de rodadura mediante inventario de daños visibles y esto requiere de la información sobre la localización, el tipo de deterioro, la extensión y el grado de afectación o severidad de los

daños encontrados. Se han establecido algunas metodologías de calificación de pavimento para la evaluación superficial a fin de tener un estándar de comparación de la calidad del pavimento. Entre las metodologías más comunes para esta evaluación se tienen:

- VIZIR
- PCI (ASTM 6433, Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys)
- MOP (Ministerio de Obras Publicas)
- SHRP (Strategic Highway Research Program)
- IGG (Global Gravity Index)

▪ **Metodología VIZIR**

El método clasifica los deterioros de los pavimentos asfálticos en dos grandes categorías, A y B; los deterioros del tipo A (ver Tabla 1–4) caracterizan una condición estructural del pavimento, sea que ella esté ligada a las condiciones de las diversas capas del pavimento y el suelo de subrasante o, simplemente, a las capas asfálticas; los deterioros del tipo B (ver Tabla 1–5), en su mayoría son de tipo funcional y dan lugar a reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad estructural de la calzada. Su origen se encuentra, más bien, en deficiencias constructivas y en condiciones locales particulares que el tránsito ayuda a poner en evidencia (INVIAS, 2008). En la evaluación mediante esta metodología cada tramo o sección deberá tener una longitud de 100 metros para recopilar por separado cada tipo, severidad y extensión de los deterioros. Dado que es posible que uno o más deterioros se presenten con distintos niveles de gravedad (G) en una sección sometida a inspección, el nivel representativo de la sección se establece como un promedio ponderado, mediante la expresión (Ver Ecuación (1.1) INVIAS, 2013):

$$G = - \frac{l_1 + 2l_2 + 3l_3}{l_1 + l_2 + l_3} \quad (1.1)$$

l_i Longitud ocupada por el deterioro con gravedad “i” dentro del tramo bajo evaluación.

Siendo que la gravedad es un número entero (1, 2 o 3), el valor obtenido al realizar la ponderación se redondea de acuerdo con el siguiente criterio:

Si $G < 1.5$ se toma 1

Si $1.5 \leq G < 2.5$ se toma 2

Si $G \geq 2.5$ se toma 3

Tabla 1-4: Niveles de gravedad deterioros tipo A en la metodología VIZIR

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
Ahuellamiento y otras deformaciones estructurales	Sensible al usuario, pero poco importante Prof < 20 mm	Deformaciones importantes. Hundimientos localizados o Ahuellamiento. $20 \text{ mm} \leq \text{Prof} \leq 40 \text{ mm}$	Deformaciones que afectan de manera importante la comodidad y la seguridad de los usuarios. Prof > 40 mm
Fisuras longitudinales por fatiga	Fisuras finas en la huella de rodamiento. <6 mm	Fisuras abiertas y a menudo ramificadas.	Fisuras muy ramificadas, y/o muy abiertas. Bordes de fisuras ocasionalmente degradados.
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo formada por mallas (> 500 mm) con fisuración fina, sin pérdida de materiales.	Mallas más densas (<500mm), con pérdidas ocasionales de materiales, desprendimientos y ojos de pescado en formación.	Mallas con grietas muy abiertas y con fragmentos separados. Las mallas son muy densas (<200 mm), con pérdida ocasional o generalizada de materiales.
Bacheos y parcheos	Intervención de superficie ligada a deterioros del tipo B.	Intervenciones ligadas a deterioros tipo A	
		Comportamiento satisfactorio de la reparación.	Ocurrencia de fallas en las zonas reparadas.

Fuente: (INVIAS, 2008)

Tabla 1-5: Niveles de gravedad deterioros tipo B en la metodología VIZIR

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
Fisura longitudinal de junta de construcción	Fina y única < 6 mm	Ancha ($\leq 6 \text{ mm}$) sin desprendimiento o Fisuras ramificadas	Ancha ($\leq 6 \text{ mm}$) con desprendimientos o ramificada

DETERIORO		NIVEL DE GRAVEDAD				
		1	2		3	
Fisuras de contracción térmica.		Fisuras finas < 6 mm	Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimiento, o finas con desprendimientos o fisuras ramificadas		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Fisuras parabólicas.		Fisuras finas < 6 mm	Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimientos		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Fisuras de borde		Fisuras finas < 6 mm	Anchas (≤ 6 mm) sin desprendimientos		Anchas (≤ 6 mm) con desprendimientos	
Abultamientos		$h < 20$ mm	$20 \text{ mm} \leq h \leq 40$ mm		$h > 40$ mm.	
Ojos de pescado*(por cada 100m)	Cantidad.	< 5	5 a 10	< 5	> 10	5 a 10
	Diámetro (mm)	≤ 300	≤ 300	≤ 1000	≤ 300	≤ 1000
Desprendimientos:		Pérdidas aisladas	Pérdidas continuas		Pérdidas generalizadas y muy marcadas	
Pérdida de película de ligante.						
Pérdida de agregado						
Descascaramiento	Prof.(mm)	≤ 25	≤ 25	> 25	> 25	
	Área(m ²)	≤ 0.8	> 0.8	≤ 0.8	> 0.8	
Pulimento de agregados		Long. Comprometida <10% de la sección (100m).	Long. Comprometida $\geq 10\%$ a < 50% de la sección (100m)		Long. Comprometida > 50% de la sección (100m)	
Exudación		Puntual, área específica	Continúa sobre las trayectorias por donde circulan las ruedas del vehículo		Continua y muy marcada, en diversas aéreas	
Afloramientos:		Localizados y apenas perceptibles.	Intensos		Muy intensos	
De mortero						
De agua						
Desintegración de los bordes del pavimento		Inicio de la desintegración, sectores localizados.	La calzada ha sido afectada en un ancho de 500 mm o más		Erosión extrema que conduce a la desintegración del revestimiento	
Escalonamiento entre calzada y berma.		Desnivel entre 10 mm y 50 mm.	Desnivel entre 50 y 100mm		Desnivel superior a 100mm.	
Erosión de las bermas		Erosión incipiente	Erosión pronunciada		La erosión pone en peligro la estabilidad de la calzada y la seguridad de los usuarios	

DETERIORO	NIVEL DE GRAVEDAD		
	1	2	3
Segregación	Long. comprometida <10% de la sección (100m)	Long. Comprometida \geq 10% a < 50% de la sección (100m)	Long. Comprometida > 50% de la sección (100m)

Fuente: (INVIAS, 2008)

- **Metodología Índice de condición del pavimento (PCI)**

El PCI es un indicador numérico que califica la condición superficial del pavimento, al proporcionar una medición de las condiciones actuales del pavimento, basada en los deterioros observados en su superficie, como un indicador de su integridad estructural y condiciones operacionales. El PCI no puede medir la capacidad estructural del pavimento, ni tampoco proporciona la determinación directa sobre el coeficiente de resistencia a la fricción (resistencia al deslizamiento) o la regularidad general, pero si proporciona una base objetiva y racional para determinar las necesidades y prioridades de reparación y mantenimiento. Un monitoreo continuo del PCI se utiliza para establecer las causas del deterioro del pavimento, a partir de lo cual, se identifican con la debida anticipación las necesidades de rehabilitación mayores.

El valor de PCI va desde un valor de 100, correspondiente a un pavimento en perfectas condiciones, hasta llegar a 0, que representa un pavimento que ya ha fallado. Existen tablas de “deducción” que reducen el PCI de acuerdo con los deterioros presentes. El cálculo del PCI se realiza de acuerdo con el tipo de deterioro, severidad y densidad. Los intervalos de calificación del estado del pavimento, en función del valor del PCI se muestran en la Tabla 1-6.

Tabla 1–6: Escala de clasificación de la condición del pavimento PCI

Categoría	Desde	Hasta	Código color
Bueno	86	100	
Satisfactorio	71	85	
Aceptable	56	70	
Pobre	41	55	
Muy pobre	26	40	
Serio	11	25	
Colapsado	0	10	

Fuente: (ASTM, 2018)

El nivel de daño de un pavimento se expresa a partir del tipo de deterioro, su nivel de severidad y su extensión (o “densidad”). En este método la gran cantidad de combinaciones de deterioros, severidades y densidades posibles, se resuelve con ayuda del "valor deducido", un factor de ponderación, para indicar "en qué grado afecta" a la condición del pavimento cada combinación de deterioro, severidad y densidad (ASTM, 2018). El estándar ASTM D-6433-20 contiene el manual en el cual se describen los deterioros característicos, y el criterio de cómo identificar los diferentes niveles de severidad asociados a ellos. En el caso de pavimentos flexibles se han definido diecisiete deterioros característicos y para los rígidos, quince deterioros característicos. Cada uno de ellos puede tener asociado un nivel de severidad, tales como: "bajo", "medio" o "alto".

El proceso de cálculo es el mismo, tanto para pavimentos flexibles como para pavimentos rígidos, la diferencia es que en el caso de los pavimentos flexibles se analizan las unidades de muestreo por áreas y en los rígidos, en función al número de losas; una vez definidos los tipos de falla, clasificadas según el grado de severidad, y el tipo de pavimento, se hallan los totales de las secciones dañadas para definir la densidad en que ésta se presenta:

$$DENS (\%) = \left(\frac{\text{Área de fallas}}{\text{Área de muestra}} \right) \quad (1.2)$$

Con este valor, se calculan los Valores Deducidos (VD), utilizando las curvas para la obtención del Valor Deducido que se muestran en la Norma ASTM D 5340, según sea el tipo de pavimento rígido o flexible.

$$VD = f(\text{Densidad, tipo de deterioro, severidad}) \quad (1.3)$$

Luego se procede a calcular el Valor Deducido Corregido (VDC), a partir del cálculo del número máximo de fallas permitidas m :

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) * (100 - HDV_i) \quad (1.4)$$

HDV_i = Mayor valor deducido individual para la muestra "i"

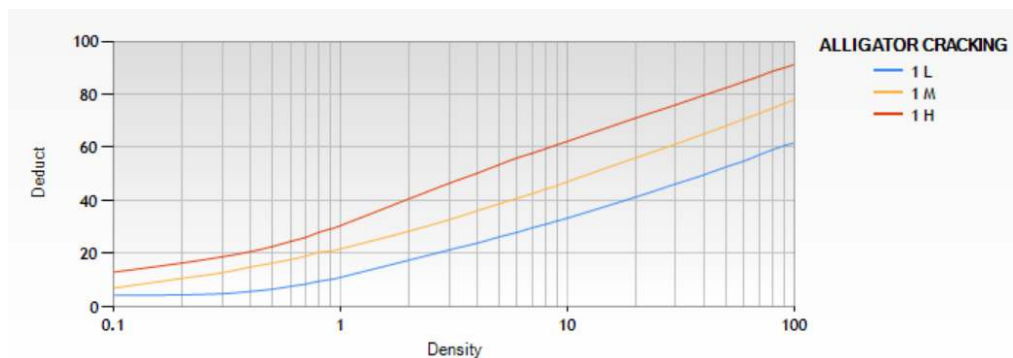
A partir del máximo Valor Deducido Corregido (VDC) se calcula el PCI de la unidad de muestra analizada, según la siguiente expresión:

$$PCI = 100 - VDC \quad (1.5)$$

A continuación, se presenta, un ejemplo de cálculo para pavimento flexible; en el caso de un pavimento rígido el proceso es similar, con la excepción de que se utilizan las curvas exclusivas para pavimentos rígidos y el porcentaje de densidad se calcula en función al número de losas. Para el caso del cálculo por sección, se procede a:

- Sumar el área total de cada tipo de falla, según su grado de severidad.
- Calcular el porcentaje de densidad dividiendo el área afectada por el tipo de falla y su nivel de severidad entre el área total de la unidad de muestreo.
- Determinar el valor deducido para cada tipo de falla y su nivel de severidad, mediante las curvas denominadas "Valor deducido de daño" que se adjuntan en la Norma ASTM D 5340 (ver ejemplo en Figura 1-5 y Tabla 1-7)

Figura 1-5: Curva para obtener el valor deducido deterioro piel de cocodrilo



Fuente: Software Paveair

Tabla 1–7: Ejemplo de determinación del valor deducido

Defecto	Severidad	Cantidad	Total	Densidad	Valor deducido
7	L	40	40	10	8
8	L	15	15	38	7
12	L	320	320	80	25

- d. Determinar el Valor Deducido Corregido, calculando m , a partir del máximo Valor Deducido, para el ejemplo:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{95}\right) \times (100 - 25) = 8.11 \quad (1.6)$$

Se observa que: el valor de m es mayor al número total de valores deducidos, por lo cual se usarán todos los valores deducidos para la determinación. Se ordenan los Valores Deducidos en forma descendente; luego se determina el número de valores deducidos, “ q ”, mayores que 5 y se determina el valor deducido total (VDT), sumando todos los valores deducidos individuales, el valor deducido corregido (VDC), se obtiene de la curva de corrección pertinente al tipo de pavimento; luego se reduce el menor valor individual deducido mayor que 5, a 5, así se repite hasta que se cumpla la condición “ q ” igual a 1.

$$VTD = f(q, VDT) \quad (1.7)$$

Tabla 1–8: Cálculo del Valor Deducido

N°	Valores deducidos					VDT	Q	VDC
1	25	8	0.74	0	0	34	2	21
2	25	5	0.74	0	0	31	1	31
							VDC	31

El valor máximo de la columna es el Valor Máximo Deducido, requerido para calcular el valor de PCI:

$$PCI = 100 - 31 = 69 \quad (1.8)$$

1.3.2 Evaluación de la regularidad

La regularidad superficial es una medida del comportamiento funcional de un pavimento, a veces la única característica que percibe el usuario de la carretera, fundamentalmente, a través de la sensación de mayor o menor comodidad en la circulación. Se puede definir como el conjunto de efectos causados en los vehículos por las variaciones en el perfil longitudinal real de la calzada, respecto del teórico del proyecto. En la norma de ensayo ASTM E 867-06 Standard Terminology Relating to Vehicle- Pavement Systems, se define el concepto de Roughness como: “desviación de una determinada superficie respecto a una superficie plana teórica, con dimensiones que afectan la dinámica del vehículo, la calidad de manejo, cargas dinámicas y el drenaje, por ejemplo, el perfil longitudinal, perfil transversal (Badilla Vargaz, 2011).

El perfil de la carretera contiene infinidad de irregularidades, conformadas por un conjunto de ondas aleatorias de frecuencia múltiple que se producen con diferentes amplitudes y longitudes de onda, tanto en sentido longitudinal como transversal, las que ocurren en sentido longitudinal son las que tienen un mayor efecto sobre las fuerzas indeseables que se presentan en los vehículos. Las irregularidades de la superficie del pavimento propician aceleraciones verticales a los vehículos en movimiento y hacen que la circulación se vuelva incómoda, insegura y antieconómica.

En el informe del Comité Técnico de Características Superficiales de la AIPCR (AIPCR, 1987) , se propuso una clasificación de las características geométricas superficiales, con base en las longitudes de onda y las amplitudes de las irregularidades (Ver Tabla 1–9).

Tabla 1–9: Clasificación de las irregularidades superficiales de un pavimento

CARACTERÍSTICA	LONGITUD DE ONDA (mm)	AMPLITUD (mm)
Microtextura	0-0.5	0.001-0.5
Macrotextura	0.5-50	0.01-20
Megatextura	50-500	0.1-50

CARACTERÍSTICA		LONGITUD DE ONDA (mm)	AMPLITUD (mm)
Regularidad superficial	Ondas cortas	500-5,000	1-20
	Ondas medias	5,000-15,000	5-50
	Ondas largas	15,000-50,000	10-200
Trazado		> 50,000	10-5,000

Fuente: (INVIAS, 2008)

En la medición de la regularidad en un perfil de vía no ha sido una labor sencilla, para ello se han empleado muchas técnicas desde hace más de cuarenta años y para ello se han introducido índices de regularidad que pueden ser clasificados en dos grandes grupos como lo expone Wei et al., 2005. El primer grupo se refiere a los índices nombrados según el vehículo de respuesta tales como el Quarter car Index QI y el International Roughness Index IRI, mientras que en el segundo grupo se tienen los índices de perfil de regularidad de superficie directos tales como el Slope Variance, SV y el Root Mean Square Vertical Acceleration, RMSVA. Todos estos índices son un resumen estadístico que provee un valor numérico de la condición de regularidad a lo largo de una sección de pavimento. A continuación, se hace una revisión teórica de los índices que han sido más empleados en la evaluación de regularidad de la superficie de las vías. (Hernandez Morales, 2020).

- **Índice de regularidad internacional (IRI)**

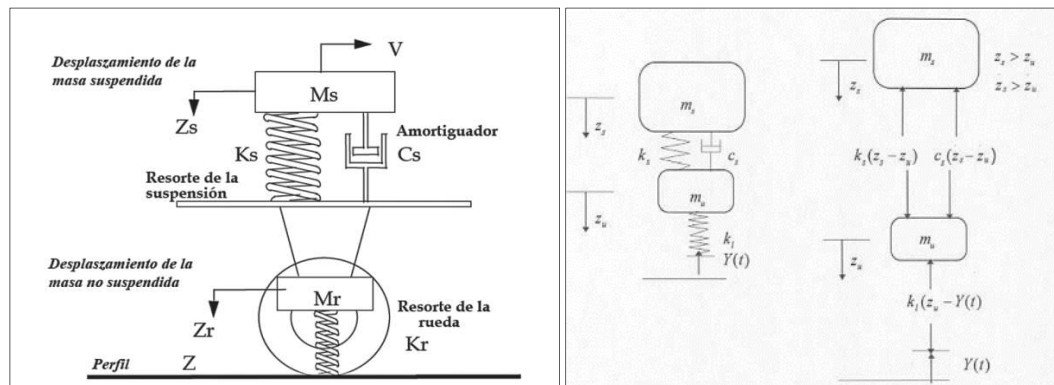
El índice de regularidad internacional (IRI) (International Roughness Index) es un parámetro que se utiliza en pavimentos para determinar su regularidad y la comodidad en la conducción. Aunque la transcripción exacta del término roughness es "rugosidad", se ha adoptado como "regularidad" este es un calificativo más adecuado al definir el IRI (Sayer, Gillespie, & Paterson, 1986).

El IRI es una medida del estado de un pavimento y se define como la representación de un modelo matemático, que simula el movimiento de la suspensión acumulada por un vehículo (modelo de cuarto de carro), al circular por una determinada longitud del

perfil de carretera, a una velocidad estándar de 80 km/h¹. Las unidades en las que se mide este valor son m/km o mm/m. Al avanzar el modelo por una superficie de pavimento, a una velocidad constante de 80 km/h e ir siguiendo sus irregularidades, las masas se mueven verticalmente y para una combinación estándar de valores de las constantes de los muelles, masas y amortiguador, se conoce como IRI el movimiento vertical relativo acumulado de la masa superior (que simula el asiento del conductor), al recorrer el modelo una longitud determinada de carretera. El modelo conceptual descrito se puede observar gráficamente en los dibujos de la Figura 1-6 (Sayer, Gillespie, & Paterson, 1986).

El IRI es un producto de la unificación de la International Road Roughness Experiment (IRRE) propuesta para encontrar la mejor practica para los diferentes tipos de equipos usados en la medición de la regularidad²; la investigación fue dirigida por equipos de Brasil, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y Bélgica, teniendo en cuenta como una relación entre el movimiento relativo de la suspensión de un vehículo estándar con la distancia recorrida (Sayers, 1995). El IRI es calculado teniendo en cuenta el perfil longitudinal medido por instrumentos de clase 1 y de clase 2 según lo establecido por la normativa ASTM E 950-98, y empleando el modelo quarter-car. (Hu, 2006).

Figura 1-6: Modelo matemático del cuarto de carro



¹ Esta velocidad corresponde a la de la *simulación del modelo*, la cual no debe confundirse con la *velocidad de medición* del perfil de la calzada.

- **Técnicas para medir la regularidad**

La clasificación más conocida para realizar este tipo de mediciones es la desarrollada por el Banco Mundial que presenta las siguientes cuatro clases:

Clase 1 - Medidas de precisión del perfil: corresponden a los procesos de nivelación que ofrece la topografía convencional; aunque es preciso, su rendimiento es muy bajo y por ende este tipo de mediciones resultan muy costosas (INVIAS, 2008).

Clase 2 - Otros métodos perfilométricos: como su nombre lo indica, corresponden a mediciones con perfilómetros que utilizan acelerómetros y sensores que bien pueden ser de contacto o de no contacto. Este tipo de equipos son confiables pero su operación es costosa (INVIAS, 2008).

Las Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del INVÍAS privilegian el uso de los sistemas de las clases 1 y 2 para el recibo de pavimentos nuevos y de las obras de rehabilitación de los mismos

Clase 3 - Medidores de rugosidad del tipo respuesta (RTRRMs): corresponden a sistemas de medición por reacción, es decir, dispositivos que cuentan con un transductor que detecta los movimientos verticales del eje trasero de un vehículo, respecto de la carrocería de este. Esta información es procesada y muestra la condición del pavimento en milímetros o pulgadas acumuladas sobre una distancia recorrida determinada (INVIAS, 2008).

Esta categoría incluye dispositivos tales como el rugosímetro BPR, el Mays Meter Ride, el ROMDAS y el PCA Road Meter. Aunque con sistemas de medición diferentes, instrumentos tales como el MERLIN, los perfilógrafos y la regla rodante de 3 metros son considerados como dispositivos de medición de la clase 3.

Clase 4 - Evaluaciones subjetivas: descritas como la sensación de comodidad que percibe un experto al transitar en un vehículo por la vía; como su nombre lo indica, son subjetivas y se realizan ante la ausencia de equipos o métodos para la medición de la regularidad superficial (INVIAS, 2008).

Dentro de los métodos que se emplean para la medición de la regularidad en la actualidad se destacan el Perfilómetro Láser RSP III y el método Merlín.

→ **Perfilómetro Láser RSP III**

El perfilómetro láser es un equipo de última generación que permite evaluar la condición de regularidad superficial de las carreteras. Para los trabajos de campo, se empleó un perfilógrafo láser Clase I, el Road Surface Perfilometer (RSP) modelo Mark III, el cual permite registrar las elevaciones del perfil longitudinal y con ello, se calcula el valor del Indicador de Rugosidad Internacional (IRI), en la Figura 1-7 se muestra un esquema del equipo de medición.

Figura 1-7: Perfilómetro inercial



Fuente: Pavetesting

La medición del perfil longitudinal se basa en el método de “South Dakota”, el cual consiste en un acelerómetro que se utiliza para obtener el movimiento vertical del cuerpo del vehículo y un sensor láser que se emplea para medir el desplazamiento entre la carrocería del vehículo y el pavimento así como un odómetro que permite registrar las distancias recorridas (ver Figura 1-8). El perfil de la superficie del pavimento se obtiene sumando el movimiento vertical del vehículo con la distancia al pavimento. El valor de Índice de regularidad superficial (IRI), es calculado de acuerdo con las especificaciones del Banco Mundial.

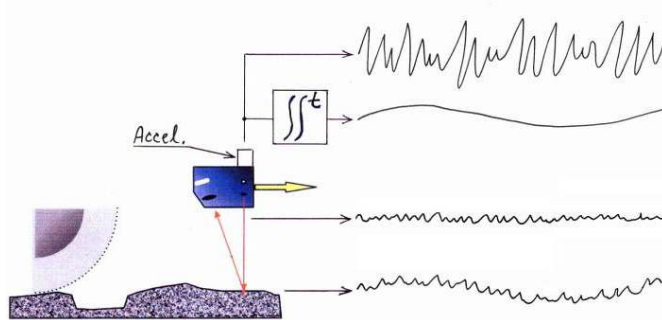
Figura 1-8: Partes de perfilómetro láser



Fuente: Grupo Rauros

En la Figura 1-9 se muestra un esquema del cálculo del perfil a través del perfilómetro láser, el sensor láser captura la distancia del equipo al pavimento y traza un perfil del terreno, el acelerómetro registra las aceleraciones verticales del equipo y mediante una doble integral se calculan los movimientos verticales a partir de los cuales se ajustan los valores medidos por el láser.

Figura 1-9: Esquema cálculo perfilómetro inercial



Para determinar si un equipo de medición del perfil cuenta con las características necesarias para ser clase 1 la norma estándar ASTM 950 establece unos criterios mínimos de clasificación de los equipos, en la Tabla 1–10 se resumen estos criterios.

Tabla 1–10: Clasificación de equipos de medida de perfil longitudinal

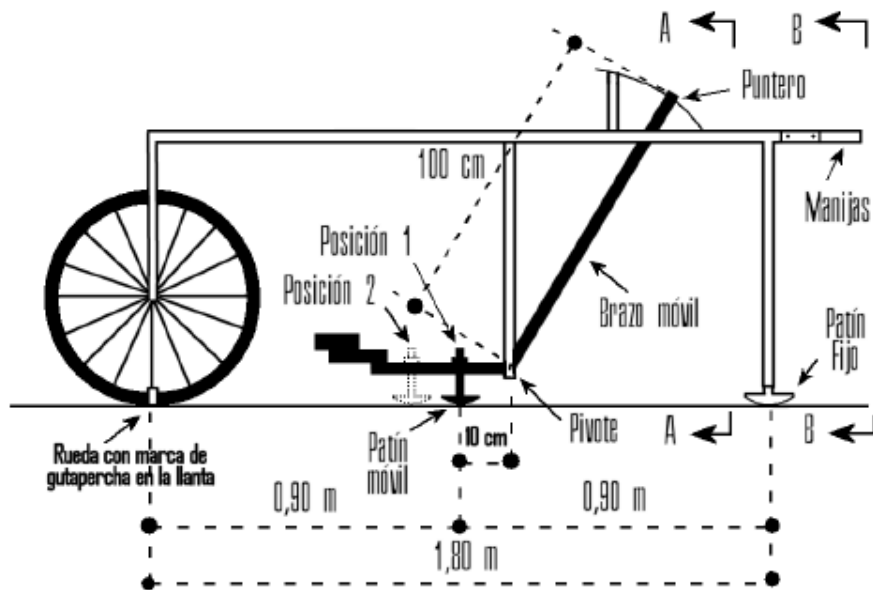
Clase	Intervalo longitudinal	Resolución vertical
Clase 1	≤ 25 mm	≤ 0.1 mm
Clase 2	> 25 mm hasta 150 mm	> 0.1 mm hasta 0.2 mm
Clase 3	> 150 mm hasta 300 mm	> 0.2 mm hasta 0.5 mm
Clase 4	> 300 mm	> 0.5 mm

→ **IRI estimado mediante MERLIN**

El perfilómetro estático MERLIN fue diseñado y desarrollado por el TRRL, para evaluar las condiciones de rugosidad de un pavimento. Este instrumento de medición se caracteriza por bajos costos de operación, fácil ensamble uso y mantenimiento.

El perfilómetro MERLIN determina la desviación del terreno frente a (2) dos puntos ubicados antes y después del punto de medición. Para esto el MERLIN tiene un patín en contacto con el piso en el punto de medición, este permite medir la desviación del terreno respecto a la cuerda, definida por los puntos de apoyo del soporte posterior y la rueda anterior. (Alvarez & Rivero, 2012).

Figura 1-10: Esquema equipo Merlín



Fuente: (Alvarez & Rivero, 2012)

El patín se encuentra anclado a un brazo pivotado de tal forma que en el otro extremo se amplifica el desplazamiento 10 veces. La escala está constituida por 50 graduaciones separadas en 5 mm por lo cual este equipo puede resolver hasta 0,5 mm de desviación del terreno con un rango dinámico de 25 mm de amplitud y que contiene a la desviación cero.

1.3.3 Evaluación de la Textura

La Textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios; necesario para la conservación de las carreteras. La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interfase neumático-pavimento, evitando el fenómeno de hidroplaneo y, de forma indirecta, en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, de gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento (Sandoval de León, 2000).

- **Microtextura**

La microtextura comprende la longitud de onda más pequeña y está en función de la textura superficial de los agregados y el mortero asfáltico o del concreto hidráulicos empleados en la construcción de la carpeta (Sandoval de León, 2000). La microtextura es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal, inferiores a 0.5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña, que no se puede apreciar a simple vista. La microtextura es importante para la adherencia entre el neumático y el pavimento y, por lo tanto, para la resistencia al deslizamiento.

- **Macrotextura**

La microtextura comprende la longitud de onda más pequeña y está en función de la textura superficial de los agregados y el mortero asfáltico o del concreto hidráulicos empleados en la construcción de la carpeta.

Es la desviación que presenta la superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0.5 y 50 mm. Este tipo de textura presenta longitudes de onda del mismo orden que los elementos de labrado del neumático en la zona de contacto con el pavimento. Las irregularidades de macrotextura son necesarias para una adecuada resistencia al deslizamiento a altas

velocidades en condición de superficie húmeda. Su efecto se analiza en la sección referente a la resistencia al deslizamiento.

- **Medición macro textura mediante círculo de arena**

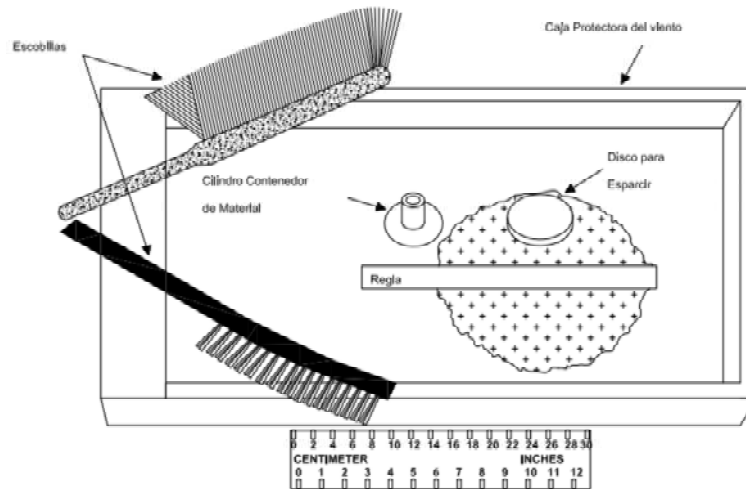
El procedimiento de prueba incluye la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición del área cubierta, y subsecuentemente se calcula promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados, como se muestra en la Figura 1-11, el esquema como tal del ensayo. Por medio de la medición del espesor de la textura superficial se refleja las características de la macrotextura.

- Primer paso: se debe limpiar la superficie de ensayo con el cepillo de pelo blando, la superficie debe estar seca y libre de grietas.
- Segundo paso: La granulometría de la arena que se va a utilizar para el ensayo se elegirá en función de la textura del pavimento, de tal manera que el radio del círculo este entre los 5 y 25 cm y el tamaño del grano de arena no sea superior a la profundidad media.
- Tercer paso: La arena seleccionada para el procedimiento se vierte en su totalidad en el punto de ensayo en forma de superficie cónica protegiéndola del viento, seguidamente con la ayuda de la madera circular con goma y con movimientos rotatorios se extiende la arena, hasta conseguir una superficie igual, en donde la arena llene todas depresiones, se debe tener presente que el movimiento que se usa en el tampón debe ser suave y sin presión.
- Cuarto paso: Se mide 5 diámetros y se saca promedio, este método de ensayo no es considerado adecuado, ya que se utiliza en superficie de pavimentos con huecos.

Cuando la superficie que se está trabajando es muy lisa es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macrotextura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado, el promedio aritmético de los valores de espesor de la macrotextura se debe considerar como el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento que se está estudiando.

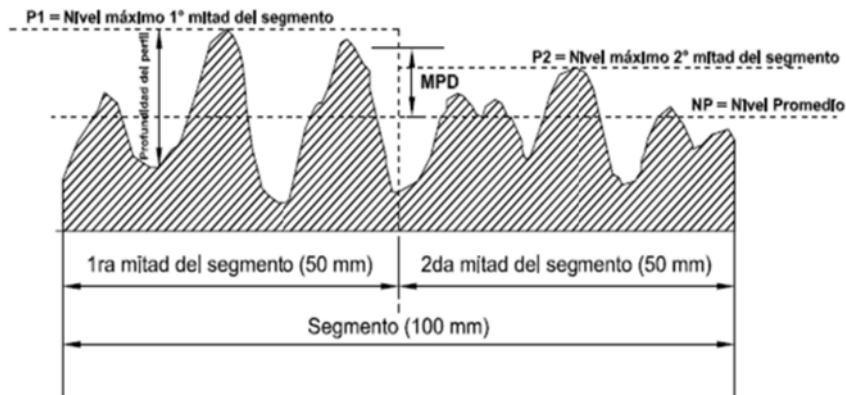
Figura 1-11: Elementos empleados para la toma de textura mediante el método de círculos de arena



Fuente: (Dirección de vialidad, 2019)

- **Medición de textura con láser**

La medición de la textura se puede realizar también mediante técnicas de láser de acuerdo a las recomendaciones de la norma ASTM 1845, en la Figura 1-12 se muestra un esquema de la medición del parámetro MPD (profundidad media del perfil calculada a partir del perfilómetro láser).

Figura 1-12: Esquema conceptual MPD

Fuente: (Dirección de vialidad, 2019)

$$MPD = \left(\frac{P1 + P2}{2} \right) - NP \quad (1.9)$$

El valor de la Profundidad Media del Perfil (en inglés, Mean Texture Depth - MPD) se debe correlacionar con la Profundidad Estimada de Textura (en inglés, Estimated Texture Depth - ETD) que es el equivalente a la profundidad textura que se obtiene a partir del ensayo del círculo de arena. La siguiente es la expresión que permite calcular el valor del MTD a partir del MPD:

$$ETD = 0.2 + 0.8 \times MPD \quad (1.10)$$

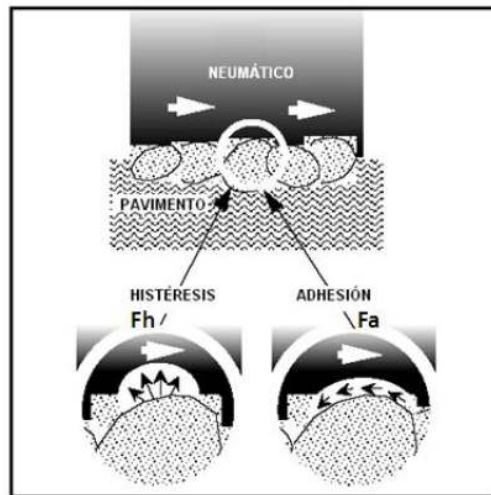
Donde *ETD* y *MPD* conciernen a los significados indicados en el párrafo anterior (Dirección de vialidad, 2019).

1.3.4 Evaluación de la fricción

La fricción es una medida de las fuerzas en la interfaz neumático-pavimento que resisten el deslizamiento de una rueda frenada y permiten cambios en la dirección del vehículo en maniobras extremas, en particular bajo la condición de superficie húmeda. Por lo tanto, es un sinónimo de seguridad (INVIAS, 2008).

Se debe tener en cuenta que existen dos principales factores responsables para la fricción del neumático, son la adhesión y la histéresis como se observa en la Figura 1-13, es decir, la adhesión es el resultado de fuerzas moleculares en la interfaz neumático–pavimento, cuya magnitud depende de la naturaleza de los dos materiales en contacto y de la fuerza normal entre ellos, en tanto que la componente de histéresis es función de la pérdida de energía en el caucho del neumático a medida que éste es deformado por las asperezas de la textura superficial del pavimento.

Figura 1-13: Componentes de la fricción neumático – pavimento



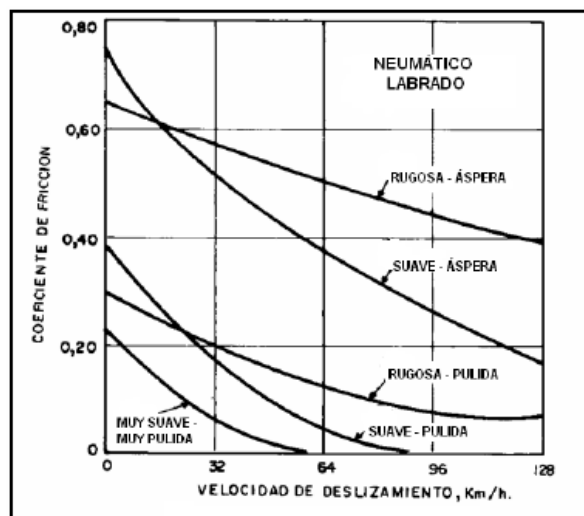
Fuente: (INVIAS, 2008)

Para que un pavimento ofrezca suficiente adherencia a cualquier velocidad de los vehículos, debe tener una macrotextura suficientemente gruesa y una microtextura áspera, esta última es necesaria para garantizar la adherencia (incluso con la superficie seca).

Mientras la fricción suele ser suficiente cuando la superficie se encuentra seca, el agua en un pavimento húmedo actúa como un lubricante que reduce el contacto directo entre el neumático y la superficie de la calzada. Si la película de agua llega a ser lo suficientemente espesa y/o el vehículo circula a una velocidad demasiado alta, los neumáticos pueden perder el contacto con la superficie, creándose un fenómeno de alto peligro, conocido como hidropneumático.

La superficie de rodadura de un pavimento debe tener buena adherencia con los neumáticos en todo momento sin importar el clima en el que se encuentre, más aún en zonas de frenado y curvas, por lo tanto, se debe tener un control periódico de este indicador ya que debido al desgaste por el tránsito la vía se va perdiendo la resistencia al deslizamiento. Cuando la superficie es más densa disminuye la resistencia aceleradamente, teniendo en cuenta que al incrementar la velocidad del vehículo es mayor el decrecimiento como se muestra en la Figura 1-14.

Figura 1-14: Variación de la fricción disponible con la velocidad de deslizamiento, para diferentes texturas superficiales



Fuente: (INVIAS, 2008)

Este proyecto se midió la fricción por el método del péndulo británico que tiene por objeto adquirir un coeficiente de Resistencia al deslizamiento (CDR) que, mantiene una correlación con el coeficiente físico de rozamiento que valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

El péndulo británico el cual es sensible para la microtextura del pavimento, efectuándose dicha medición según lo establecido por la norma INV E-792-13.

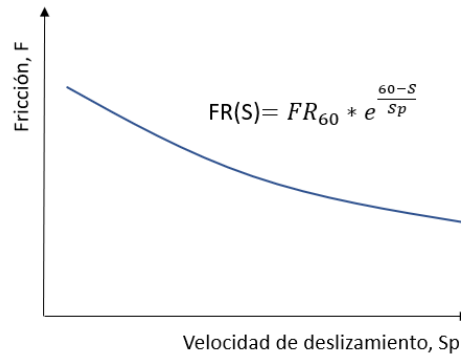
1. Nivelación: Nivelar el instrumento exactamente girando los tornillos niveladores hasta burbuja está centrada en el ojo de la burbuja niveladora.
2. Ajuste a ceros: Elevar la cabeza del aparato, de tal forma que el abrazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida.
3. Ajustes de la longitud de deslizamiento: Con el péndulo libre colocar los espaciados abajo del tornillo de ajuste o regulación del abrazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balaceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto.

1.3.5 Índice de fricción internacional IFI

El índice de fricción internacional (IFI) es una medida de la fricción entre neumático y pavimento, en función de la velocidad de desplazamiento, el cual es expresado en una escala de referencia de aplicación internacional, de la fricción y de la textura de un pavimento. La textura es la geometría más fina del perfil longitudinal de la carretera. Según PIARC (Asociación Mundial de Carreteras)

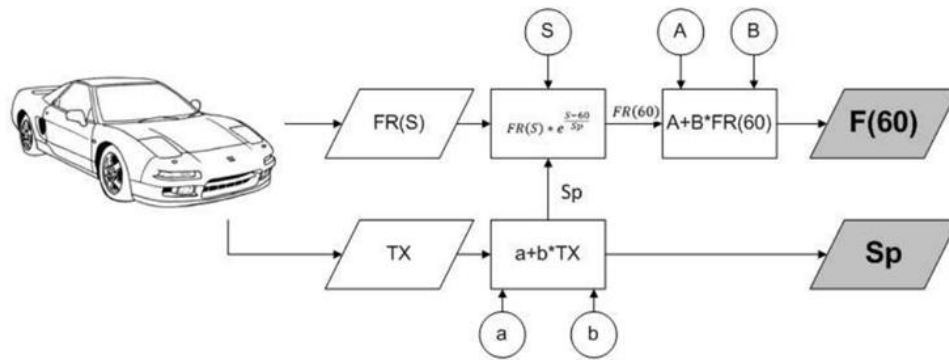
Este modelo permite dibujar la curva de referencia estimada de fricción vs velocidad de deslizamiento, en donde representa las condiciones prevalecientes del pavimento, como se muestra en la Figura 1-15. Los parámetros se expresan por un par de valores (F_{60} , S_p), donde el primer valor representa fricción y el segundo la microtextual. El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados con unidades de velocidad (km/h).

Figura 1-15: Curva Fricción vs Velocidad de deslizamiento



En la Figura 1-23 es un esquema resumido de la determinación de los parámetros F_{60} y S_p .

Figura 1-16: Esquema resumido de parámetros F_{60} y S_p



▪ **Determinación del parámetro S_p**

A partir de los datos del experimento por PIARC, se comprobó la constancia de velocidad SP puede ser determinada por medio de una regresión lineal en función de la medida en campo de la macrotextura (Tx) expresada de la siguiente manera:

$$Sp = a + (b * Tx) \tag{1.11}$$

Los valores constantes a y b varían según los equipos que participaron en el experimento, tal y como se presenta en la Tabla 1–11.

Tabla 1–11: Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14.2	89.7
MTD por ASTM E 965	-11.6	113.6

▪ **Determinación del parámetro F_{60}**

Se establece el tipo de equipo a emplear y se procede a la medición de la fricción FRS de una sección dada en el pavimento. La velocidad S se determina, dependiendo del tipo de la rueda de medición y de la velocidad V del vehículo de arrastre según lo que se indica en la Figura 1-17.

Figura 1-17: Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo

Con rueda bloqueada	S = V
Con rueda parcialmente bloqueada	S = V por el % de deslizamiento
Con rueda oblicua	S = V por el Sen α

Donde;

S= Tipo de equipo

α = Ángulo de esviaje

Para determinar la constante FR_{60} se usa el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S a partir del modelo PIARC:

$$Fr(s) = FR_{60} * e^{\frac{60-S}{Sp}} \quad (1.12)$$

En donde despejando FR_{60} se obtiene:

$$FR_{60} = Fr(s) * e^{\frac{S-60}{Sp}} \quad (1.13)$$

El valor de F_{60} se obtiene de la siguiente correlación con FR_{60} establecida por el experimento PIARC:

$$F_{60} = A + (B * FR_{60}) \quad (1.14)$$

Donde A y B son constantes según el quipo utilizado para medir la fricción, los valores se muestran en la

Figura 1-18: Lista de equipos que fueron calibrados para predecir el F_{60}

Llantas lisas		Clave	S	A	B	C
Características	Equipo		Km/hr	Cte.	Cte.	Cte.
Rueda bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0.045	0.925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	D6	60	0.002	1.008	0
Rueda parcialmente bloqueada	OSCAR a 86% (N)E	B4E	52	-0.03	0.864	0
	OSCAR a 20% (N)E	B4E	12	0.119	0.643	0
	Komatsu skid Trailer (J)	C5	10	0.042	0.849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0.019	0.868	0
	Griptester (UK)	D8	9.4	0.082	0.91	0
Rueda Oblicua	Stradograph (DK)	C9	12.5	0.054	0.777	0
	Odolograph Wallon (B)	C10	12.9	0.113	0.729	0
	Odolograph CRR (B)	D1E	20.5	0.113	0.746	0
	SCRIM Flemish (B)	C3B	20.5	0.049	0.967	0
	SCRIM CEDEX (E)	C4	20.5	0.019	0.813	0
	SCRIM MOPT (E)	C8	20.5	0.032	0.873	0
	SCRIM SRM (D)	D2	20.5	0.017	0.85	0
	SCRIM GEOCISA (E)	D3	20.5	0.021	0.928	0
	SCRIM (F)	D4	20.5	-0.006	0.862	0
	SUMMS (I)		20.5	0.002	0.987	0
	SCRIMTEX (UK)	D5	17.1	0.033	0.872	0
Equipos con neumáticos gravados						
Rueda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	60	0.022	0.05	0.082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0.026	0.504	0.099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60	-0.072	0.767	0.086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	-0.023	0.607	0.098
	Equipo de Fricción (PL)	C1	60	-0.025	0.807	0.068
Rueda parcialmente bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	B1	12	0.141	0.323	0.074
	Skiddometer	B2	12	0.03	0.918	-0.014
	BV – 11 (S)	B3	12	0.04	0.856	-0.016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0.02	0.867	-0.006
Equipos con zapata						
Estáticos	DF Tester at 60 Km/h (J)	A13	60	-0.034	0.771	0
	DF Tester at 20 km/h (J)	A13	20	0.081	0.723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0.056	0.008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0.044	0.01	0

- **Rangos de fricción**

Los distintos tipos de superficies están sujetos a cambios según incremente la experiencia, Por lo tanto, los valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado que es una condición crítica son propuestos en la Figura 1-19.

Figura 1-19: Criterio para evaluar los valores de fricción en la superficie de pavimento

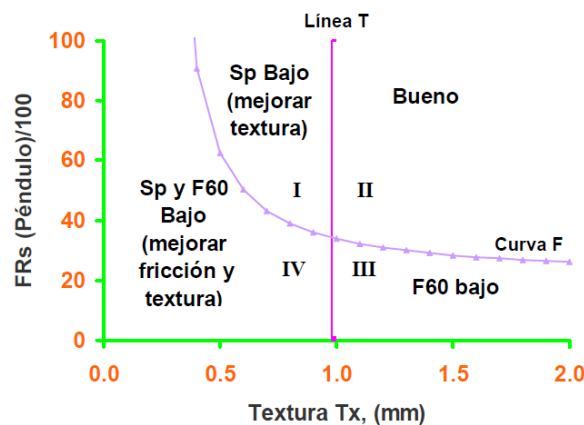
Fricción, Valor de CDR, adimensional	Calificación
< 0.5	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 – 0.6	De regular a bueno
0.61 – 0.8	Bueno
0.81 – 0.9	De bueno a regular
> 0.91	Malo (desgaste de neumáticos)

▪ **Aplicación e interpretación del IFI**

Los valores que son representativos para cada tramo se sustituyen en F_{60} y S_p y se trazan curvas de comportamiento de la superficie de pavimento. A mayor velocidad la fricción va disminuyendo, esto es debido a la reducción del área de contacto en la interfase pavimento – neumático. Se utiliza un diagrama que relaciona en los ejes a los valores de textura, Tx con los valores de fricción, FRS. Lo anterior aplica para cualquier equipo utilizado para medir dichos parámetros. En el diagrama se ubican la curva que definirá la frontera de valores mínimos permisibles, de fricción (curva F) y la línea T relacionada con el valor mínimo recomendado de textura.

En la Figura 1-20, se muestra cómo debe interpretarse cada zona de la gráfica y así poder considerar si el tramo en estudio tiene o no las características adecuadas de fricción y textura.

Figura 1-20: Interpretación de las zonas del diagrama de Fricción vs Macrotextura



Fuente: (Marcia, 2006)

La interpretación de cada uno de los cuadrantes se resume a continuación:

En el primer cuadrante la superficie de pavimento requiere mejorar la macrotextura, esto podrá ser mejorado con la colocación de un riego de sello o una micro carpeta con el diseño adecuado que permita desalojar el volumen de agua que se presente por la precipitación específica de ese lugar.

En el segundo cuadrante, (siguiendo las manecillas del reloj) entramos que según los límites de F_{60} y S_p establecidos para el proyecto, encontraremos los puntos que cumplen con una adecuada micro y macrotextura para las necesidades de la vía evaluada.

En el tercer cuadrante, muestra que se requiere mejorar la microtextura, que esto podrá ser si se mejora la calidad del material pétreo de la carpeta (o si se utiliza concreto hidráulico cuidando que cuente con un buen rayado).

En el cuarto cuadrante, se presenta la situación más crítica del pavimento, ya que se requiere mejorar ambas, micro y macrotextura.

La definición de los materiales mínimos de fricción (curva F) y de textura (línea T) necesita de la definición, de parte de los administradores de la conservación de la red carretera en cuestión de los valores de intervención del IFI, que se denotan de la siguiente manera

$$IFI * (F_{60} *, S_p *) \quad (1.15)$$

Una vez definidos los dos valores que conforman el IFI* se procede de la siguiente forma determinar la curva F y la línea T:

Primeramente elija su dispositivo para medición de textura, T_x , y aplique las constantes a y b, de la Figura 1-22, según corresponda. Usando la ecuación (1.11) y dado que conocemos S_p^* , entonces la línea T se define con la ecuación

$$Tx_{min} = (S_p * - a) / b \quad (1.16)$$

Para la definición de la curva F, sustituimos la ecuación 6 en 7 para obtener:

$$F_{60} * = A + B FR_{min} e^{Sp} \quad (1.17)$$

Y como $S_p = a + b T_x$, entonces:

de donde despejando finalmente FR_{min} para establecer la forma matemática de la curva F:

$$FR_{min} = [(F_{60} * - A) / (B e^{a b T_x})] \quad (1.18)$$

1.3.6 Evaluación estructural de pavimentos flexibles

Existe una gran cantidad de variables empleadas para describir el comportamiento desde el punto de vista estructural de un pavimento asfálticos, entre los cuales se encuentra el cálculo de números estructurales mediante la metodología descrita por la AASTHO, la descripción de parámetros cualitativos descritos por Emile Horak, el cálculo de módulos elásticos para las capas que conforman las estructura de pavimento (ver Tabla 1–12), así mismo existe han existido una gran variedad de métodos para la medición de estas características, entre los cuales se encuentran la viga Bekelman, el deflectómetro Lacroid, el deflectómetro de impacto (FWD) este último es uno de los más empleados en la actualidad debido a su alto rendimiento en la toma de información y el alto nivel de reproducibilidad de los datos.

Tabla 1–12: Características de algunos equipos para la medida de deflexiones de pavimentos

EQUIPO	RANGO GENERAL DE FUERZA DINÁMICA (kN)	CARGA TRANSMITIDA POR	SENSORES DE DEFLEXIÓN
VIGA BENKELMAN	N/A	Ruedas de un camión	Diales medidores de deformación
DEFLECTÓGRAFO LACROIX	N/A	Ruedas de un camión	Transductor de deflexiones
KUAB FWD	7– 150	Placa circular seccionada de 300 mm de diámetro	Hasta 12 sismómetros
DYNATEST HWD	27– 245	Placa circular de 300 o 450 mm de diámetro	7/9 geófonos
DYNAFLECT	4.5 entre picos	Dos ruedas metálicas de 40 mm de diámetro por 50 mm de ancho, cubiertas con uretano	4 geófonos
DYNATEST FWD	6.5 – 120	Placa circular de 300 o 450 mm de diámetro	7/9 geófonos
ROAD RATER 2008	2– 30	Placa circular de 450 mm de diámetro	4 geófonos
PHONIX FWD	10 – 100	Placa circular de 300 mm de diámetro	6 geófonos

- **Medida de deflexión bajo carga por impacto**

Dentro de los quipos empleados para la determinación de la respuesta estructural de los pavimentos los equipos que aplican cargas de impacto son los que mejor simulan la acción del tráfico sobre el firme, envían una fuerza dinámica al pavimento a través de la elevación y caída de una masa sobre una placa que está en contacto con la superficie del pavimento; esta fuerza puede ser controlada variando la altura y las pesas que se dispongan (Tavira Díaz, 2014).

Estos equipos constan de una masa que es levantada a una altura determinada la cual causa un impacto en el pavimento, los desplazamientos verticales producidos en el pavimento a causa del impacto son detectados por geófonos situados en línea recta a determinadas separaciones del centro de aplicación de la carga, típicamente (pero no obligatoriamente) 0, 300, 600, 900, 1200, 1500 y 1800 mm. Dentro de los equipos de este tipo se encuentran los deflectómetros Dynatest, KUAB y Phonix (Sánchez Sabogal et al., 2008).

- **Normalización de las deflexiones**

Con el propósito de expresar los valores de deflexión máxima en términos comparables y condiciones estándar, es necesario que se apliquen correcciones a los valores medidos, correspondientes a la carga y temperatura de las capas asfálticas.

- **Corrección por carga**

La carga que impone el FWD al pavimento corresponde a la equivalente a la rueda doble del eje estándar de 8.2 toneladas, es decir, 4.1 toneladas (40 kN).

Debido a que diversas condiciones en la medición pueden derivar en cargas levemente diferentes a la carga objetivo de 40 kN, es necesario corregir las deflexiones obtenidas para que queden en valores obtenidos a dicha carga. La corrección se determina mediante la siguiente relación (Sánchez Sabogal et al., 2008):

$$D_{40} = \frac{P_{40} * D}{P_{medida}} \quad (1.19)$$

Donde:

D_{40} : Deflexión normalizada a carga de referencia de 40 kN, en μm .

P_{40} : Carga de referencia, en kN, esto es, 40 kN.

D : Deflexión medida, en μm .

P_{medida} : Carga aplicada en la medida de campo, en kN.

▪ **Cuencos de deflexiones**

La deflexión superficial se define como la deformación vertical del pavimento debido a la aplicación de una carga que puede ser estática o dinámica, medida a nivel de superficie. Además, representa una respuesta mecánica del sistema pavimento-subrasante como un todo. Esta respuesta a la aplicación de una carga se puede medir de manera rápida y fácil con la ventaja adicional de ser no destructiva para la estructura evaluada (Gómez Maldonado, 2015).

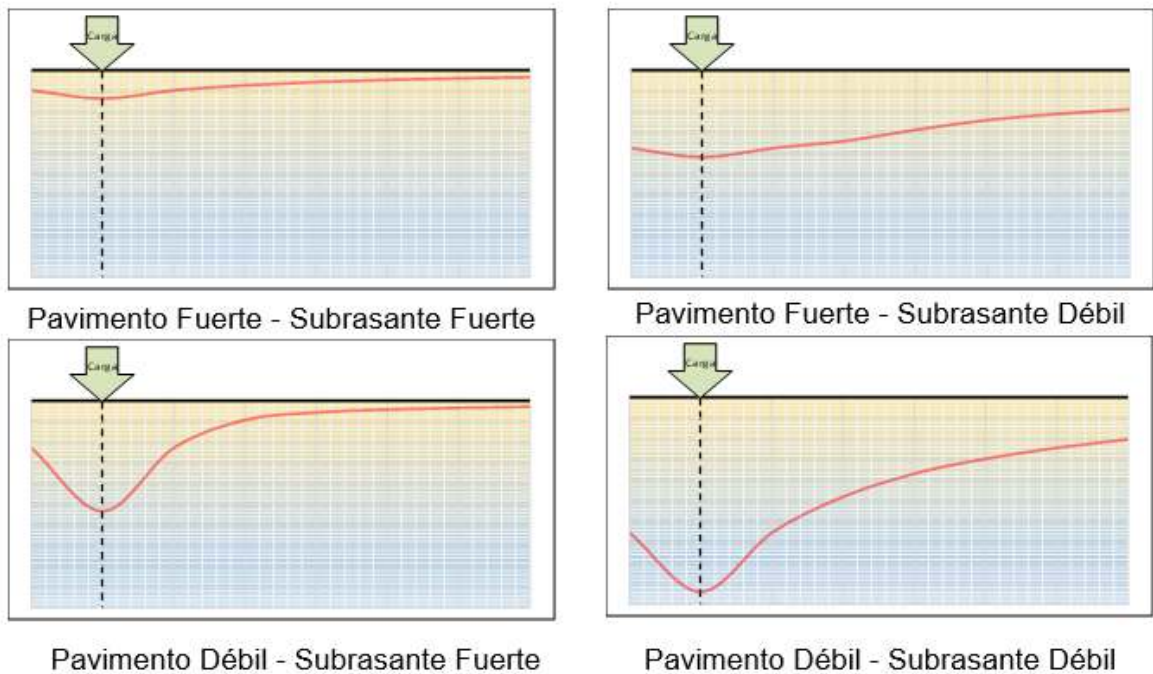
Tabla 1–13: Parámetros de cuenco de deflexión

Parámetro de deflexión	Fórmula	Equipo de medición	Referencia
Deflexiones (d_r)	Deflexión medida a una distancia de la carga	FWD	Hoffman 1981
Área	$\text{ÁREA} = 6(d_0 + 2d_{12} + 2d_{24} + d_{36})/d_0$	FWD	
Áreas adicionales	$\text{ÁREA}_2 = 6(d_{12} + 2d_{18} + d_{24})/d_0$ $\text{ÁREA}_3 = 6(d_{24} + 2d_{36} + d_{48})/d_0$	FWD	
Índices de área (AI)	$AI_1 = d_0 + d_{12}/d_0$ $AI_2 = d_{12} + d_{24}/2d_0$ $AI_3 = d_{24} + d_{36}/2d_0$ $AI_4 = d_{36} + d_{48}/d_0$	FWD	
Área bajo el perfil del pavimento (AUPP)	$AUPP = (5*d_0 - 2d_{12} - 2d_{24} - d_{36})/2$	FWD	Hill and Thomson
Índice de curvatura de la superficie (SCI) ó (BLI)	$SCI = d_0 - d_{12}$	Road Rater, Dynaflect, FWD	Shrivner 1968
Índice de curvatura en la base (BCI) ó (MLI)	$BCI = d_{24} - d_{36}$ ó $BCI = d_{36} - d_{48}$	Dynaflect, FWD	Kilareski 1982

Parámetro de deflexión	Fórmula	Equipo de medición	Referencia
Índice de daño en la base (BDI) ó (LLI)	$BDI=d_{12}-d_{24}$	RR, FWD	Kilareski 1982
Índice de flexión (BI)	$BI=d_0/a$	Viga Benkelman	Hveem 1954
Índice de extensibilidad de la carga (LSI)	$LSI=(d_{48}/d_{24})F$	FWD	Wimsatt 1995
Deflexión máxima (d_0)	d_0	Viga Benkelman, Dynaflect	Shrivner 1968
Radio de curvatura (R)	$R=r^2/(2d_0(d_0/d_r-1))$	Viga Benkelman	Dehlen 1962
Radio influencia (RI)	$RI=x/d_0$	Viga Benkelman	Ford 1962
Factores de forma (F)	$F1=(d_0-d_{24})/d_{12}$ $F2=(d_{12}-d_{36})/d_{24}$ $F3=(d_{24}-d_{48})/d_{36}$	FWD	Hoffman 1981

Al analizar gráficamente el cuenco de deflexiones (Deflexión versus Distancia del geófono) se puede obtener el comportamiento aproximado de la estructura del pavimento como se muestra en la Figura 1-21.

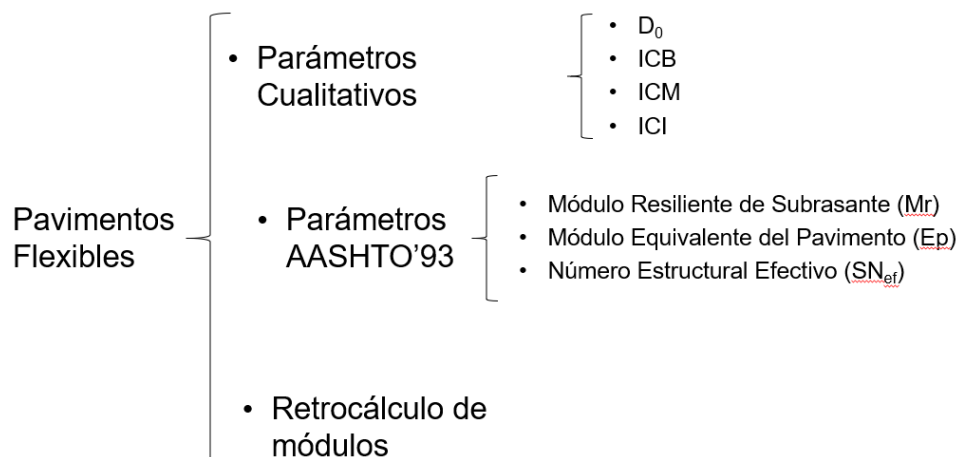
Figura 1-21: Parámetros estructurales para pavimentos flexibles



Fuente : (Beltrán Calvo, 2012)

En la Figura 1-22, se listan algunas metodologías de cálculo estructural empleados para pavimentos flexibles.

Figura 1-22: parámetros estructurales para pavimentos flexibles



• **Parámetros cualitativos de Horak**

Existen parámetros cualitativos que proporcionan información sobre la condición relativa de un pavimento flexible, los cuales han sido formulados bajo las siguientes premisas y se pueden observar en la Tabla 1–14.

- La deflexión bajo el centro de aplicación de la carga representa la deflexión de toda la estructura del pavimento.
- Las diferencias entre las deflexiones cercanas al punto de aplicación de carga reflejan la rigidez relativa en las capas superiores del pavimento.
- Las diferencias entre las deflexiones de la parte media del cuenco de deflexión (entre 300 y 900 mm del punto de aplicación de carga) reflejan la rigidez relativa en las capas granulares o inferiores del pavimento.
- Las deflexiones medidas cerca al extremo del cuenco de deflexión reflejan bastante bien la condición de la subrasante (Horak,E;Emery,S, 2006).

Tabla 1–14: parámetros cualitativos de Horak

Parámetro	Fórmula	Indicador
Índice de las capas superiores	$ICS=d_0-d_{300}$	Junto con otros parámetros, proporciona una idea sobre la rigidez de las capas asfálticas
Índice de las capas intermedias	$IDB=d_{300}-d_{600}$	Deformación compresiva sobre las capas de apoyo de las capas asfálticas

Parámetro	Fórmula	Indicador
Índice de las capas inferiores	$ICB = \frac{d_{600}}{d_{900}}$	Deformación compresiva sobre la subrasante

Se han determinado intervalos de comportamiento para los parámetros del cuenco de deflexión en pavimentos flexibles para evaluar la condición estructural del pavimento (Horak,E;Emery,S, 2006)., los cuales son descritos en la Tabla 1–15.

Tabla 1–15: parámetros cualitativos de Horak y Emery

Tipo de Base	Condición Estructural	d_0 (μm)	ICS (μm)	IDB (μm)	ICB (μm)
Granular	Buena	< 500	< 200	< 100	< 50
	Regular	500 - 750	200 - 400	100 – 200	50 – 100
	Mala	> 750	> 400	> 200	> 100
Cementada	Buena	< 200	< 100	< 50	< 40
	Regular	200 - 400	100 - 300	50 – 100	40 - 80
	Mala	> 400	> 300	> 100	> 80
Bituminosa	Buena	< 400	< 200	< 100	< 50
	Regular	400 - 600	200 - 400	100 – 150	50 - 80
	Mala	> 600	> 400	> 150	> 80

▪ Área normalizada del cuenco

El parámetro del área del cuenco normalizada representa el área bajo la curva que describen las deflexiones entre los geófonos desde el punto de aplicación de carga y 90 centímetros (Ott & Andrus, 2009), a continuación se muestra la ecuación para el sistema internacional de unidades:

$$A_{N0.9} = \frac{150 * (D_{m\acute{a}x} + 2 * D_{0.30} + 2 * D_{0.6} + D_{0.9})}{D_{m\acute{a}x}} \quad (1.20)$$

En donde:

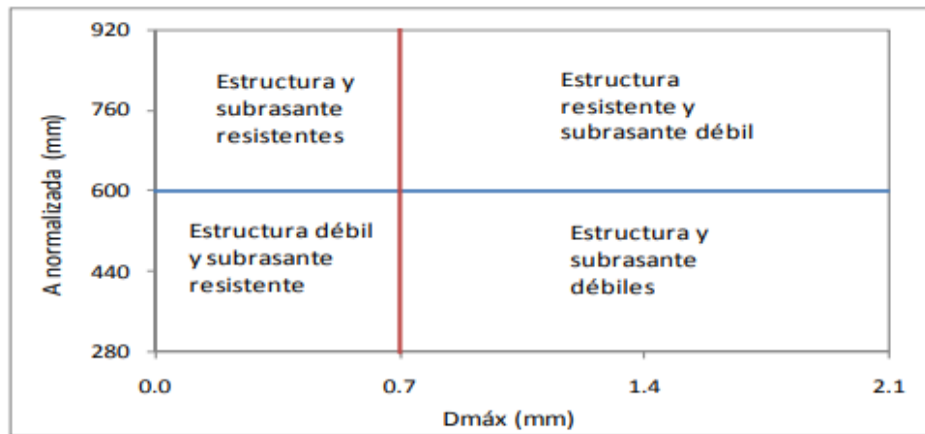
$D_{0.3}$, $D_{0.6}$ y $D_{0.9}$: son las deflexiones medidas a 0.3m,0.6m y 0.9m con respecto al punto de aplicación de la carga.

$A_{N0.9}$: Área normalizada

(Saleh, 2015), pudo observar que el parámetro área poco sensible a la condición estructural de la subrasante, es decir que no posee la capacidad de evaluar la totalidad de la estructura de pavimento. No obstante, a pesar de lo anterior es un buen indicador estructural de todas las capas de pavimento que se encuentran por encima de la subrasante.

Este parámetro puede ser usado para describir el comportamiento de las estructura del pavimento así como de la subrasante, como se muestra en la Figura 1-23 y en la Tabla 1–16.

Figura 1-23: Resistencia de pavimentos según $D_{m\acute{a}x}$ y $A_{N0.9}$



Fuente : (Beltrán Calvo, 2012)

Tabla 1–16: Características de resistencia en función del área normalizada y $D_{m\acute{a}x}$

AN0.9 (mm)	$D_{m\acute{a}x}$	Subrasante	Pavimento
Baja (<600)	Baja (<0.7)	Resistente	Débil
	Alta (>0.7)	Débil	
Alta (>600)	Baja (<0.7)	Resistente	Resistente
	Alta (>0.7)	Débil	

Fuente : (Beltrán Calvo, 2012)

- **Parámetros AASTHO**

De acuerdo con la metodología AASHTO'93, el cálculo del módulo resiliente de la subrasante puede determinarse a partir de las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto (FWD), por medio de la siguiente expresión (Gutiérrez Bayona, 2012):

$$Mr = C \frac{0.24P}{D_r \cdot r} \quad (1.12)$$

Donde:

Mr : Módulo resiliente, en psi

P: Carga aplicada, en lb

d_r : deflexión medida a una distancia r, en in

C: Factor de ajuste del módulo resiliente obtenido por deflexiones al módulo resiliente obtenido en laboratorio. La Guía de la AASHTO'93 recomienda el empleo de un valor de 0.33.

r: distancia radial en la cual la deflexión es medida, en in

De acuerdo con lo propuesto por Darter y adoptado por la AASHTO, la deflexión empleada para calcular el módulo de la subrasante debe ser medida lo suficientemente lejos del punto de aplicación de carga, de tal modo que provea un buen estimativo del módulo de la subrasante, independientemente de los efectos de cualquiera de las capas por encima de ésta; pero también debe estar lo suficientemente cerca, de tal modo que no sea muy pequeña e impida una medición precisa. La mínima distancia debe determinarse por medio de la siguiente relación:

$$r \geq 0.7 * a_e \quad (1.21)$$

En donde:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D^3 \sqrt{\frac{Ep}{Mr}} \right)^2} \quad (1.22)$$

Donde:

a_e : radio del bulbo de esfuerzo en la interfase subrasante-pavimento, en in

a : radio del plato de carga NDT, en in

D : espesor total de la estructura de pavimento sobre la subrasante, en in

E_p : Módulo equivalente del pavimento, en psi

El módulo equivalente refleja la capacidad estructural del pavimento existente, es decir, la rigidez equivalente otorgada por la capa asfáltica que la conforma y los materiales que se encuentran bajo ésta. El módulo equivalente se determina empleando la metodología de la AASHTO'93, alimentada con la medición deflectométrica, mediante la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5pa \left\{ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left(\frac{D^3 E_p}{a \sqrt{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\} \quad (1.23)$$

Donde:

d_0 : Deflexión central ajustada a 20°C.

p : Presión en el plato de carga (psi).

a : Radio del plato de carga (in).

D : Espesor total de la estructura de pavimento.

M_R : Módulo resiliente de la subrasante (psi).

E_p : Módulo equivalente del pavimento (psi).

La metodología propuesta por la *American Association of State Highways and Transportation Officials* (AASHTO) emplea el concepto del número estructural efectivo (SNe_f) para valorar la capacidad estructural de un pavimento. Este parámetro estructural

puede ser calculado a partir de mediciones de deflexión con FWD, con la siguiente expresión (Akmalivah, 2013):

$$SN_{Efectivo} = 0.0045 * D * \sqrt[3]{E_p} \quad (1.24)$$

Donde:

D , es el espesor total de las capas del pavimento arriba de la subrasante, en pulgadas.

E_p, es el módulo efectivo de todas las capas del pavimento arriba de la subrasante, en psi.

- **Retrocálculo de módulos**

Los datos de deflexión del pavimento se pueden analizar de varias maneras para ayudar proporcionar información detallada sobre un pavimento específico. Uno de estos es el proceso de retrocálculo a través del cual se estima la resistencia del pavimento como los valores de módulo de las capas de pavimento y la subrasante,

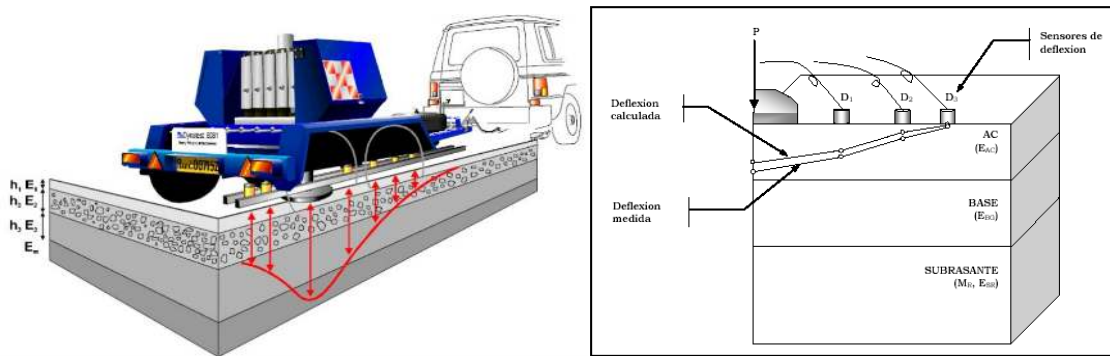
Una suposición subyacente en el proceso de retrocálculo es que un conjunto de valores de módulo de capa existe que produce las deflexiones medidas bajo la carga aplicada. Es importante notar, sin embargo, que la solución puede no ser única.

Los resultados de deflexiones del FWD se emplearon para determinar los módulos de las capas del pavimento, empleando el procedimiento de retrocálculo, a partir de la carga dinámica aplicada (P), el radio de la placa de carga (r), los espesores de las capas (h_i) y las relaciones de Poisson (μ) de los materiales que las constituyen. La premisa fundamental de este procedimiento es que, para el pavimento bajo análisis, sólo existe una combinación de los módulos de las diversas capas que da lugar a un cuenco de deflexiones teórico que coincide con el medido en el lugar con el deflectómetro, sin embargo Para obtener buenos resultados, Se debe usar el juicio de ingeniería para asegurar que el valor del módulo seleccionado para cada capa sea dentro de un rango razonable para el tipo de

material. Los resultados del retrocálculo pueden ser muy variables debido a la variabilidad en la condición del pavimento, la condición del subsuelo, las propiedades del material y estructura de pavimento a lo largo del proyecto (FHWA, 2017).

El retrocálculo es una evaluación mecanicista, a través de la cual se busca la coincidencia, con algún margen de tolerancia, entre el cuenco de deflexión calculado mediante la aplicación de la teoría elástica y el cuenco producido en el pavimento por el equipo de medida de deflexiones (ver Figura 2-18). El proceso, que involucra los módulos de las diversas capas del pavimento y la subrasante, es normalmente iterativo (NLT, 1998).

Figura 1-24: Cuenco de deflexiones teórico y real



Fuente : (Higuera, 2011)

En el proceso de retro cálculo, las deflexiones del pavimento se determinan utilizando la teoría de la elasticidad de la capa, el espesor de la capa y los módulos de la capa asumidos y empleando las ecuaciones de distribución de esfuerzo planteadas por Boussinesq. Se utiliza un enfoque iterativo para variar los módulos de las capas hasta que la cuenca de deflexión calculada coincida con la cuenca de deflexión medida por la FWD. La solución se encuentra cuando la diferencia entre la cuenca de deflexión medida y la calculada se minimiza (Pierce & Sivaneswaran, 2012)

Para la determinación del grado de convergencia entre el cuenco medido y el calculado en el proceso, se empleó la Raíz del Error Medio Cuadrático (RMS), cuya expresión de cálculo es la siguiente:

$$RMS(\%) = \left[\sqrt{\frac{1}{n_d} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2} \right] \times 100 \quad (1.25)$$

Donde:

RMS: Raíz del error medio cuadrático.

d_{ci}: Deflexión superficial del pavimento, calculada en el punto del sensor *i*.

d_{mi}: Deflexión superficial del pavimento, medida con el sensor *i*.

n_d: Número de sensores de deflexión usados en el proceso de retrocálculo.

A menor RMS, mejor se considera que es el ajuste de los módulos obtenidos con respecto a los reales.

En el transcurso de los años, los investigadores y profesionales han desarrollado numerosos enfoques para el cálculo retrospectivo de los módulos de las capas y subrasantes del pavimento, así como numerosos programas de software para realizar los cálculos. La Tabla 1–17 resume los programas de software disponibles que pueden utilizarse para el cálculo retrospectivo de los datos de deflexión del pavimento que el equipo de investigación pudo identificar durante la realización de este estudio de investigación

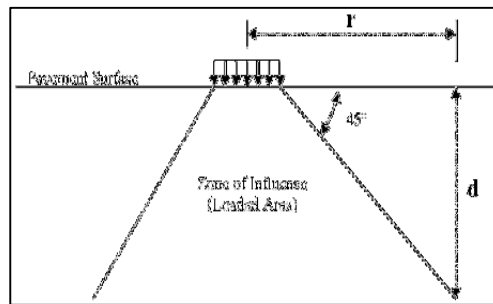
Tabla 1–17: Resumen de programas para la evaluación de retro cálculo de módulos

Nombre del programa	Dominio público	Pavement Type	Maximum Number of Layers	Convergence Scheme	Error Weighting Function
BAKFAA	Yes	Flexible/rigid	Five	Sum of squares of absolute error	Yes
BISDEF©	No	Flexible	Number of deflections; best for three unknowns	Sum of squares of absolute error	Yes
BOUSDEF 2.0	No	Flexible	At least four	Sum of percent errors	Varies
CHEVDEF	Yes	Flexible	Number of deflections; best for three unknowns	Sum of squares of absolute error	Yes
COMDEF	No	Composite	Three	Various	No
DBCONPAS	No	Rigid	Two	N/A	N/A

Nombre del programa	Dominio público	Pavement Type	Maximum Number of Layers	Convergence Scheme	Error Weighting Function
DIPLOBACK	No	Composite	Three	Closed form solution	N/A
ELMOD®/ ELCON 5	No	Flexible/rigid	Four (exclusive of rigid layer)	Relative error of five sensors	No
ELSDEF	No	Flexible	Number of deflections; best for three unknowns	Sum of squares of absolute error	Yes
EMOD	No	Flexible	Three	Sum of relative squared error	No
EVERCALC©	Yes	Flexible	Three (exclusive of rigid layer)	Sum of absolute error	No
FPEDD1	No	Flexible	Three- or four-layer model	Relative deflection error	No
ISSEM4	No	Flexible	Four	Relative deflection error	No
MICHBACK©	Yes	Flexible/ composite	Three + rigid layer	Least squares	Yes
MODTAG©	Yes	Flexible	Two to 15 layers; maximum of five unknown layers	Relative deflection error at sensors	No
MODULUS 6.0	Yes	Flexible	Four plus rigid layer	Sum of relative squared error	Yes
PADAL 2	No	Flexible	Four plus rigid layer	Sum of relative squared error	Yes
PCASE 2.08	Yes	Rigid/flexible/ composite	5	Sum of squares of absolute error	Yes
RPEDD1	No	Rigid	Three- or four-layer model	Relative deflection error	No
WESDEF	Yes	Flexible	Four + rigid layer	Sum of squares of absolute error	Yes

- **Módulo de superficie**

Módulos de superficie se calculan utilizando las ecuaciones de Boussinesq con las deflexiones medidas en la superficie, En el siguiente esquema se representa su cálculo.

Figura 1-25: Representación módulo de superficie

- Carga circular aplicada en la superficie del pavimento
- Líneas diagonales denotan la parte de la estructura del pavimento que experimenta la presión de la carga de la superficie
- Deflexiones medidas a distancia r refleja la respuesta de la parte del pavimento a una profundidad d y más abajo

A continuación se muestra la ecuación para el cálculo del módulo de superficie en el centro del plato de carga.

$$E_0 = \frac{2P(1 - \mu^2)}{\pi a d_0} \quad (1.26)$$

En la siguiente ecuación se muestra la expresión para el cálculo de módulo de superficie a una distancia r:

$$E_0 = \frac{P(1 - \mu^2)}{\pi r d_r} \quad (1.27)$$

En donde:

E_0, E_r = Módulo de Superficie, MPa

P = carga aplicada, N

μ = Coeficiente de Poisson (normalmente se asume que es 0.35)

a = radio de la carga aplicada, mm

d_0 = deflexión en el centro de la carga aplicada, mm

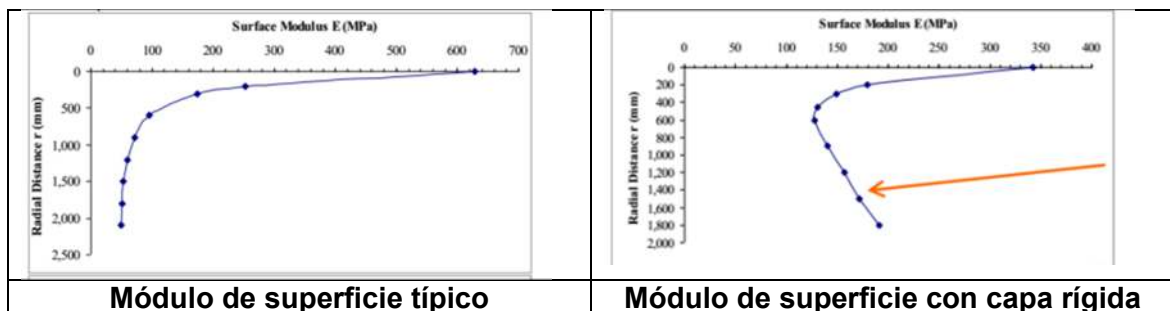
r = distancia desde el centro de la carga aplicada, mm

d_r = deflexión a distancia r desde el centro de la carga aplicada, mm

A partir de la medida de la deflexión a diferentes distancias del centro de aplicación de la carga (como en el caso de la auscultación de la deflexión con un deflectómetro de impacto), mediante las ecuaciones anteriores pueden obtenerse los parámetros E_0 y E_r a dichas distancias. Éstos son los denominados módulos equivalentes de superficie, y representan los valores del módulo que, para un semi espacio elástico y homogéneo de Boussinesq, darían como resultado una deflexión igual a la correspondiente medida sobre la estructura del pavimento a la distancia indicada. (Bardosano, 2014)

Los módulos de superficie se utilizan para evaluar la calidad de los datos de deflexiones, ya que se puede realizar una comprobación rápida para determinar la existencia o no de una capa rígida a poca profundidad. (Alfonso Barrera, 2019).

Figura 1-26: Esquema módulo de superficie



1.4 Tramos de prueba

Para estudiar el comportamiento de los materiales que componen la estructura del pavimento se puede recurrir a dos tipos de pruebas:

Los ensayos en tiempo real (RTL = Real Time Loading Test) que consisten en realizar un seguimiento a un tramo de prueba hasta un tiempo igual a la vida útil del pavimento (aproximadamente diez o quince años)

Los ensayos acelerados (ALT = Accelerated Loading Test) en los cuales se aplica una carga artificial que reproduce los efectos de una circulación normal, pero a una escala de tiempo más corta (algunas semanas o algunos meses).

Los ensayos acelerados utilizan bien sea pistas especialmente creadas que reciben los vehículos con una frecuencia de paso acelerada, este fue el caso de los ensayos AASHTO

de los Estados Unidos (HRB 1961) o los dispositivos especiales tales como los carruseles de fatiga que existen en diversos laboratorios alrededor del mundo (Corredor, 2008).

Las pruebas en tiempo real son las que se realizan con mayor frecuencia ya que ellas se pueden ejecutar sin necesidad de grandes equipos. Sin embargo, el largo tiempo necesario para llevar a cabo la experiencia hace que sus resultados sean difíciles de interpretar, además es frecuente que se interrumpa prematuramente el estudio.

A continuación, se listan algunos de los antecedentes de trabajos en donde se buscó determinar el comportamiento de pavimentos mediante la construcción y seguimiento de tramos experimentales:

1.4.1 Ensayos acelerados

Los ensayos acelerados utilizan bien sea pistas especialmente creadas que reciben los vehículos con una frecuencia de paso acelerada o los dispositivos especiales tales como los carruseles de fatiga que existen en diversos laboratorios alrededor del mundo, Uno de los trabajos de mayor relevancia en el seguimiento del comportamiento de tramos experimentales fue el AASHO ROAD TEST (American Association of State Highway Officials), este estudio se realizó con el fin de estudiar el rendimiento de las estructuras pavimentadas de espesor conocido bajo cargas móviles de magnitudes y frecuencias conocidas, Este estudio, llevado a cabo desde los años 1950 en Illinois (Estados Unidos), es frecuentemente la primera fuente de información de datos experimentales relativos al daño que producen los vehículos en las carreteras, para el propósito de diseñar la carretera, evaluar el coste y la rentabilidad de una vía.

Los resultados de la prueba de carretera AASHO se utilizaron para elaborar una guía de diseño de pavimentos, publicado por primera vez en 1961 como el "AASHO Guía provisional para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos", con importantes actualizaciones publicadas en 1972 y 1993. La versión de 1993 es todavía de uso generalizado en los Estados Unidos.

- Desarrollos europeos sobre pruebas aceleradas

En Europa diferentes países han realizado estudios en tramos de prueba experimentales, en el año 2000 la comisión europea estableció un programa llamado cost 347, el cual tiene

como principal objetivo desarrollar un código europeo de buenas prácticas para optimizar el uso de la Prueba de carga acelerada (ALT).

Un total de 18 países europeos participaron en la Acción COST 347, junto con la participación de Comité TRB sobre pruebas de pavimento a gran escala acelerado además de tener estrechos vínculos con centros ALT en Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda.

- En Dinamarca: La Danish Road Testing Machine es una instalación de vía lineal capaz de probar pavimentos a gran escala bajo cargas de ruedas de hasta 65 kN (14.300 lb) a velocidades de hasta 30 km / h (18.6 mph). El pavimento se construye en un pozo y la temperatura en el pavimento se puede controlar entre -10°C y + 30°C (14°F a 86°F)

Figura 1-27: Pista de pruebas DRTM, Dinamarca



- En Francia: La pista de prueba circular más grande en operación se encuentra en el Instituto Francés de Ciencia y Tecnología para el Transporte, el Desarrollo y las Redes (IFSTTAR) cerca de Nantes. Esta instalación cuenta con un sistema de carga giratoria de cuatro brazos, que ejecuta conjuntos de dos ruedas en una pista interior, 30 m (100 pies) de diámetro, y una pista exterior, 40 m (131 pies) de diámetro. Se pueden aplicar cargas de 40 a 75 kN (8.800 a 16.520 lb) en una rueda doble, a velocidades de hasta 105 km/h (65 mph). Es posible simular ejes en tándem de 280 kN (61,500 lb) a velocidades más bajas y simular la carga de una sola rueda. La primera prueba se realizó en 1978. Este exitoso programa APT, con amplios estudios de investigación y una fuerte interacción, aunque asociarse con la industria es uno de los más activos en el mundo en la actualidad.

Figura 1-28: Pista de pruebas IFSTTAR, Francia



→ En Alemania: El Instituto Federal de Investigación de Carreteras (BAST) tiene dos tipos de instalaciones de pruebas aceleradas de pavimento disponibles, desde 1960 hasta el 2012 se utilizaron los llamados actuadores de impulso para el estudio de modelos a escala real, pero, desde el año 2013 se ha utilizado principalmente el Mobile Load Simulator MLS30. El MLS30 se caracteriza por su alta frecuencia de carga de máximo 0.6 Hz. Cuatro ruedas de carga (simples o neumáticos dobles) con una carga constante de 45-75 kN se guían en una distancia de carga de 3.0 m. La velocidad de carga se puede establecer entre 2.0 m/s y hasta 6.0 m/s. Desde 2013, la investigación se ha centrado en la evaluación de los materiales estructurales, la evaluación de las innovaciones (asfalto de autocuración, recolección de energía de la carretera) y el análisis de conexiones de hormigón prefabricado. Además, se han implementado modificaciones y desarrollos adicionales de la tecnología de medición.

Figura 1-29: Actuador de impulso (Izquierda), MLS30 (Derecha)



→ En los Países Bajos: El Laboratorio de Investigación de Carreteras y Ferrocarriles de la Universidad Tecnológica de Delft (TUDelft) tiene una instalación lineal llamada LINTRACK, esta se puso en servicio en 1991. El conjunto de la rueda de carga permite el montaje de ruedas simples, dobles con cargas de 15 a 100 kN y permite realizar pruebas a 20 km/h. La investigación realizada mediante el LINTRACK se centró en la validación de modelos empíricos y teóricos para la formación grietas, la evaluación de los efectos dañinos de varias configuraciones de ruedas y la evaluación del rendimiento de estructuras de pavimento innovadoras.

Figura 1-30: LINTRACK, Países bajos



→ En Finlandia y Suecia: tienen un programa APT conjunto que opera un vehículo de simulación pesado (Mark IV). El dispositivo es propiedad conjunta del Centro de Investigación Técnica de Finlandia, la Administración Nacional de Carreteras de

Finlandia y el Instituto Nacional de Investigación de Carreteras y Transportes (VTI) de Suecia.

El HVS-Nordic es una máquina de prueba de pavimento acelerado lineal a gran escala, este se ubicó inicialmente en Finlandia en 1997 y 1998, y luego en Suecia desde 1998 hasta 2000.

En Finlandia, la máquina se encuentra en el Centro de Investigación Técnica y en Suecia en VTI. Las ruedas de carga del HVS – Nordic pueden ser dobles o simples con neumáticos estándar o de base ancha. El movimiento lateral es de ± 750 mm y la carga de la rueda se puede variar entre 20 kN y 110 kN con velocidades de hasta 15 km / h.

Figura 1-31: NORDIC-HVS, Finlandia y Suecia



- En España: tiene una instalación importante en el Centro de Estudios Viales (Centro de Estudios de Carreteras CEC) cerca de Madrid. Una viga-raíl ubicada en el perímetro interior de la pista sirve de guía para dos vehículos automáticos. Los dos vehículos de prueba aplican la carga por gravedad mediante un semieje pesado. Se puede fijar una carga comprendida entre 5,5 y 7,5 toneladas. En las pruebas se fija a 6,5 toneladas, que es el equivalente a la carga máxima permitida en España para un solo eje (13 toneladas).

Figura 1-32: Pista de pruebas CEDEX, España



- Otros desarrollos de pruebas aceleradas

Se destacan dos proyectos, el de Costa Rica y el de Colombia:

→ En Costa Rica: en el año 2005 el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (Lanamme UCR) empezó a estudiar las ventajas de la adquisición de un equipo de ensayo acelerado de pavimento (APT), el cual se compró en el año 2011 y se realizó la construcción de tramos de prueba y experimentación en el año 2013.

Equipos para ensayo acelerado de pavimentos como el Simulador de Vehículos Pesados (HVS en inglés) permiten simular el desempeño en campo de una estructura de pavimento en un período reducido de tiempo

Figura 1-33: Simulador de Vehículos Pesados (LANAMME)



→ Colombia: Desarrollo del carrusel de fatiga de la universidad de los Andes: en 1998 la Universidad de los Andes comenzó el desarrollo de un carrusel de fatiga de pavimentos. Este equipo comenzó su operación a comienzos del año 2000, el

mecanismo permite un trasladarlo de forma fácil y puede simular hasta 200.000 repeticiones de cargas de ejes simples de hasta 15 toneladas por eje, posee una pista circular de 4 m de ancho y 35 m de largo promedio (Caicedo & Perez A, 2000).

Figura 1-34: Carrusel de fatiga Universidad de los Andes



1.4.2 Los ensayos en tiempo real

Como ejemplos de ensayos a gran escala en tiempo real se tiene:

- Estados Unidos: Experiencia iniciada en los Estados Unidos en 1987 y que se continua hasta hoy en día (FHWA 1996). Esta experiencia se denomina LTPP (Long Term Pavement Performance Program) y se lleva a cabo dentro del marco SHRP (Strategic Highway Research Program) este programa consta de aproximadamente 2000 secciones de vías localizadas en los Estados Unidos y Canadá. Las secciones de prueba de pavimento se clasifican como GPS o SPS la diferencia fundamental es que, las primeras son pavimentos existentes y las secciones de prueba de pavimento SPS eran sitios donde se construyeron múltiples secciones de prueba de diferentes factores de tratamiento experimental. Generalmente, cada sección de prueba de GPS y SPS mide alrededor de 152 m con una sección área de muestreo de materiales de 15.2 m en cada extremo. (U.S Department of Transportation, 2021).

En Colombia se han realizado tramos de prueba a pequeña escala en tiempo real. Se destacan los siguientes proyectos:

- Bogotá: En este estudio se muestran los resultados de la evaluación del comportamiento de un pavimento flexible, después de la aplicación de un rejuvenecedor de asfalto de referencia WD200, sobre la carpeta de rodadura de

dos sectores de un segmento vial ubicado en la localidad de Suba, y perteneciente a la malla vial local de Bogotá. La evaluación se realizó mediante la comparación de los resultados de pruebas funcionales realizadas en áreas tratadas con el producto vs los resultados de las mismas pruebas en áreas no tratadas. (Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, 2018).

- Bogotá: Segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas – pista de prueba. El instituto de desarrollo urbano (IDU) con la colaboración de la universidad de los andes llevaron a cabo el seguimiento del comportamiento de pavimentos asfálticos mejorados con caucho reciclado, partiendo de un estudio preliminar de factibilidad del uso de grano de caucho por vía humedad y seca de realizado en el 2001, en la cual se realizaron pruebas a escala real mediante el carrusel de fatiga de la universidad de los Andes. Desde el año 2003 al 2005 se llevó a cabo la segunda etapa del estudio mediante la construcción de tramos de prueba a escala real para el cual se escogió un tramo de 270 metro en el cual se dividió en tramos de 54 m para cada tipo de mezcla analizado (Universidad de los Andes, 2005)
- Medellín: Comportamiento de una pista experimental de pavimento flexible con base estabilizada con cal Este trabajo se llevó a cabo en el año 2009 por la universidad de Medellín en este se presentan resultados de una investigación realizada para determinar las propiedades de deformabilidad de bases estabilizadas con cal a partir de ensayos de campo no destructivos. Se realizaron ensayos de placa estática y viga Benkelman en un tramo de prueba de pavimento flexible de 70m de longitud. . (Hidalgo Montoya, Pandales, Pedroza Valdés, & Rodríguez Moreno, 2010).
- Bogotá: Informe de resultados final de la construcción y seguimiento técnico a los pavimentos de cuatro (4) tramos de prueba: Proyecto desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia y la Unidad de Mantenimiento Vial de la Alcaldía de Bogotá (Coronado & Betancourt, 2016), el cual consistió en el seguimiento en la etapa inicial de (4) cuatro tramos de prueba con mezclas asfálticas modificadas

con Sasobit, Cal, Cal +negro de humo y aceite fluxante, los tramos en estudio se localizaban en los barrios de Restrepo, Puente Aranda, Cundinamarca y Villa Luz cuya descripción particular se muestra en la Tabla 2–3, los tramos oscilan entre los 93 a 129 metros y ancho promedio de 8 metros. Se realizó una evaluación o seguimiento periódico de los tramos de prueba mediante campañas de medición, que incluyeron cuatro (4) campañas por tramo para la valoración de parámetros funcionales y estructurales del pavimento. Dichas campañas, ejecutadas a diferentes intervalos temporales, contemplan la evaluación de los parámetros funcionales y estructurales que se relacionan a continuación:

- Índice de condición superficial del pavimento (PCI y Ahuellamiento)
- Determinación del IRI con equipo MERLIN
- Macro-textura con círculo de arena
- Resistencia al deslizamiento con el péndulo de fricción
- Exploración indirecta de la estructura con Georradar (una vez por tramo)
- Ensayos de deflectometría mediante el FWD

Evaluación de los cambios químicos que experimenta el asfalto durante el proceso de envejecimiento a corto plazo y su relación con algunas propiedades físico-mecánicas: En este trabajo se evaluaron los cambios físicos y químicos que experimenta el asfalto por efecto del envejecimiento a corto plazo (ECP) y establecieron relaciones con algunas propiedades físico-mecánicas convencionales. La investigación del ECP del asfalto se realizó a partir de la auscultación del envejecimiento en campo, la selección de los tramos experimentales estableciendo el comportamiento del tránsito, características geotécnicas y el control de calidad de los materiales de construcción desde, incluyendo la calibración de la planta de producción de asfalto.

Este proyecto permitió realizar la evaluación del envejecimiento según modelos, convencionales y uno modificado de laboratorio, y mediante la realización de 4 tramos de prueba con diferentes características en su carpeta asfáltica permitió evaluar alternativas para mejorar la durabilidad de mezclas asfálticas modificadas (MAM, en fase húmeda con aceite fluxante, cal hidratada, Sasobit y una mezcla de

negro de humo y cal hidratada), y verificación del desempeño de las MAM, en laboratorio y en tramos experimentales durante un período de corto plazo.

Los tramos de prueba producto de este análisis serán tomados como base de partida para el presente estudio.

2. Metodología

La evaluación de los pavimentos y de los concretos asfálticos de las capas de rodadura correspondientes, de los tramos viales de experimentación y objetos de estudio en este trabajo, requirieron de la realización de una variedad de ensayos de campo, aplicados bajo condiciones apropiadas y con equipos convencionales y de alto rendimiento del tipo no destructivo. En este capítulo se describe de manera resumida como se realizaron los procesos de realización de ensayos, los análisis asociados y la aplicación de los criterios técnicos necesarios para la evaluación del desempeño ingenieril.

La metodología utilizada fue planteada luego de hacer una revisión bibliográfica centrada en las características de los pavimentos existentes y los métodos de evaluación de pavimentos con el fin de determinar el desempeño de cada una de las mezclas asfálticas, esta metodología se divide en tres ítems los cuales son:

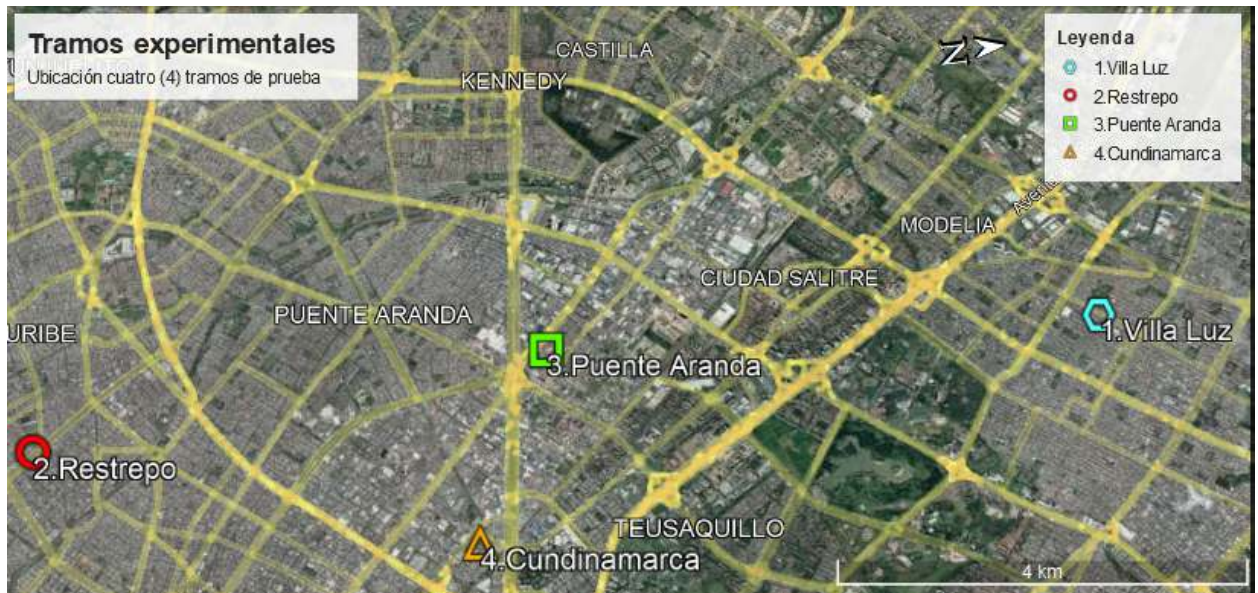
- Tramos viales experimentales en operación; tramos construidos en el año 2015 en la ciudad de Bogotá por medio de un convenio entre la Universidad Nacional y la Unidad de Malla Vial. En este subcapítulo se describe la ubicación de los tramos experimentales, materiales de construcción, las mezclas asfálticas y asfaltos utilizados en cada uno de los tramos, dosis optimas y función de cada aditivo; también características generales como el ancho, la longitud y el espesor de la estructura de pavimento.
- Metodología general; se expone de manera breve la metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación con ayuda de un mapa conceptual.
- Metodología específica; el objetivo de esta investigación es determinar el desempeño de los tramos experimentales y de las mezclas asfálticas por medio de ensayos que permitan establecer las características funcionales y estructurales. En este ítem se explica de manera breve para que sirve y como se llevan a cabo estos ensayos y algunas especificaciones que se deben tener en cuenta de acuerdo con la normativa vigente.

2.1 Tramos viales experimentales en operación

A partir de investigaciones previas desarrolladas (Coronado y Betancourt, 2016; Betancourt, 2018) como parte de su trabajo doctoral se establecieron las características químicas del asfalto y la influencia del envejecimiento a corto plazo, para lo cual se realizó el diseño y la construcción de cuatro (4) tramos experimentales, que se encuentran en operación desde el 2015, los cuales se tomaron como punto de partida para el desarrollo de la presente investigación.

En primer lugar, se llevó a cabo una investigación que incluyó la revisión de las características de los tramos experimentales existentes y una búsqueda bibliográfica con el fin de definir el estado de la investigación y planear la forma de abordar el problema. Los tramos de prueba seleccionados para el estudio fueron construidos en el año 2015 mediante un convenio entre la Universidad Nacional y la Unidad de Malla Vial (UMV), dentro del alcance del contrato 183 DE 22 octubre de 2012 para la implementación de tramos experimentales con mezclas modificadas en la malla vial local de la ciudad de Bogotá.

En la Figura 2-1, se muestra la ubicación de los cuatro (4) tramos que se evaluarán

Figura 2-1: Ubicación tramos de prueba

Para la construcción de los tramos experimentales fue necesario establecer en laboratorio las características físico-mecánicas de las vías, materiales de construcción y subsuelo con el fin de realizar el diseño estructural según el IDU ET 2011. Para el diseño de las mezclas fue fundamental conocer estudios de tránsito y geotecnia.

Los cuatro tramos experimentales se diseñaron y construyeron empleando iguales características de materiales granulares y con diferentes aditivos modificadores en las asfálticas modificadas con el fin de establecer alternativas que permitan mayor durabilidad de la estructura. Estos aditivos son: Aceite fluxante (AF), cal hidratada (CaH), Sasobit (Sas), y negro de humo con cal hidratada (NeH). En la siguiente tabla se resumen las características de las adiciones empleadas en cada una de las mezclas asfálticas empleadas.

Tabla 2-1: Características de las adiciones empleadas

Tramo	Aditivo	Función	Dosis óptima
Villa Luz	Aceite Fluxante (AF)	Reducir la consistencia del asfalto hasta penetración 80-100	0.5% - 2.0%
Restrepo	Cal hidratada (CaH)	Impedir reacciones de oxidación y reducir la volatilización a temperaturas de trabajo (140°C - 160°C)	8.00%
Puente Aranda	Sasobit (Sas)	Mitigar efectos de oxidación y volatilización a temperaturas de trabajo (120°C - 140°C)	3.00%

Tramo	Aditivo	Función	Dosis óptima
Cundinamarca	Cal hidratada (CaH) y Negro de humo (NeH)	Impedir reacciones de oxidación y reducir la volatilización a temperaturas de trabajo (140°C - 160°C)	CaH 2.0% NeH 5%

Fuente: (Betancourt, 2018)

La dosis optima de los aditivos fue posible determinarla por medio del ensayo del punto de ablandamiento de cada una de las mezclas. En la Tabla 2–3 se muestra el resumen de las características de los tramos analizados (Coronado & Betancourt, 2016).

En la tabla siguiente se muestran los parámetros de diseño considerados para los tramos experimentales.

Tabla 2–2: Parámetros de diseño tramos experimentales

Parámetros de diseño		Tramos experimentales			
		Villa Luz T1-AF	Restrepo T3-CalH	Puente Aranda T2-Sas	Cundinamarca T4-NeH-Cal H
Condiciones generales					
Periodo de diseño	n (años)	10			
Tránsito	Número de ejes	1912861	1675305	12074170	2431001
Nivel de confianza	R (%)	85			
Error estándar	So	0.45			
Cambio en el índice de servicio	Delta PSI	2			
Calidad de drenaje		may-25			
Tiempo de exposición	%				
Módulo resilientes, E (MPa)					
Capa asfáltica	E1	3000	3200	2800	3200
Base granular	E2	214			
Sub base granular	E3	117			
Mejoramiento de la subrasante	Esub eq	43.8	73.5	46.1	49
Subrasante natural	Esub	19.3	52.2	32.1	21.7

Fuente : (Betancourt, 2018)

Tabla 2-3: Caracterización geotécnica y resumen del diseño estructural del pavimento

Barrio	Dirección	Longitud (m)	Ancho (m)	Capa/Material	Espesor (cm)	Espesor total (m)	Subrasante	Módulos resilientes (kg/cm ²)	Norma
Villa Luz	Cll 64F entre carreras 76A Y 77 bis	102.5	8	Carpeta asfáltica (asfalto 80/100)	7.5	1.09	Suelos blandos, presencia de arcillas y limos	<300	IDU ET-11
				Base granular (BG-G)	20				
				Sub-base granular (SBG-B)	30				
				Sello-rajón (SBG-C)	10				
				Rajón	40				
Restrepo	Tv 21 entre Cra 20 bis y Cra 22 S	93.8	8	Carpeta asfáltica con asfalto modificado con cal hidratada	12	0.92	Suelos duros	>300	IDU ET-11
				Base granular (BG-G)	20				
				Sub-base granular (SBG-B)	30				
				Sello-rajón (SBG-C)	10				
				Rajón	20				
Puente Aranda	Diag 14 bis entre Cra 54 y Cra 55	129.5	8	Carpeta asfáltica con sasobit (mezcla tibia)	11	1.08	Suelos blandos	<300	IDU ET-11
				Base granular (BG-G)	20				
				Sub-base granular (SBG-B)	30				
				Sello-rajón (SBG-C)	10				
				Rajón	40				

Barrio	Dirección	Longitud (m)	Ancho (m)	Capa/Material	Espesor (cm)	Espesor total (m)	Subrasante	Módulos resilientes (kg/cm ²)	Norma
Cundinamarca	Cll 19B entre Cra 34 y Cra 35	100	9	Carpeta asfáltica con asfalto modificado con cal hidratada y negro de humo	11.5	0.92	Suelos duros	>300	IDU ET-11
				Base granular (BG-G)	20				
				Sub-base granular (SBG-B)	25				
				Sello-rajón (SBG-C)	10				
				Rajón	30				

Fuente : (Coronado & Betancourt, 2016)

2. Metodología

Los asfaltos utilizados en los tramos experimentales son asfaltos del Complejo Industrial de Barrancabermeja los cuales son idóneos para pavimentación y su fuente de suministro son las plantas de producción de mezclas asfálticas. En cuanto a la penetración del asfalto modificado y teniendo en cuenta que los tramos experimentales están ubicados en la ciudad de Bogotá, Colombia donde el clima predominante es frío se seleccionó una penetración de 80-100.

En cuanto a las mezclas asfálticas de estos tramos son mezclas modificadas que se caracterizan por ser densas; la producción de estas puede ser en laboratorios o plantas. Las mezclas asfálticas diseñadas para los tramos experimentales están conformadas por agregados pétreos y asfaltos modificados.

2.2 Metodología general

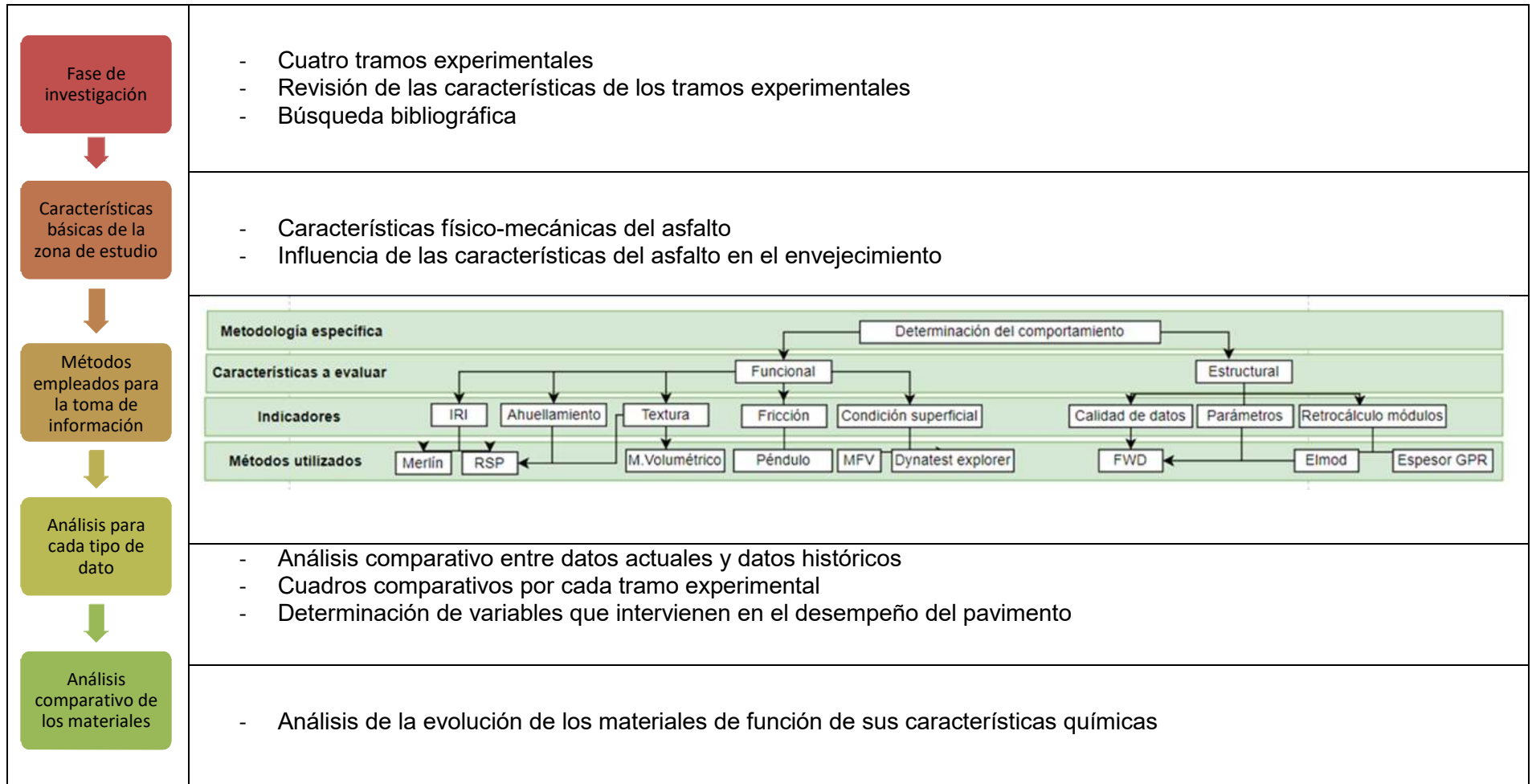
En el presente capítulo se describen las actividades necesarias, los métodos de medición y análisis que se emplearon para estudiar la relación entre la composición de las mezclas asfálticas y la evolución de sus características estructurales y funcionales en función del tiempo, con el fin de analizar y comparar el comportamiento que tiene cada tramo respecto al asfalto y mezclas asfálticas mediante ensayos funcionales y estructurales. La metodología utilizada fue planteada luego de hacer una revisión bibliográfica centrada en las características de los pavimentos existentes y los métodos de evaluación de pavimentos.

La metodología tiene dos grandes fases las cuales son:

- Descripción de los métodos empleados para la toma de información.
 - o Selección de los tramos viales experimentales
 - o Determinación de los ensayos a emplear
 - o Selección de datos representativos
 - o Caracterización funcional y estructural por medio de ensayos no destructivos
- Evaluación de la evolución de cada tramo.

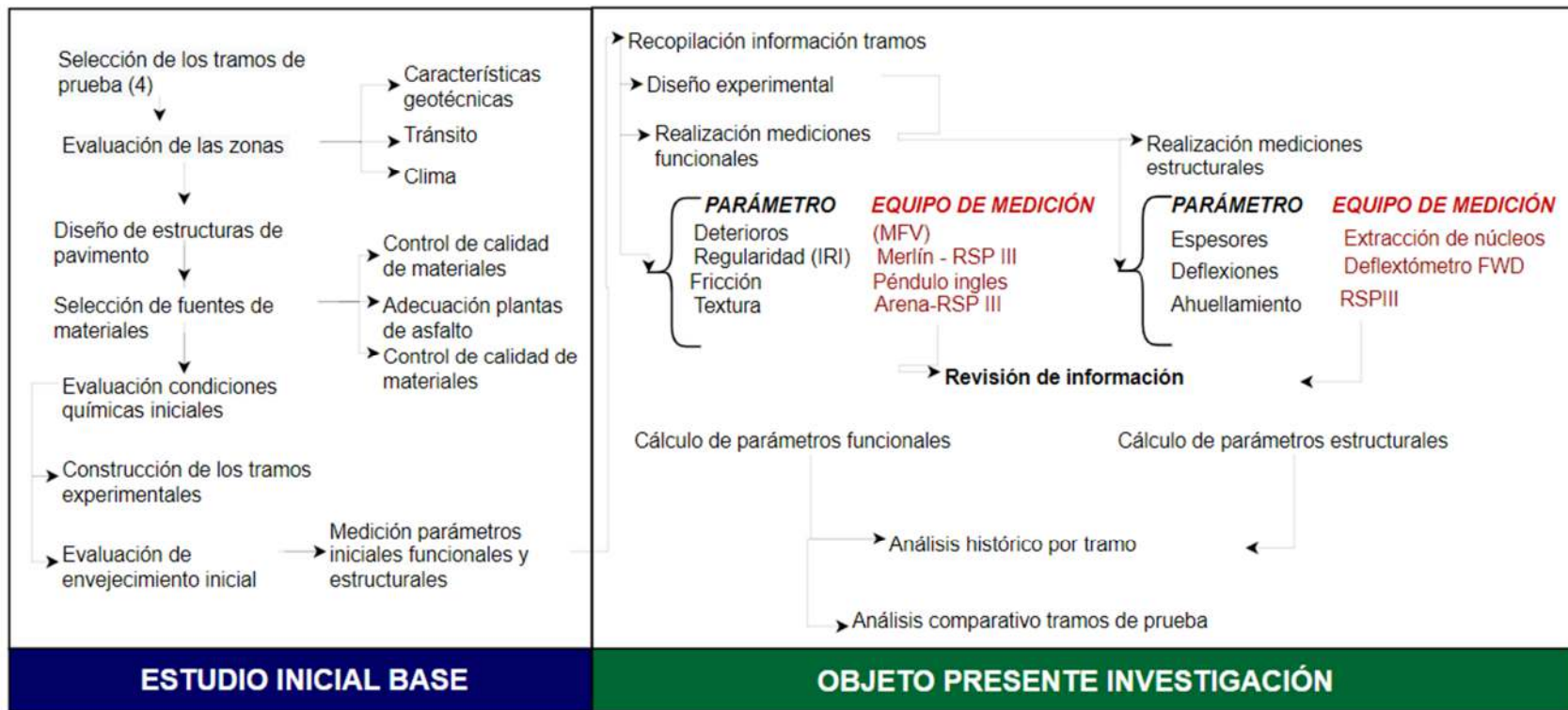
En la Figura 2-2, se muestra un esquema de los procesos necesarios para el desarrollo de la investigación.

Figura 2-2: Proceso metodológico



En la Figura 2-3 se muestra un esquema de las principales tareas a ejecutar para el desarrollo de presente investigación, teniendo en cuenta el estudio previo en el cual se fundamenta.

Figura 2-3: Esquema de trabajo



2.3 Metodología específica

Para el desarrollo de esta investigación se realizó la inspección de las características en cuatro (4) tramos con diferente composición de mezcla asfáltica modificada, con el fin de determinar el comportamiento funcional y estructural, con respecto al tiempo (teniendo en cuenta que los cuatro tramos se construyeron el mismo año) para esto se ejecutaron las siguientes pruebas:

- Evaluación superficial
- Regularidad
- Coeficiente de fricción
- Evaluación estructural
- Evaluación funcional

En la tabla siguiente se presentan las condiciones de medición obtenida con los distintos equipos empleados.

Tabla 2–4: Condiciones de medición

Realizado por	Equipo	Parámetro	Condiciones de medición	Limitantes medición	Observaciones
Dynatest	RSP III	Regularidad (IRI)	mediciones diurnas sin lluvias	presentan variaciones en las mediciones con humedad en la superficie.	Mediciones realizadas por consultor con el acompañamiento del investigador
Echeverry, Equipo UNAL	Merlín	Regularidad (IRI)	mediciones diurnas sin lluvias		Mediciones realizadas por el consultor y repetidas por el investigador con equipo de la Universidad Nacional
Echeverry	Péndulo ingles	Fricción	mediciones diurnas sin lluvias		Mediciones realizadas por consultor con el acompañamiento del investigador
Echeverry	Circulo de arena	Textura	mediciones diurnas sin lluvias	No se puede realizar en condiciones de lluvia.	Mediciones realizadas por consultor con el acompañamiento del investigador
Dynatest	RSP III	Ahuellamiento	mediciones diurnas sin lluvias	presentan variaciones en las mediciones con humedad en la superficie.	Mediciones realizadas por consultor con el acompañamiento del investigador

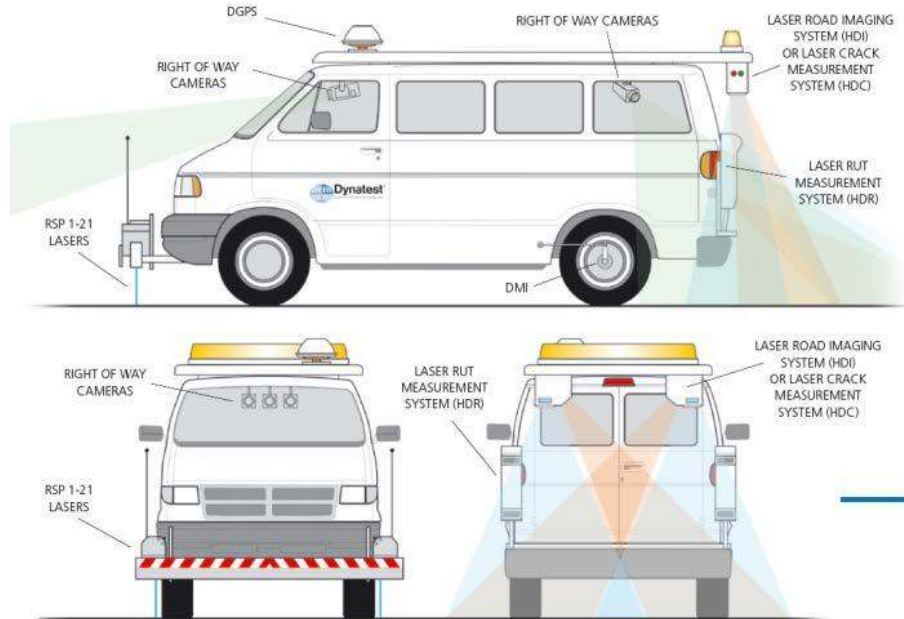
Realizado por	Equipo	Parámetro	Condiciones de medición	Limitantes medición	Observaciones
Dynatest	FWD	Deflexiones	Medición nocturna	puede presentar variaciones en los niveles de deflexión con los cambios de temperatura, las mediciones diurnas pueden presentar mayores variaciones.	Mediciones realizadas por consultor con el acompañamiento del investigador
Dynatest	MFV	Deterioros superficiales	mediciones diurnas sin lluvias	presentan variaciones en las mediciones con humedad en la superficie.	Mediciones realizadas por consultor con el acompañamiento del investigador

2.3.1 Evaluación funcional de los pavimentos

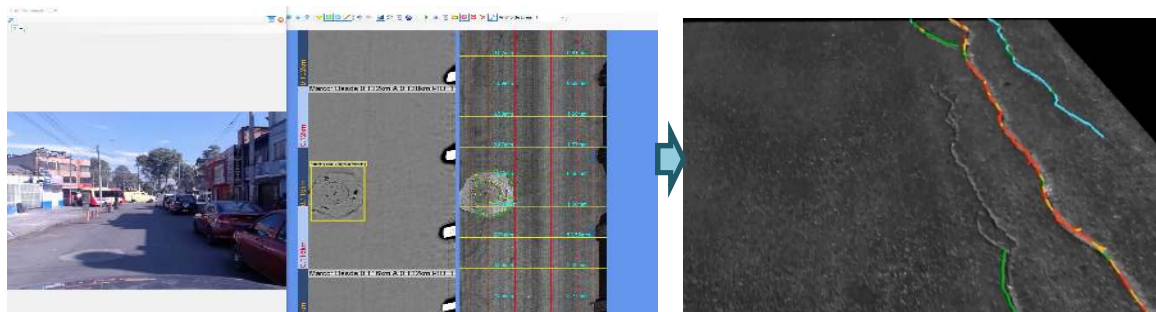
A partir de los parámetros funcionales se evalúa la calidad de la vía en términos de comodidad seguridad y durabilidad a partir de parámetros establecidos para su calificación.

- **Evaluación superficial de deterioros**

Para la evaluación superficial se empleó el equipo de alto rendimiento MFV el cual permite la captura de imágenes en 3D con una alta precisión y a partir del software Dynatest Explorer permite cuantificar y clasificar las patologías encontradas según severidad y tipo de daño a partir de una inspección visual en el ordenador, en la siguiente figura se muestra el equipo MFV.

Figura 2-4: Equipo multifuncional MFV**Fuente:** Dynatest

A partir del levantamiento de deterioros se realizó el cálculo del PCI (Índice de Condición del Pavimento) el cual es un indicador de la calidad del pavimento en términos de los deterioros presentes por unidad de área, su severidad e importancia. El PCI es un indicador número que puede variar de 0 a 100, siendo 100 un pavimento en excelentes condiciones. En la Figura 2-5 se muestra un ejemplo de la visualización y calificación de deterioros en el software Dynatest Explorer.

Figura 2-5: Deterioros Dynatest Explorer**Fuente:** software Dynatest Explorer

En la Figura 2-6 se evidencia un ejemplo de entrada de datos en el Paveair. Este software de gestión de pavimentos se utilizó con el fin de poder determinar el índice de condición del pavimento.

Figura 2-6: Ejemplo datos de entrada Paveair

Selecci	Fecha de Inspección	Nueva construcción	Superficie Categoría	Use Categoría	Editar	Ejecutar PCI Inspeccion	Borrar
Selecci	6/2/2015	<input checked="" type="checkbox"/>	Flexible	Roadway/Parking		Run PCI	
Selecci	6/1/2021	<input type="checkbox"/>	Flexible	Roadway/Parking	Editar	Run PCI	Borrar

Selecci	Numero de muestra	Tipo de ejemplo	Tamaño de la muestra	Unidad de tamaño	Comentario	Sin deterioro	Editar	Ejecutar PCI para Muestra	Borrar
Selecci 1		R	205	m ²		<input checked="" type="checkbox"/>	Editar	Run PCI	Borrar
Selecci 2		R	205	m ²		<input type="checkbox"/>	Editar	Run PCI	Borrar
Selecci 3		R	205	m ²		<input type="checkbox"/>	Editar	Run PCI	Borrar
Selecci 4		R	205	m ²		<input type="checkbox"/>	Editar	Run PCI	Borrar

ASTM Código	Severidad	Comentario	Cantidad	Unidad cuantitativa	Editar	Borrar
19 Ravelling	M		0.82	m ³	Editar	Borrar
1 Alligator Cracking	Bajo			m ²	Agregar nuevo	

➤ **Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

Se realizó la medición de condición del pavimento mediante el parámetro PCI establecido en la norma de ensayo ASTM 6433, la cual establece las patologías para pavimento flexible mostradas en la cada una con distintas severidades de acuerdo a su afectación y ocurrencia, mediante la cual calcula un índice que representa el estado del pavimento partiendo de curvas de valor deducido que establecen el daño que genera cada combinación de deterioros, severidades y densidades.

Según la metodología adoptada se debe realizar el análisis en tramos (unidades de muestra) con áreas entre (230+-92 m²).

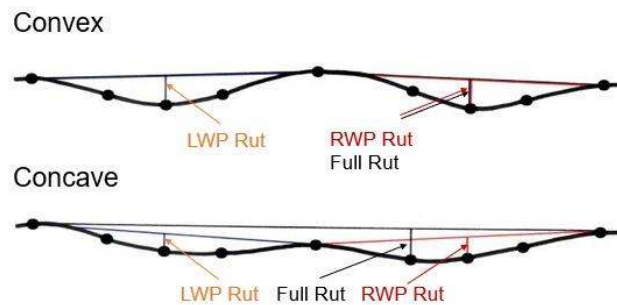
- **Medición del Ahuellamiento**

Se realizó medición de Ahuellamiento mediante los láseres de alta precisión presentes en el equipo MFV, el cual permite medir las deformaciones o depresiones longitudinales presentes en el pavimento asfáltico que se encuentran localizadas en las huellas de circulación de los vehículos. Generalmente estas deformaciones se deben a altos niveles

de tránsito y/o tráfico pesado, impidiendo el drenaje adecuado que a su vez reduce las propiedades de fricción.

Para la medición del Ahuellamiento el equipo cuenta con una serie de láseres que trazan un perfil transversal de la vía y calcula las diferencias de nivel existentes en las huellas de circulación de los vehículos, como lo muestra el siguiente esquema.

Figura 2-7: Esquema medición de ahuellamientos mediante perfilómetro



- **Índice de regularidad internacional (IRI)**

El IRI (Índice de Rugosidad Internacional) permite determinar la comodidad de circular en la vía y se calcula como la sumatoria de las desviaciones verticales percibidas en una longitud dada. Para la medición de este parámetro se empleó el equipo Merlín y el perfilómetro inercial RSP III, con el fin de tener un punto de comparación entre distintos equipos. La regularidad se expresa en m/km, mm/m o pulg/milla.

El valor de IRI permite determinar la comodidad que perciben los usuarios en la vía, entre menor sea el valor de IRI más lisa es la superficie, en caso contrario, indica que el pavimento presenta irregularidades en la superficie.

El requerimiento establecido por las especificaciones generales de construcción (IDU ET Sección 510-11), es de 4,0 m/km para el 100% de los hectómetros evaluados.

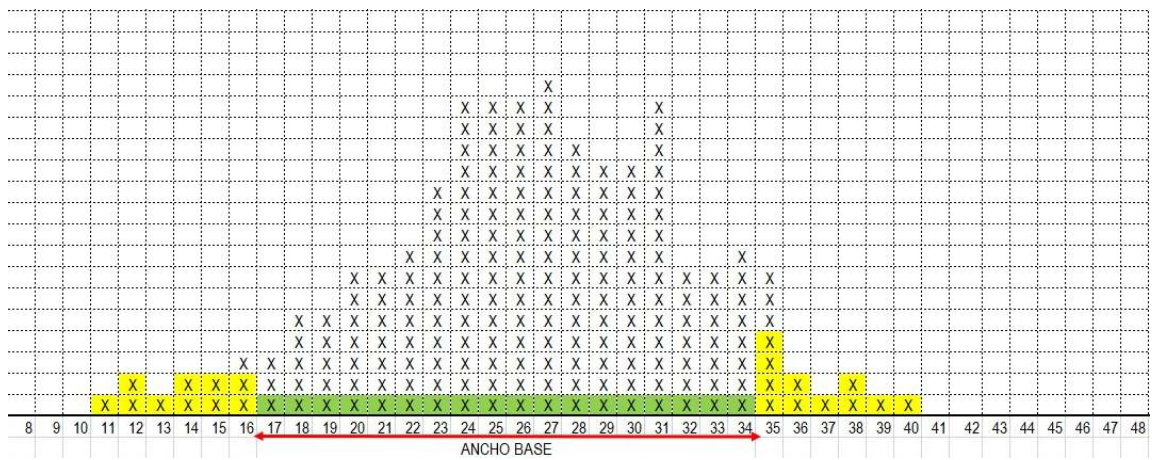
➤ **IRI (método Merlín)**

El equipo Merlín (Machine Evaluating Roughness Low Cost Instrumentation) permite mediciones sencillas, económicas que por medio de variaciones de los perfilómetros estáticos permiten un análisis simple pero confiable (Hernandez Cardenaz, 2018).

Para poder analizar los datos obtenidos por este equipo es necesario calcular la distribución de frecuencias de las lecturas y de ahí poder establecer el rango de los valores agrupados. Por último, se descartan los valores que no son representativos.

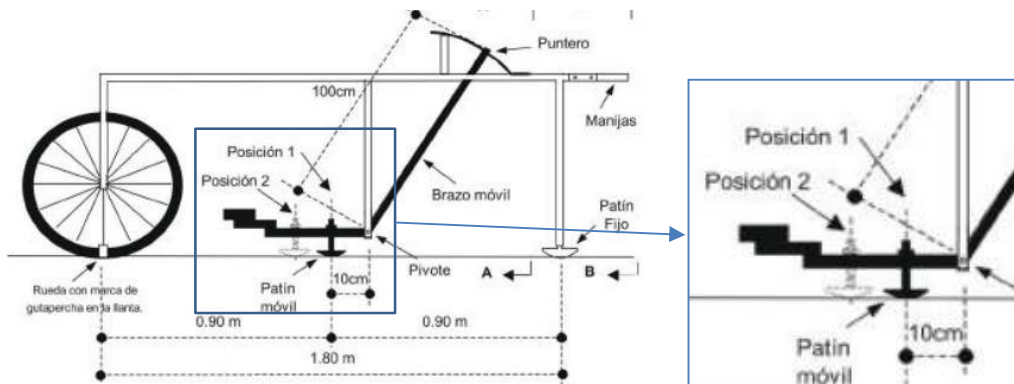
En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la toma de datos mediante el equipo Merlín.

Figura 2-8: Esquema datos Merlín



Previo a realizar las mediciones de perfil mediante el Merlín se realizó la verificación de la calibración del equipo como se describe a continuación:

Primero se verifica la ubicación del patín en cuál de las dos posibles posiciones se encuentra, ya que la posición 1 que se encuentra a 10 cm del pivote debe generar una escala de medición de 1 a 10 y la posición 2 en la cual el apoyo se encuentra a 20 cm del pivote genera una escala de las irregularidades medidas de solo 1 a 5, en la Figura 2-9 se muestra un esquema de las partes del equipo Merlín en donde se detallan las posiciones de medición.

Figura 2-9: Esquema Merlín

Fuente : (Rodríguez)

El equipo Merlín genera una escala entre la medida de desnivel existente en el perfil entre apoyos y la medida en el formato por el dial que señala la medición, sin embargo esta escala puede variar y depende del desgaste que experimenta el patín del brazo móvil del instrumento. En consecuencia, para corregir los resultados se verifica la relación de brazos actual del instrumento, y, se determina un factor de corrección que permita llevar los valores a condiciones estándar. Para verificar el factor de escala se toma una medición del equipo en una superficie plana y se procede a colocar una lámina de espesor conocido bajo el patín y registrar cuanto se registra como diferencia entre mediciones realizadas y se verifica que se cumpla con la escala requerida, Si no sucede eso, se deberá encontrar un factor de corrección (F.C.) usando la siguiente expresión:

$$F.C = \frac{(EP * 10)}{(Ll - LF) * 5} \quad (2.1)$$

Donde:

EP: Espesor de la pastilla

Ll: Posición inicial del puntero

LF: Posición final del puntero

Para relacionar la rugosidad determinada con el MERLIN con el Índice de Rugosidad Internacional (IRI), que es el parámetro utilizado para uniformizar los resultados

provenientes de la gran diversidad de equipos que existen en la actualidad, se utilizan las siguientes expresiones:

Cuando el IRI está entre 2.4 y 15.9:

$$IRI = 0.593 + 0.0471 D \quad (2.2)$$

Cuando el IRI es menor a 2.4:

$$IRI = 0.0485 D \quad (2.3)$$

➤ IRI método perfilómetro láser RSP III

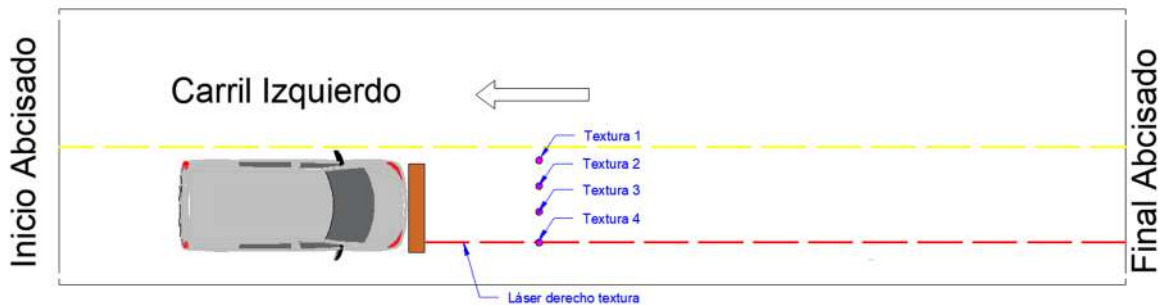
El equipo RSP III es un perfilómetro inercial que tiene la capacidad de medir perfiles longitudinales cada 25 mm permitiendo calcular el valor del IRI a partir del perfil longitudinal medido. De acuerdo a la norma INV E 794 los perfiles longitudinales deben tener intervalos iguales mínimo de 0.30m.

Este ensayo consiste en que el vehículo recorre una longitud determinada a una velocidad constante de 80 km/h permitiendo el registro de las irregularidades en la zona de estudio por medio de perfiles longitudinales y transversales, en donde posteriormente se deben hacer análisis estadísticos; sin embargo, para efectos de esta investigación se hizo uso del software Dynatest Explorer.

▪ **Macrotextura**

Para la medición de macrotextura se empleó el método de círculo de arena (método volumétrico) al igual que en la fase inicial de operación de los tramos, adicionalmente se realizó la medición mediante láser del perfilómetro láser RSP III y mediante los láseres integrados en el equipo multifuncional MFV. Este parámetro permite determinar la profundidad media de textura, valor que se da en mm, este parámetro está relacionado con la porosidad del material y la condición de fricción.

En la Figura 2-10 se muestra un esquema de la ubicación de los círculos de arena y del láser de medición de macrotextura.

Figura 2-10: Esquema de medición macrotextura

➤ **Macrotextura método círculo de arena**

Este ensayo consiste en extender un volumen conocido de arena con granulometría regular sobre la superficie del pavimento y medir el área que esta cubre con el fin de poder calcular la profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena. La arena se debe colocar de forma cónica y extender de forma circular sobre la superficie para la extensión se debe emplear la cara plana de caucho del dispositivo de extensión hasta obtener una superficie enrasada. Durante este paso, no se debe ejercer presión, por lo tanto, se debe hacer de manera suave.

Para la obtención de un valor de profundidad media de textura se deben realizar mínimo cinco mediciones alineadas en dirección del eje de la vía las cuales deben estar separadas 1 m entre sí y el área de cada círculo se determina a partir de la medición del diámetro en 3 direcciones diferentes el diámetro promedio del círculo de arena, aproximado al milímetro.

Las características de la arena a utilizar se definen en función de la macrotextura del pavimento, en donde se garantice que el radio del círculo resultante este entre 5 y 18 cm y el tamaño máximo del grano no sea superior a la profundidad media obtenida.

Previo a la realización del ensayo se debe realizar la limpieza de la zona de ensayo.

Figura 2-11: Fotografía medición círculo de arena



Procedimiento de ensayo

El procedimiento de prueba incluye la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición del área cubierta, y subsecuentemente se calcula promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados, como se muestra en la Figura 2-12 el esquema como tal del ensayo. Por medio de la medición del espesor de la macrotextura superficial se refleja las características de la macrotextura.

Primer paso: se debe limpiar la superficie de ensayo con el cepillo de pelo blando, la superficie de be estar seca y libre de grietas.

Segundo paso: La granulometría de la arena que se va a utilizar para el ensayo se elegirá en función de la macrotextura del pavimento, de tal manera que el radio del círculo este entre los 5 y 25 cm y el tamaño del grano de arena no sea superior a la profundidad media.

Tercer paso: La arena seleccionada para el procedimiento se vierte en su totalidad en el punto de ensayo en forma de superficie cónica protegiéndola del viento, seguidamente con la ayuda de la madera circular con goma y con movimientos rotatorios se extiende la arena, hasta conseguir una superficie igual, en donde la arena llene todas depresiones, se debe tener presente que el movimiento que se usa en el tampón debe ser suave y sin presión.

Cuarto paso: Se mide 5 diámetros y se saca promedio, este método de ensayo no es considerado adecuado, ya que se utiliza en superficie de pavimentos con huecos.

Cuando la superficie que se está trabajando es muy lisa es recomendable reducir a la mitad el volumen de material a utilizar.

El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macrotextura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado, el promedio aritmético de los valores de espesor de la macrotextura se debe considerar como el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento que se está estudiando.

Figura 2-12: Esquema procedimiento círculo de arena



➤ **Macrotextura método perfilómetro láser**

La profundidad media de textura también se puede obtener por medio de equipos de perfilometría láser a través de sensores laser. El perfil medido se divide en diferentes segmentos que tienen una longitud de 100 ± 2 mm, entonces el segmento se divide en dos mitades iguales y se determina la altura máxima en cada medio segmento. El promedio de estas dos alturas máximas, menos el promedio de todas alturas del segmento, es la Profundidad Media del Perfil. La macrotextura del segmento así medida se reporta como MPD (Mean Profile Depth).

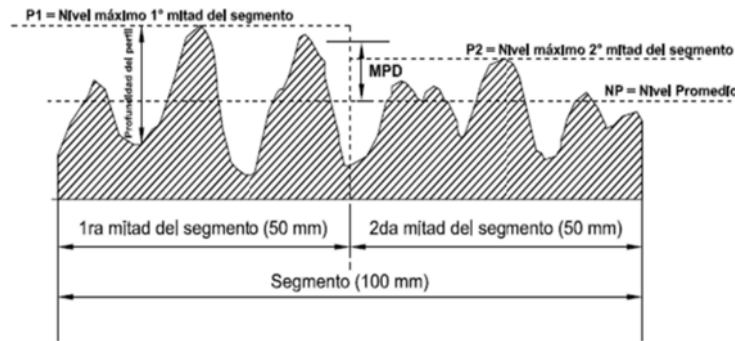
$$MDP = \frac{H_1max + H_2max}{2} - H_{promedio} \quad (2.4)$$

$H_{1\max}$: Valor máximo primer segmento

$H_{2\max}$: Valor máximo segundo segmento

H_{promedio} : Promedio de todos los valores del segmento

Figura 2-13: Esquema conceptual MPD



Fuente: (Dirección de vialidad, 2019)

$$MPD = \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) - NP \quad (2.5)$$

El MPD se puede usar para estimar el resultado de la macrotextura en una medición usando una técnica volumétrica según el Método del Círculo de Arena ya descrito. Los valores de MPD y MTD difieren debido al tamaño máximo de la arena usada en la técnica volumétrica y porque se deriva el MPD de un perfil de dos dimensiones en lugar de una superficie tridimensional. Por lo tanto, se debe usar una ecuación de transformación para convertir los valores MPD a ETD.

El valor de la Profundidad Media del Perfil (en inglés, Mean Texture Depth - MPD) se debe correlacionar con la Profundidad Estimada de Textura (en inglés, Estimated Texture Depth - ETD) que es el equivalente a la profundidad textura que se obtiene a partir del ensayo del círculo de arena. La siguiente es la expresión que permite calcular el valor del MTD a partir del MPD:

$$ETD = 0.2 + 0.8 \times MPD \quad (2.6)$$

Donde *ETD* y *MPD* conciernen a los significados indicados en el párrafo anterior (Dirección de vialidad, 2019).

Norma que avala la medición de macrotextura con láser (ISO .13473-1,2,3) en las cual se especifica las frecuencias adecuadas y las especificaciones de medición.

Para la medición mediante láser se empleó el perfilómetro láser RSP III el cual cuenta con un láser de medición de macrotextura en la huella derecha, adicionalmente se midió con el equipo MFV el cual realiza la medición en 5 franjas a través del perfil transversal de la vía, ambos equipos realizan una medición continua.

- **Fricción**

La fricción permite establecer la resistencia al deslizamiento entre los neumáticos (Vehículo en movimiento) y el pavimento. Es posible determinarlo mediante el Péndulo inglés, el cual es un equipo dinámico de impacto que se utiliza sobre superficies planas; este equipo tipo péndulo permite conocer las propiedades friccionantes de la superficie, la zona de ensayo debe ser humedecida con agua limpia a presión y libre de partículas externas antes de realizar el ensayo.

La lectura del valor CRD se realiza con la ayuda de la aguja indicadora del equipo. A mayor fricción mayor será el valor de CRD.

Las especificaciones de la norma INVIAS del 2013 establece que el valor mínimo de la fricción por medio de este método debe ser de 55 centésimas.

Figura 2-14: Fotografía medición péndulo ingles



Procedimiento de ensayo

1. Nivelación: Nivelar el instrumento exactamente girando los tornillos niveladores hasta burbuja está centrada en el ojo de la burbuja niveladora.
2. Ajuste a ceros: Elevar la cabeza del aparato, de tal forma que el abrazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el cero de la escala de medida.
3. Ajustes de la longitud de deslizamiento: Con el péndulo libre colocar los espaciados abajo del tornillo de ajuste o regulación del abrazo del péndulo. Bajar el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Bloquear la cabeza del péndulo firmemente, levantar el brazo del péndulo, y remover el espaciador. Colocar el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balaceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto.

➤ Índice de Fricción Internacional IFI

El índice de Fricción internacional está basado en la suposición que el valor de la fricción de una superficie dada depende de la velocidad de deslizamiento a la cual se toman las medidas, de las propiedades de macrotextura de la superficie del pavimento y de las características del dispositivo usado para medir.

Este parámetro busca estandarizar el aporte de fricción de una superficie determinada independiente de los equipos de medición empleados, para el cálculo de este parámetro

se toma la información de la medición del coeficiente de fricción, de la condición de macrotextura y se seleccionan coeficientes de acuerdo a los equipos empleados para el cálculo.

Mediante el parámetro IFI se puede calcular la oferta de fricción a diferentes velocidades en la superficie evaluada.

- **Normas de referencia**

En la Tabla 2–5, se muestra un resumen de las principales normas aplicables a los ensayos realizados a las estructuras de pavimento.

Tabla 2–5: Normas de referencia

	Indicador	Equipo	Norma	
Parámetros funcionales	PCI		AST 5340-98 ASTM 6433-11	
	Ahuellamiento		INV E 789-13	
	IRI		INV E-790-13 INV E 794	
			IDU ET Sección 510-11	
	Macrotextura	Círculo de arena		INV E-791-13
		RSP III		
MFV				
Fricción	Modulo Ingles		INV E-792-13	
Parámetros estructurales	Deflectometría		INV E-797-13	
			INV E-798-13	

2.3.2 Evaluación estructural de los pavimentos

Para la evaluación de la capacidad estructural se empleó el equipo FWD (Falling Weight Deflectometer), por el cual se tomaron puntos cada 10 metros en cada carril ubicados a tresbolillo. Para esto se usaron cargas de 40kN y 50kN con un plato de carga de 15 cm de radio las cuales simulan las cargas dinámicas de los vehículos que circulan.

Los ensayos deflecométricos permiten estimar la resistencia de la estructura de pavimento mediante la medición del cuenco de deflexiones, el cual representa la resistencia de las diversas capas que componen una estructura, para su análisis existe una gran cantidad de parámetros como los parámetros cualitativos de Horak, los parámetros de área, la deflexión central, los módulos elásticos calculados mediante retrocálculo.

Para la evaluación estructural en el presente trabajo se realizó el cálculo de los parámetros cualitativos de Horak, parámetros de área, evaluación de módulos elásticos obtenidos mediante retrocálculo de módulos mediante el software Elmod

Para determinar la capacidad estructural se empleó el ensayo de deflectometría de impacto, el cual es un método no destructivo que consiste en determinar el módulo de cada una de las capas que componen la estructura de pavimento haciendo una evaluación de las deflexiones medidas y de los espesores conocidos de la estructura de pavimento, esto a partir de las ecuaciones de Boussinesq y la teoría elástica.

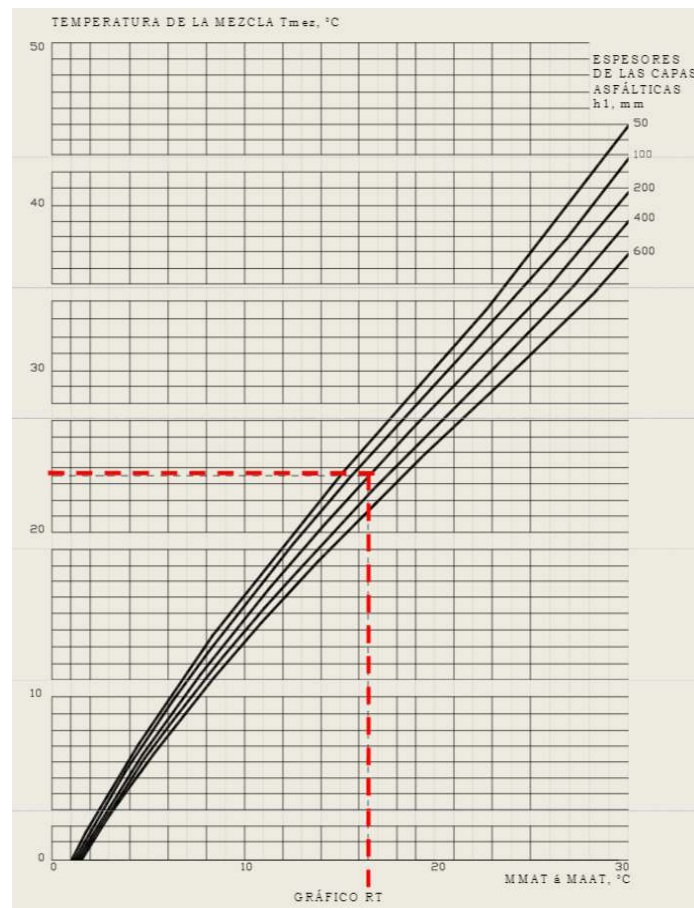
- **Análisis de la condición de temperatura**

Para realizar el análisis de la capacidad estructural es necesario tener en cuenta la influencia de la temperatura, ya que el asfalto tiene un comportamiento visco elastoplástico lo que hace que su comportamiento sea afectado por cambios de temperatura. Se realiza un análisis de la temperatura media del aire en Bogotá para cada mes como se puede ver en la Tabla 2-6.

Tabla 2-6: Temperatura media mensual, TMM

Mes	Temperatura media del aire (TMM)
Enero	15
Febrero	16
Marzo	16
Abril	15
Mayo	15
Junio	14
Julio	14
Agosto	15
Septiembre	15
Octubre	15
Noviembre	15
Diciembre	15

A partir de los datos de temperatura mensual del aire se calcula la temperatura media anual ponderada TMAP, posteriormente se determina la temperatura de la mezcla asfáltica según el nomograma que se muestra en la Figura 2-15.

Figura 2-15: Nomograma para determinar la temperatura de la mezcla

Fuente: (Patillo, 1990)

En la Tabla 2-7, se muestra el resultado de la temperatura media de la mezcla asfáltica en de cada una de las zonas de análisis

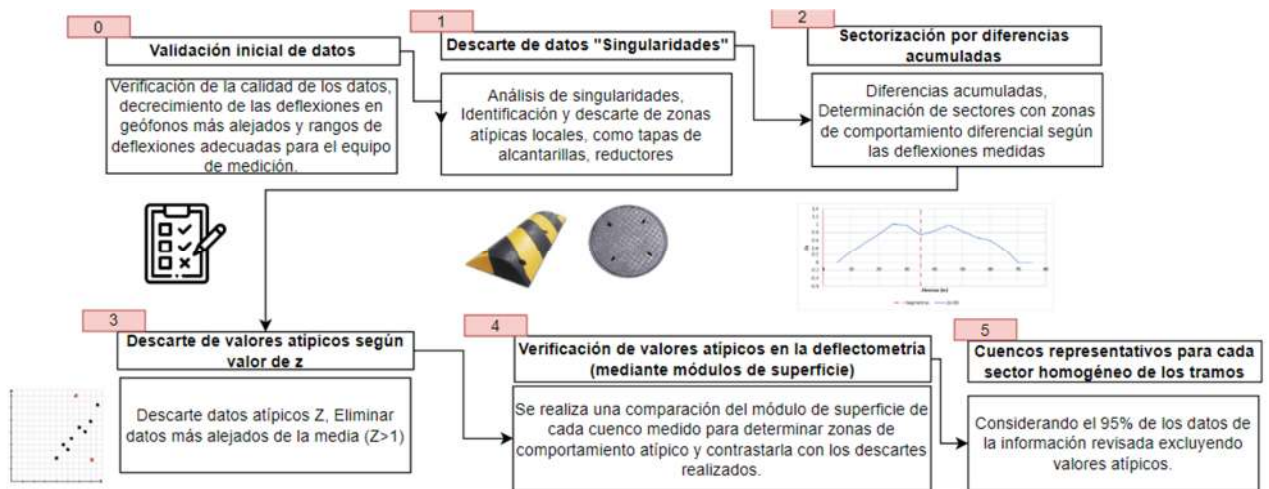
Tabla 2-7: Temperatura mezcla asfáltica tramos

Espeores Capa de mezcla asfáltica, cm	T mezcla (°C)	Nombre de la sección
7.5	22.5	Villa Luz
12	22.1	Restrepo
11.5	22.1	Cundinamarca
11	22.2	Puente Aranda

▪ **Análisis datos defletométricos**

Al momento de tener la información necesaria para llevar a cabo esta investigación, es necesario excluir los datos atípicos los cuales se pueden presentar debido a cambio de estructuras, singularidades, elementos como alcantarillas, pozos, entre otros. Para esto se realizó un proceso de selección de datos que se resumen en la Figura 2-16.

Figura 2-16: Esquema selección de cuenco representativo



Para determinar si dentro de cada uno de los tramos existen zonas de comportamiento diferente se empleó el método de diferencias acumuladas, el cual es una herramienta que permite delimitar estadísticamente tramos homogéneos utilizando diferentes mediciones de respuesta del pavimentos (en este caso las deflexiones de los 9 geófonos), esta metodología permite una fácil visualización y entendimiento de las zonas de análisis.

Una vez delimitados los tramos de análisis se utiliza la puntuación Z que se determina con la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{D_i^m - \mu_x^m}{\sigma_x^m} \tag{2.7}$$

Donde:

Di_x^m : Deflexión en la abscisa i, geófono x, medición m

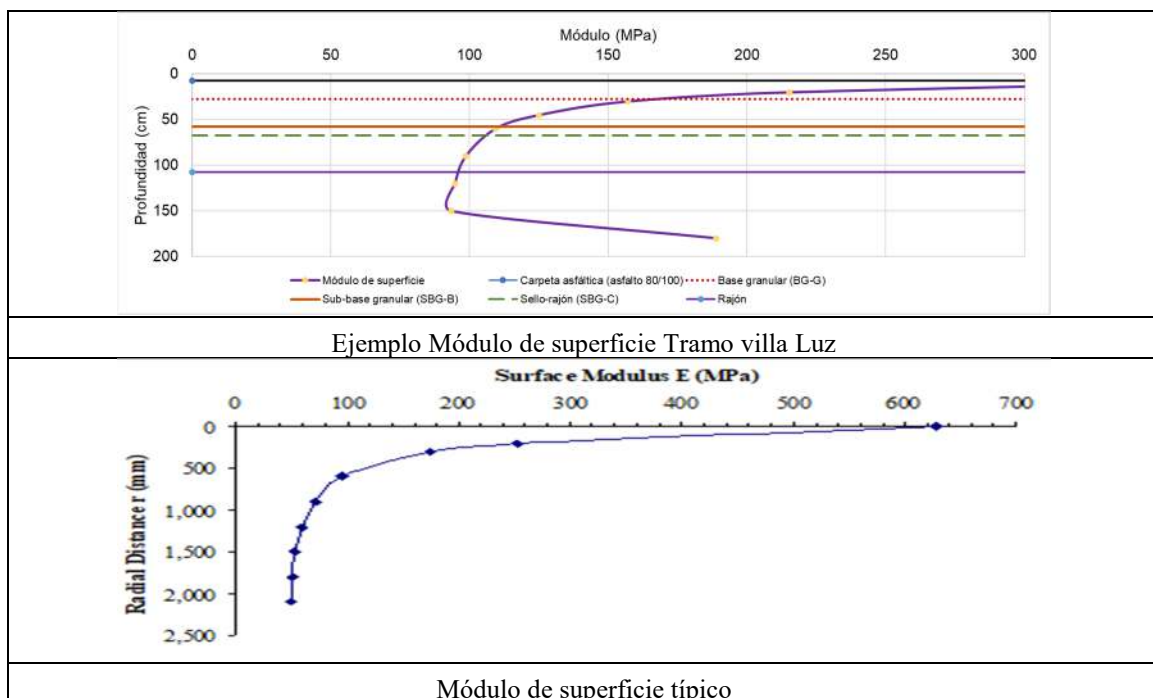
μ_x^m : Promedio de las deflexiones en el geófono x, medición m

σ_x^m : Desviación estándar de las deflexiones en el geófono x, medición m

Si el valor de Z es mayor a 1 en los tres primeros geófonos se puede deducir que son valores atípicos, sin embargo, en caso de que esto no se cumpla en todas las campañas, si se debe cumplir mínimo en dos campañas en la misma abscisa para determinar que son valores atípicos y así poder descartarlo del análisis.

Como parámetro adicional se realiza el cálculo del módulo de superficie de cada punto evaluado para determinar zonas de comportamiento atípico, en la Figura 2-17 se muestra un ejemplo del módulo de superficie del tramo Villa Luz, en donde se observa un punto de inflexión que representa el aumento de rigidez debida al mejoramiento con Rajón realizado.

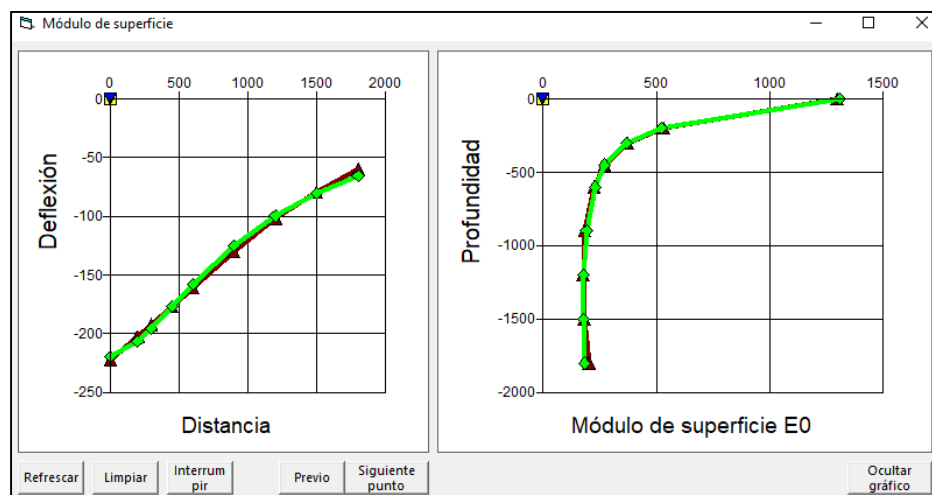
Figura 2-17: Ejemplo módulos de superficie



▪ **Retro cálculo de módulos**

Para el retrocálculo de módulos se empleó el software Elmod, el cual permite realiza análisis por elementos finitos, teoría elástica lineal y teoría de espesores equivalentes; en este caso con el fin de ajustar los módulos establecidos inicialmente se utilizó un análisis por elementos finitos, permitiendo también evaluar el comportamiento de la estructura mediante el análisis del módulo de superficie (ver Figura 2-18)

Figura 2-18: Ajuste del cuenco de deflexiones y módulo de superficie



Fuente : Elmod

Una vez se ha realizado el análisis del comportamiento de los datos, se procede a realizar una serie de iteraciones aplicando las ecuaciones de distribución de esfuerzos de Joseph Boussinesq y ecuaciones de la teoría de la elasticidad, esto se logra mediante el empleo del software Elmod el cual evalúa un gran número de posibilidades hasta encontrar una estructura cuya respuesta sea la misma que la respuesta real observada en el pavimento, para esto se busca la mejor aproximación mediante el empleo del RMS. En la Tabla 2–8.

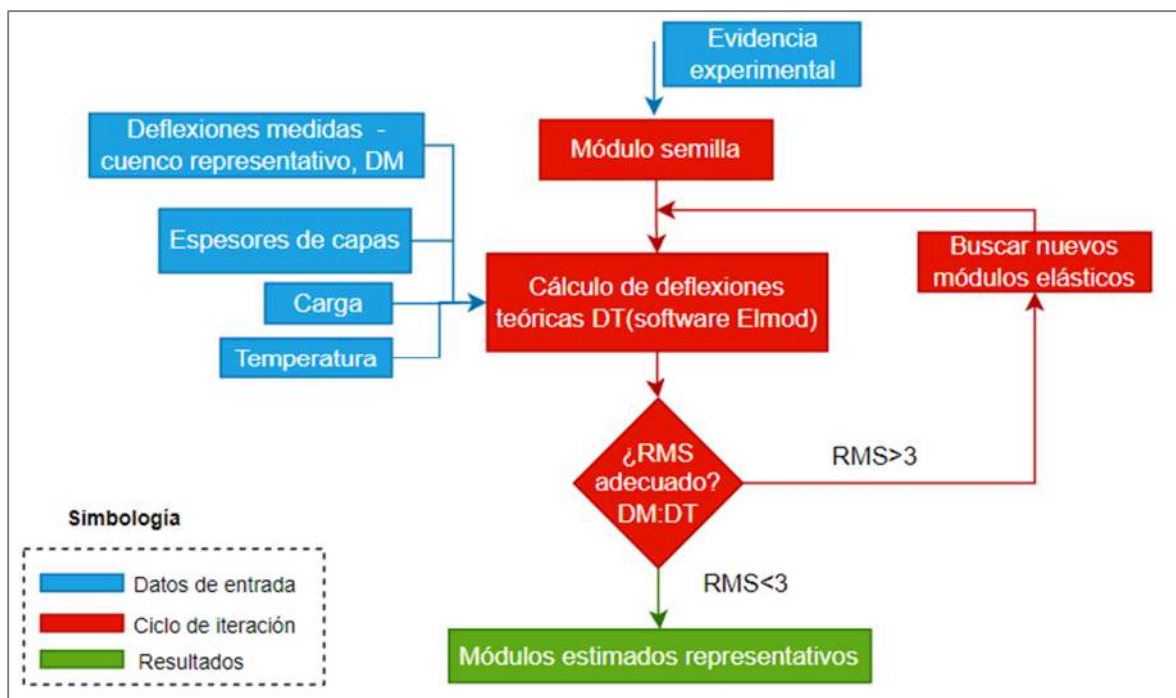
Tabla 2–8: Parámetro empleados en el retrocálculo

Parámetro	valor
Horario de medición	Nocturna
Temperatura	A partir de los datos de temperar mensual del aire se calcula la temperatura media anual ponderada TMAP
carga	40 kN
Plato de carga diámetro	30 cm
Tipo de análisis	Elementos finitos y por el método de ajuste del cuenco

Parámetro	valor
Espesores considerados	a partir de datos iniciales de GPR
Módulos semillas	iguales a los empleados en la etapa inicial
Cuenco empleado	Cuenco representativo seleccionado por tramo
Criterio de selección	Minimizar el error cuadrático medio (RMS)

En la Figura 2-19 se muestra un esquema de los datos de entrada y el ciclo realizado para la selección de los módulos elásticos seleccionados en el proceso de retro cálculo.

Figura 2-19: Esquema ciclo de iteración para realizar el retrocálculo



▪ **Clasificación Global del Pavimento**

Es el resultado que corresponde a la sumatoria de los productos efectuados entre la calificación ponderada de cada parámetro medido (rugosidad, fisuras y grietas, resistencia al deslizamiento, estado de las bermas, zonas laterales, señalización, ahuellamiento y deformaciones) por su respectivo factor de influencia. El Índice de Estado para la carretera será el promedio ponderado de los Índices de Estado calculados para los diferentes trayectos.

Según lo expresado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) en su página Web, el Índice de Estado (IE) corresponde “a la sumatoria de los productos efectuados entre la calificación ponderada de cada elemento medido (rugosidad, fisuras y grietas, resistencia al deslizamiento, estado de las bermas, zonas laterales, señalización, ahuellamiento y deformaciones) por su respectivo factor de influencia” 39 . Es un valor numérico que varía entre 0 y 5, por medio del cual se califica la funcionalidad de la vía, además del nivel de servicio que esta y sus zonas adyacentes prestan a los usuarios de la carretera. Como se puede observar, la concepción del IE en las carreteras colombianas, así como en otros países, se enfoca en el nivel de servicio y condiciones de funcionalidad, viéndose reflejadas en la seguridad y la comodidad prestada a los usuarios, en condiciones netamente objetivas, acerca de la capacidad estructural de la carretera. Como era de esperarse, este requisito siempre ha estado asociado a un sistema de imposición de penalidades económicas, en caso de incumplimiento por parte de los concesionarios. Con relación a los parámetros que componen el IE, estos se pueden definir de la siguiente forma:

Con el fin de emplear un parámetro general que evalué a la condición del pavimento se realizó el parámetro Índice de estado (IE) tal como se hizo en la investigación previa de estos tramos experimentales (Coronado & Betancourt, 2016).

Según lo expresado por la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) en su página Web, el Índice de Estado (IE) corresponde “a la sumatoria de los productos efectuados entre la calificación ponderada de cada elemento medido (rugosidad, fisuras y grietas, resistencia al deslizamiento, estado de las bermas, zonas laterales, señalización, ahuellamiento y deformaciones) por su respectivo factor de influencia (Gamboa Beltrán, 2019)

A partir de las concesiones viales de tercera generación se toma la siguiente expresión para su cálculo:

$$IE = 0.40R + 0.2A + 0.2F + 0.2D \quad (2.8)$$

Donde:

R: Rugosidad

- A: Ahuellamiento
 F: Fisuras
 D: Resistencia al deslizamiento

Para la evaluación de cada uno de los parámetros se realizó una calificación empleando los valores de la Tabla 2–9.

Tabla 2–9: Valores índice de estado

Elemento	Unidad de medida	Rango de calificación			
		Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
Rugosidad	IRI (m/km)	5-4	4-3	3-2	2 - 0
Ahuellamiento	mm.	1.0 – 2.5	2.5 – 3.5	3.5-5.5	>5.5
Fisuras y grietas	%	0-10	oct-20	20 – 35	>35
Fisuras y grietas	%	0.0-0.05	0.5 – 3.0	3.1 – 5.0	>5.0
Resistencia al deslizamiento	CRD	100 - 55	55-45	45 – 35	< 35

Para la selección de cada valor se realizó una interpolación de los valores según el valor obtenido, como se muestra en el siguiente ejemplo.

Elemento	Unidad de medida	Rango de calificación			
		Muy bueno	Bueno	Regular	Malo
		5-4	4-3	3-2	2 - 0
Rugosidad	IRI (m/km)	1.0 – 2.5	2.5 – 3.5	3.5-5.5	>5.5

Para el ejemplo se tomó un valor de IRI de 4.2 m/km.

Calificación: Regular

$$VC = \left(\frac{PCS - PCI}{PMS - PMI} \right) * (VM - PMS) + PCS \quad (2.9)$$

En donde:

- VC: Valor calculado
 PCS: Parámetro de calificación superior
 PCI: Parámetro de calificación inferior
 PMS: Parámetro de medida superior
 PMI: Parámetro de medida inferior
 VM: Valor medido

Reemplazando valores:

$$VC = \left(\frac{3 - 2}{3.5 - 5.5} \right) * (4.2 - 3.5) + 3 \quad (2.10)$$

El valor calculado es igual a 2.65 el cual se reemplaza en la ecuación (2.8) junto con los valores obtenidos de fricción, fisuración y el ahuellamiento.

3. Resultados y discusión

Se presentan inicialmente resultados para valorar los tramos experimentales en sus características funcionales y estructurales durante varias fases, la de condición actual, la de un comparativo a modo de evolución de desempeño entre la etapa inicial (desde 2015-2016) hasta la fecha y adicionalmente, una evaluación del desempeño estructural y funcional de las capas de rodadura, realizadas con mezclas asfálticas modificadas (Aceite fluxante, Cal hidratada, Sasobit, Cal hidratada-negro de humo) construidas para experimentación y la valoración correspondiente de la efectividad de los mejoramientos de estas. Este capítulo por consiguiente, tiene en cuenta dos escenarios de evaluación de desempeño de los tramos experimentales, el inicial que incluye el primer año de seguimiento y el actual que hace referencia, con corte al año 2021, a la condición que tiene seis (6) años después de haber sido construidos.

3.1 Desempeño funcional y estructural de los tramos experimentales

Se realizó seguimiento técnico a la condición de los pavimentos existentes en los tramos de prueba con el fin de comparar las condiciones actuales con respecto a la evolución de los mismos, para esto se descartaron los datos considerados como singularidades por presencia de pozos, redes o demás zonas de comportamiento atípico que puedan generar un cambio en el comportamiento medido en el pavimento. Las zonas de exclusión son equivalentes con las singularidades descritas en el informe de referencia (Betancourt, 2018), los cuales se resumen en la Tabla 3-1.

Tabla 3–1: Exclusiones de datos realizadas en las mediciones

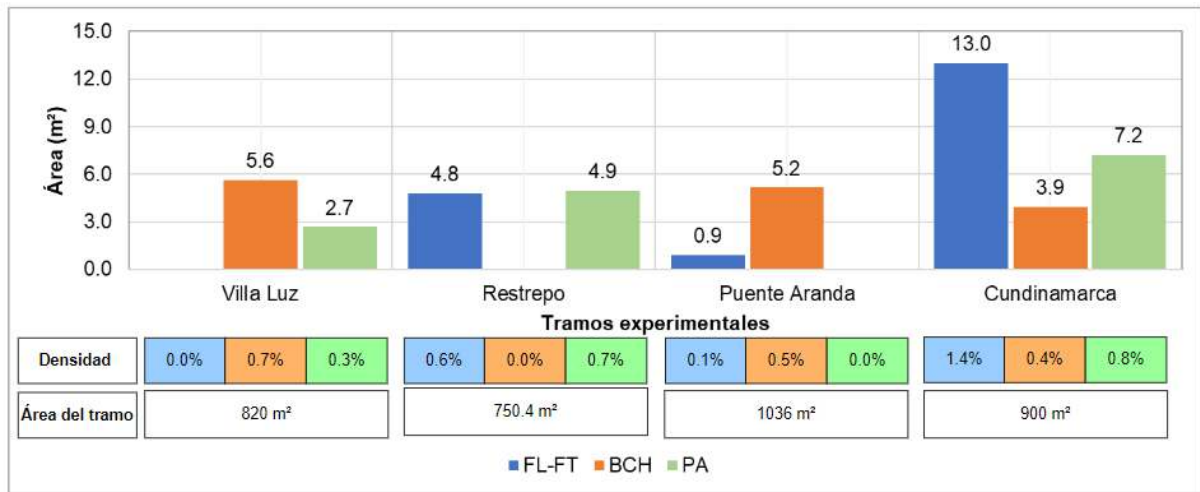
Tramo	Tipo de mezcla	Abscisa	Singularidad
Villa Luz	Convencional (aceite fluxante,AF)	k0+000	Exclusión por presencia de redes
		k0+005	
		k0+010	
		k0+015	
		k0+045	
		k0+050	
Restrepo	Cal Hidratada	k0+065	Exclusión por presencia de redes
		k0+000	
		k0+050	
Puente Aranda	Sasobit	k0+080	Exclusión por presencia de redes
		k0+000	
		k0+030	
		k0+100	
Cundinamarca	Cal Hidratada-negro de Humo	k0+129	Espesor de base granular compensado con mezcla
		k0+000	
		k0+005	Exclusión por presencia de redes
		k0+095	
k0+100			

Fuente: (Coronado & Betancourt, 2016)

3.1.1 Evaluación funcional actual de los tramos experimentales

- **Resultados de PCI (índice de condición de pavimento)**

La identificación y la clasificación de los deterioros presentes en los pavimentos se realizaron a partir de la medición hecha con el equipo MFV y del procesamiento mediante el software Dynatest Explorer. En la Figura 3-1 se muestra el área de la afectación de cada patología presente, las unidades de medición y los resultados del índice PCI determinados para los diferentes tramos. El reporte completo se encuentra en el Anexo H.

Figura 3-1: Resumen de deterioros superficiales de los pavimentos (2021)

Los cuatro tramos evaluados presentan valores de PCI mayores a 90 y no se encontraron patologías en severidades altas o asociadas a problemas estructurales, como se observa en la Figura 3-1, el tramo que tiene mayor afectación por fisuras es el localizado en el barrio Cundinamarca. Los tramos de Puente Aranda y Villa Luz presentan la mayor densidad de parches, sin embargo, su afectación por fisuras longitudinales y transversales es baja o nula.

De acuerdo con el procedimiento descrito en la metodología, en la Tabla 3–2 se presenta el número de unidades de muestra y el área de cada uno de los tramos de análisis. En cada segmento se tienen entre 4 y 5 unidades de muestra lo cual está en función al tamaño mínimo de acuerdo con la norma ASTM 6433.

Tabla 3–2: Determinación de las unidades de muestra

Barrio	Longitud (m)	Ancho	CIV	Área (m²)	# Unidades de muestras	Área de las unidades de muestra (m²)
Villa Luz	102.5	8	10008315	820	4	205
Restrepo	93.8	8	15001193	750.4	4	187.6
Puente Aranda	129.5	8	16000236	1036	5	207.2
Cundinamarca	100	9	16000700	900	4	225

En la Tabla 3–3 se muestran los resultados de la condición del pavimento en términos del indicador PCI en los cuatro tramos experimentales, algunas de las unidades de muestra no presentan deterioros apreciables que indiquen la afectación estructural del pavimento. De igual forma, en diferentes zonas se registra ocurrencia de parches, pérdida de agregados, fisuras longitudinales y transversales, en severidades variables que disminuyen el índice de la condición del pavimento como se puede apreciar en la Figura 3-1.

Tabla 3–3: Resultados PCI

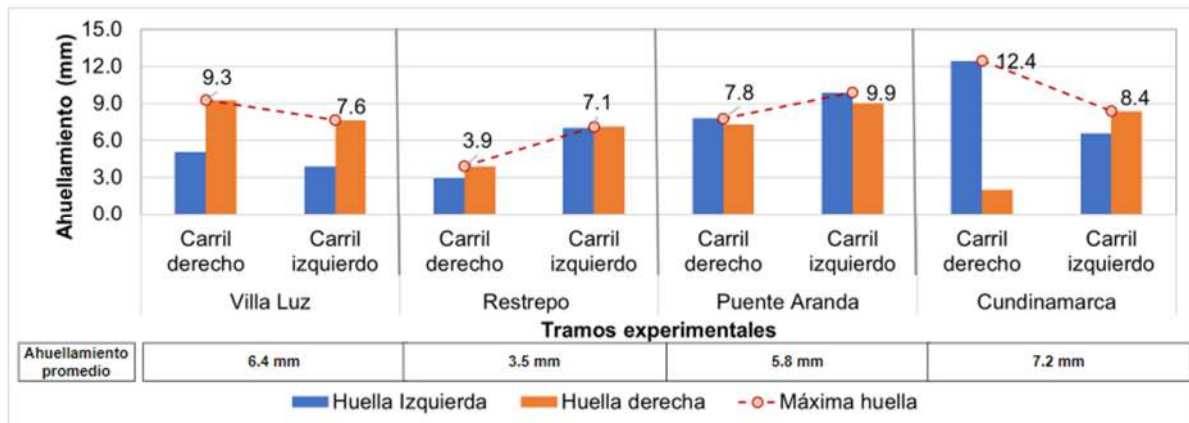
Tramo	Unidad de muestra	PCI Unidad de muestra	Clasificación ASTM D6433	Clasificación IDU			PCI Promedio	Clasificación ASTM D6433	Clasificación IDU		
Villa Luz	1	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	96.8	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	94	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	93	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
Restrepo	1	89	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	95.8	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	94	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
Puente Aranda	1	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	96.2	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	88	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	97	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	5	96	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
Cundinamarca	1	90	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	90	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	78	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	92	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					

➤ **Ahuellamiento**

Las deformaciones plásticas del pavimento se detallan en la Figura 3-2, como se aprecia en la gráfica se presentan los valores máximos de cada carril que varían entre 3.9 y 12.4

los cuales son valores bajos teniendo en cuenta que llevan 5 años de operación y se encuentran por debajo de los valores máximos establecidos en los Apéndices Técnicos de la ANI para vías de quinta generación (máximo 15 mm como valor puntual y 20 mm como valor promedio). El tramo de prueba más afectado debido a la deformación de las capas que conforman el pavimento es el tramo localizado en el barrio Cundinamarca, mientras que el tramo del barrio Restrepo fue el que menos afectación evidencio. En el Anexo G se muestra el compilado total de los valores obtenidos para este indicador.

Figura 3-2: Resumen valor de Ahuellamiento evaluado mediante RSP



Tanto en el tramo de prueba localizado en el barrio Cundinamarca como el localizado en el barrio Villa Luz presentan vehículos parqueados casi todo el tiempo, razón por la cual puede verse afectado este indicador. El tramo ubicado en el barrio Restrepo (mejoramiento con Cal) presenta el mejor comportamiento de los sectores evaluados ante este parámetro lo cual indica una mayor resistencia a las deformaciones debidas a las cargas de tránsito, bajas velocidades de aplicación de carga o susceptibilidad a la temperatura, el tramo de Puente Aranda (mejoramiento con Sasobit) presentó las mayores deformaciones de los cuatro tramos medidos, mientras que los segmentos de Villa Luz y Cundinamarca presentan valores intermedios.

Este indicador muestra la deformación plástica de la estructura de pavimento y puede estar dado por una deformación en las diferentes capas que lo componen o por deformaciones superficiales del pavimento asociadas a las condiciones climáticas, a la velocidad de

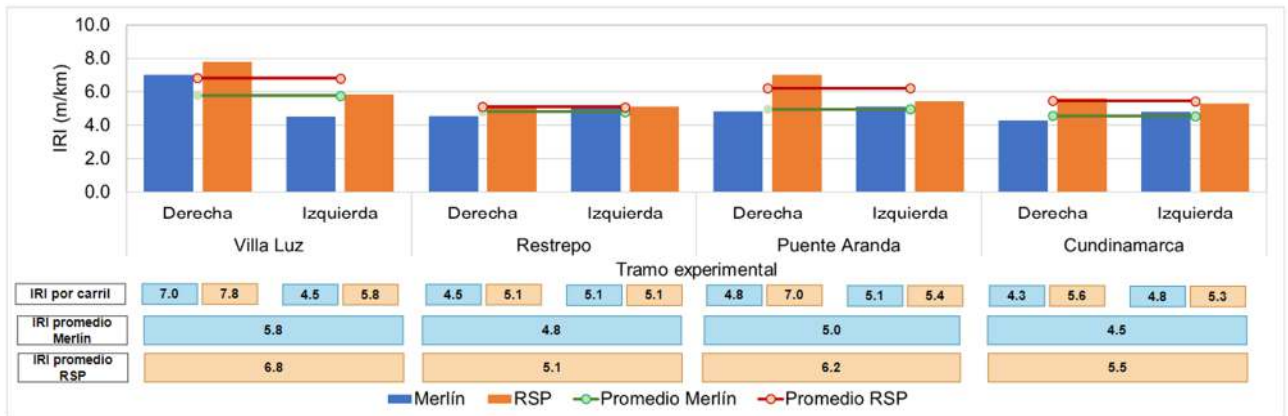
aplicación de la carga, tipo de penetración de la mezcla asfáltica, resistencia de las capas que componen las estructura, entre otras.

En general, los valores medidos para este indicador muestran un buen desempeño de la estructura ante deformaciones verticales transmitidas a la subrasante.

➤ **Índice de regularidad internacional (IRI)**

Las mediciones de regularidad se realizaron con dos equipos diferentes el Perfilómetro Láser RSP III (Road Surface Profilometer) y el Merlín (Machine Evaluating Roughness using Low cost INstrumentation), ambos equipos muestran diferencias en los valores reportados presentando mayores valores de regularidad al medir con el perfilómetro inercial, esta diferencia es debido a que cada equipo se basa en características de medición diferentes, sin embargo, con ambos equipos es convergente la tendencia de los resultados obtenidos lo cual se puede observar en la Figura 3-3 en esta se resumen los resultados obtenidos.

Figura 3-3: Resultados IRI mediante equipo Merlín y RSP



De acuerdo con la gráfica anterior, se puede inferir que el tramo más afectado por este parámetro es el localizado en el barrio Villa Luz, la zona menos afectada por este indicador es el barrio Cundinamarca. Al analizar los resultados obtenidos por los dos equipos se evidencia el mismo comportamiento de los tramos de prueba.

El valor del IRI representa la totalidad de irregularidades en el perfil del terreno estas pueden deberse a irregularidades por los alineamiento geométricos, deformaciones plásticas entre otras cosas, según el HDM IV esta es una variable muy sensible que depende de múltiples factores como : las características estructurales del pavimento, la condición de fisuración, el ahuellamiento, los baches y las condiciones ambientales, en este indicador se encuentran valores elevados con respecto a la especificación del IDU (Argueta Mejía & Castro Hernández, 2009)

➤ **Macrotextura**

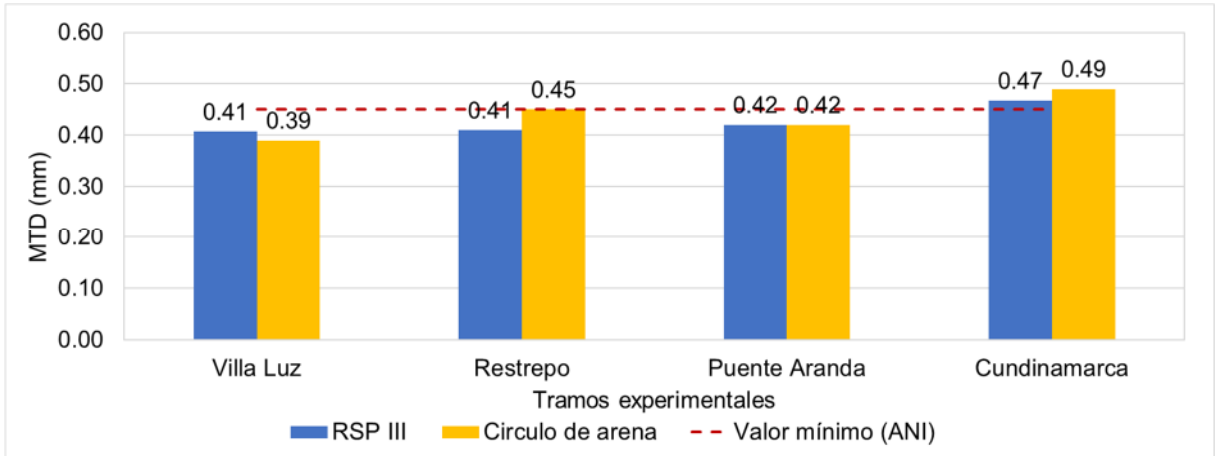
La evaluación de la macrotextura en los tramos evaluados se realizó a partir del método del círculo de arena (método volumétrico) y el del perfilómetro láser RSP.

✓ **Círculo de arena**

En la Figura 3-4, se observa una marcada relación entre los valores obtenidos mediante círculo de arena y los calculados a partir del perfilómetro láser empleando la ecuación (2.6), sin embargo, cada láser puede tener características diferentes y se debe verificar la calibración adecuada de los equipos. Para la gráfica se tomó como referencia un valor máximo establecido en los apéndices técnicos 4 de las vías de quinta generación de la ANI (valor puntual >0.5 mm y valor medio >0.45 mm).

En general, los cuatro tramos de prueba presentan valores de macrotextura bajos y de acuerdo con el valor de referencia de las vías de quinta generación no tendrían la macrotextura adecuada para la funcionalidad al usuario. El tramo más afectado por este parámetro es el localizado en el barrio Villa Luz ya que tiene un valor de macrotextura de 0.39.

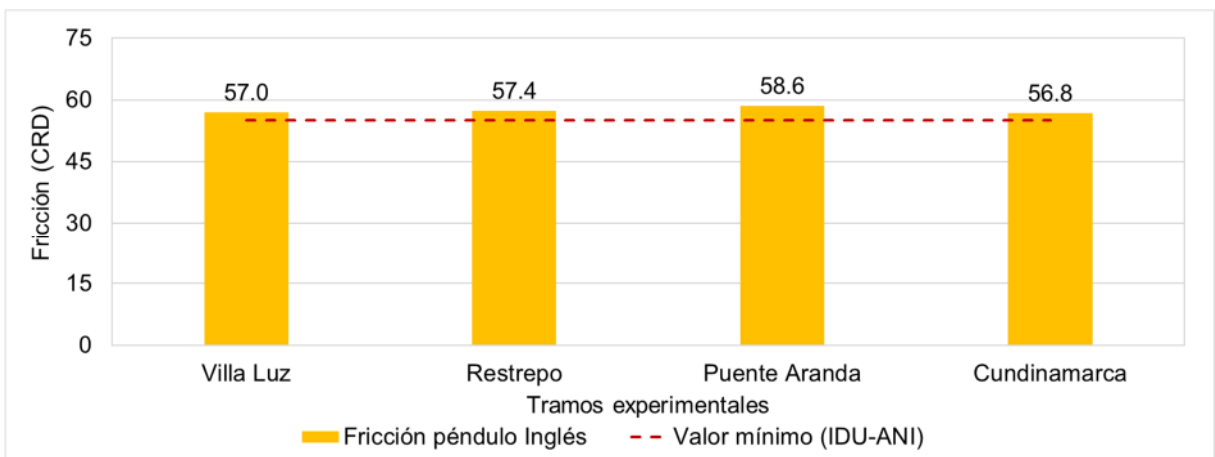
Figura 3-4: Valores de macrotextura (MTD)



➤ **Fricción**

En la Figura 3-5 se muestra el resumen del coeficiente de fricción promedio obtenido mediante el péndulo inglés (CRD). Como criterio de comparación, se empleó la especificación IDU 600-18 “*El coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) debe ser mayor a cincuenta y cinco centésimas (0.55)*”, el cual coincide con el valor de aceptación de coeficiente de fricción para vías de quinta generación tomado mediante el péndulo inglés.

Figura 3-5: Resumen valor de fricción evaluado mediante el péndulo británico



De acuerdo con el criterio de comparación utilizado, los tramos de prueba presentan una adecuada resistencia al deslizamiento, sin embargo, están cercanos al valor de referencia

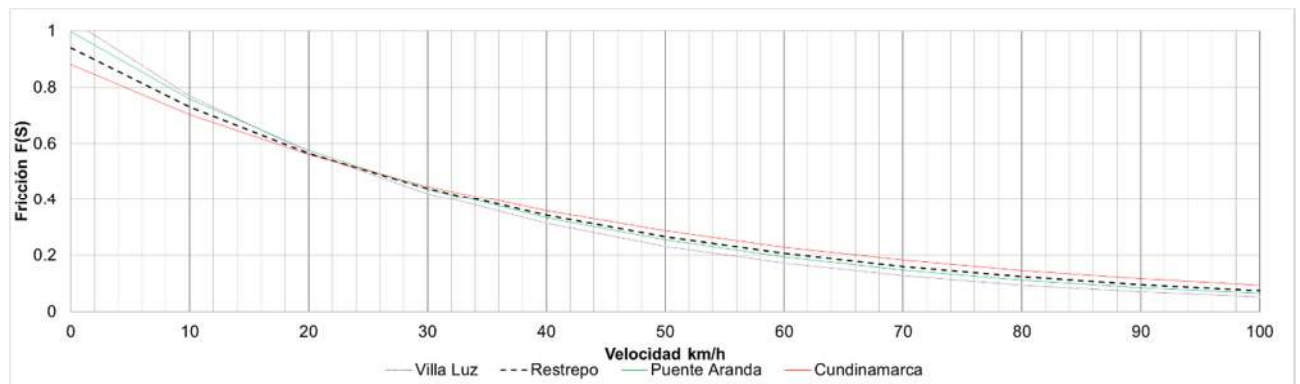
especificado por el IDU por lo cual se recomienda la revisión de un plan de gestión que prevenga el deterioro y pérdida de la funcionalidad y calidad para el usuario.

➤ Índice de Fricción Internacional (IFI)

Con el fin de establecer un comparativo entre la oferta de fricción de los tramos evaluados se realizó el cálculo del Índice de Fricción Internacional IFI, el cual permite calificar el comportamiento de resistencia a la fricción en función del coeficiente de fricción y de la condición de macrotextura medida. En el Anexo F se muestra el cálculo de los parámetros S_P y F_{60} que describen el valor del IFI, así como los coeficientes empleados para su cálculo.

Mediante el parámetro IFI se puede realizar el cálculo de la condición de fricción a diferentes velocidades empleado la ecuación (1.12), los resultados del cálculo para los tramos de prueba se muestran en la Figura 3-6.

Figura 3-6: IFI tramos experimentales



En la Tabla 3-4, se muestra una comparación entre el comportamiento a diferentes velocidades de la oferta de fricción, cada tramo tiene el valor de fricción en función de distintas velocidades, en color verde se representa el valor más alto para cada velocidad indicando que el sector con más valores de este color tiene mayor resistencia al deslizamiento a velocidades de entre 0 y 110 km/h, de igual forma, el tramo con más valores de color rojo tiene la fricción más baja para las velocidades analizadas.

De acuerdo con lo anterior, se observan valores similares en todos los tramos evaluados, sin embargo, el que muestra un mejor desempeño es el tramo Cundinamarca y el que

muestra peor condición de fricción es el tramo Villa Luz como se puede ver en la Tabla 3-4.

Tabla 3-4: Resumen valores de fricción a diferentes velocidades

Tramo	Fricción en función de la velocidad											
	0 km	10 km	20 km	30 km	40 km	50 km	60 km	70 km	80 km	90 km	100 km	110 km
Villa Luz	1.038	0.769	0.570	0.422	0.313	0.232	0.172	0.127	0.094	0.070	0.052	0.038
Restrepo	0.940	0.730	0.567	0.440	0.342	0.265	0.206	0.160	0.124	0.096	0.075	0.058
Puente Aranda	0.997	0.759	0.577	0.439	0.334	0.254	0.193	0.147	0.112	0.085	0.065	0.049
Cundinamarca	0.880	0.703	0.562	0.449	0.358	0.286	0.229	0.183	0.146	0.117	0.093	0.074

Según la ley 1239 de 2008 las velocidades máximas de operación están entre 30 y 120 km/h como se describe a continuación:

Tabla 3-5: Máximas velocidades de operación en Colombia

Criterio	Velocidades máximas de operación	
	Vehículos privados	Vehículos públicos
Bogotá	50 km/h	
vías urbanas y carreteras municipales	80 km/h	60 km/h
Zonas escolares	30 km/h	
Carreteras nacionales y departamentales	120 km/h	80 km/h

Para estos rangos de velocidad el tramo que presenta un mejor desempeño es Cundinamarca, seguido de Puente Aranda, Restrepo y por último Villa Luz.

Según el diagrama de la Figura 1-20 se puede dar una clasificación de la condición de resistencia al deslizamiento de acuerdo al valor de fricción y macrotextura y su ubicación con respecto a la línea T y la curva F (para el cálculo de la curva F se emplearon los criterios límites de fricción del documento técnico de IDI 600.18 y para la selección de la línea T se emplearon los criterios de cumplimiento del apéndice técnico 4 de las vías de quinta generación.), en la Figura 3-7 a la Figura 3-11 se muestra la clasificación de cada uno de los tramos evaluados.

Figura 3-7: Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Villa Luz

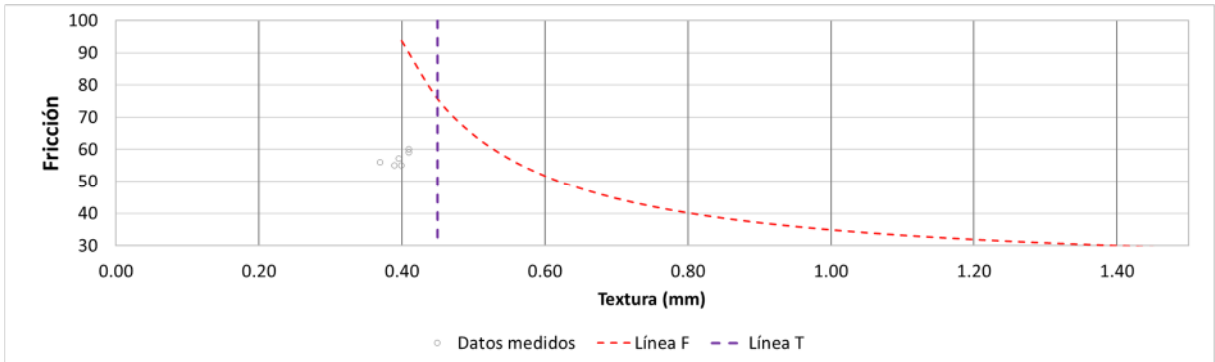


Figura 3-8: Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Restrepo

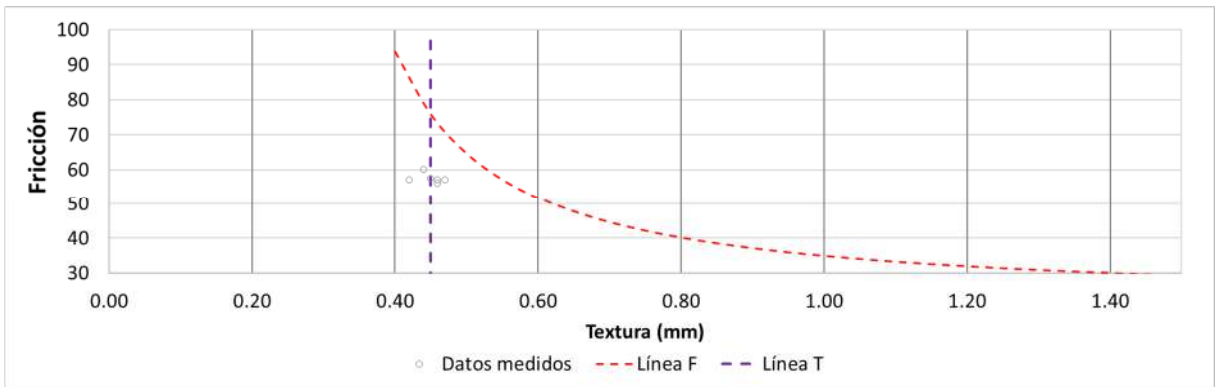


Figura 3-9: Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Puente Aranda

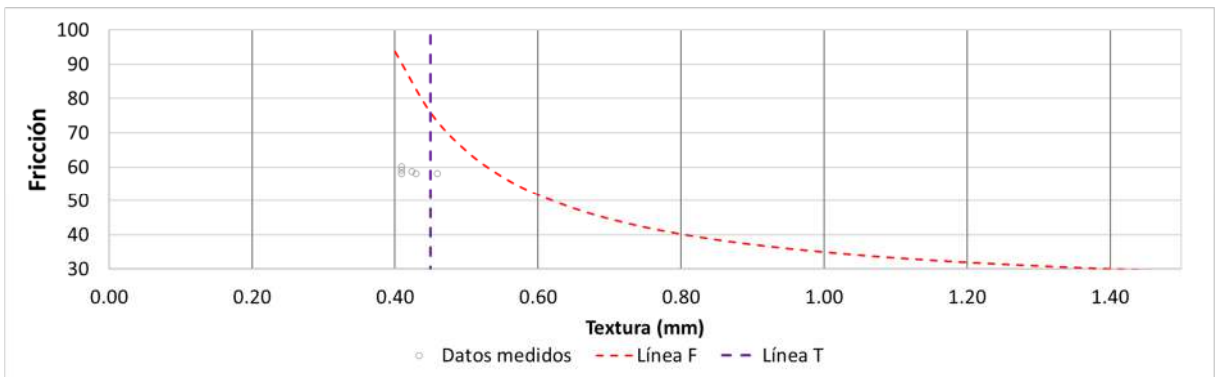
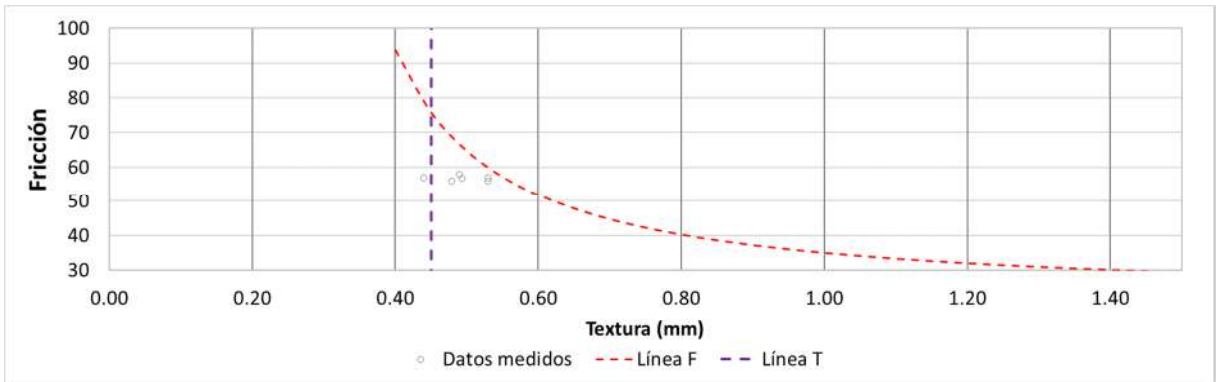
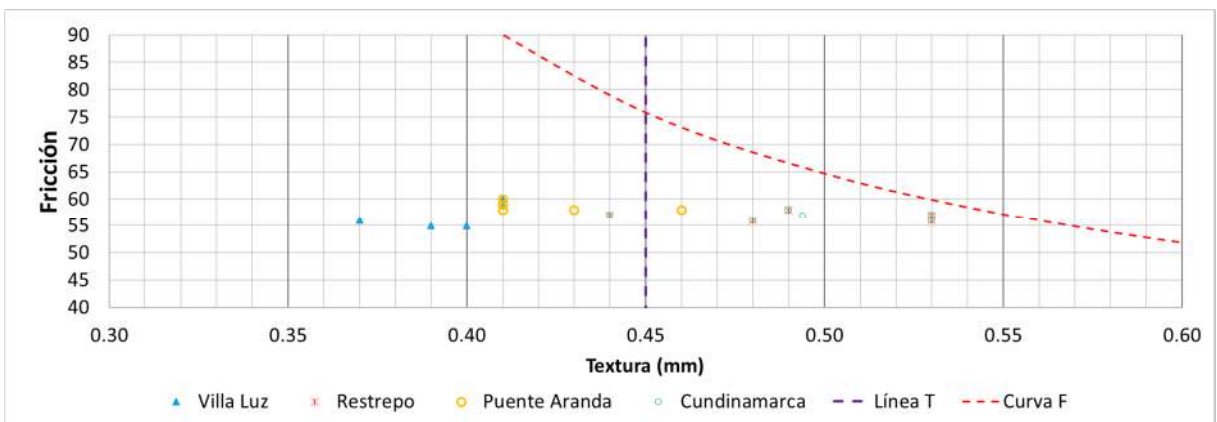


Figura 3-10: Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura Cundinamarca



En la siguiente gráfica se muestra el resumen comparativo de los cuatro tramos evaluados, en este se permiten apreciar que todos los valores se encuentran por debajo de la línea F lo que indica una baja oferta de fricción y un incumplimiento bajo los estándares de cumplimiento de la ANI, adicionalmente, se puede apreciar que los tramos que mejor desempeño muestran en tanto a fricción son Restrepo y Cundinamarca seguidos de Puente Aranda y por último por Villa Luz.

Figura 3-11: Clasificación diagrama de Fricción vs Macrotextura tramos evaluados



La fricción y la textura están ligados a condiciones de seguridad, indican el aporte de resistencia al deslizamiento y no está ligado a la estructura general del pavimento, sin embargo, puede estar ligado a resistencia al desgaste de las capas asfálticas empleadas.

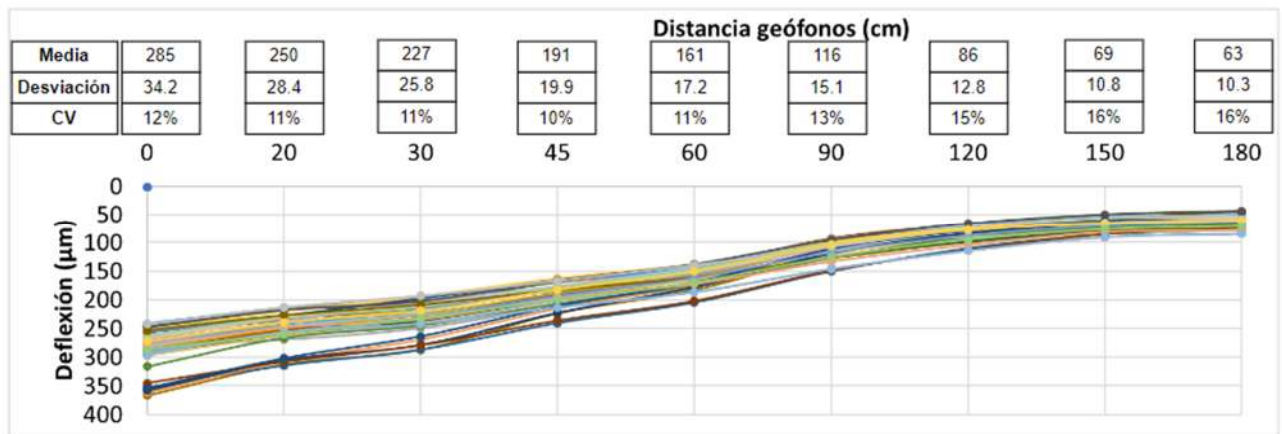
3.1.2 Evaluación de la capacidad estructural actual de los tramos

En el presente numeral se muestra una comparación de los datos obtenidos en cada uno de los tramos de prueba mediante diferentes criterios.

➤ Representatividad de las mediciones

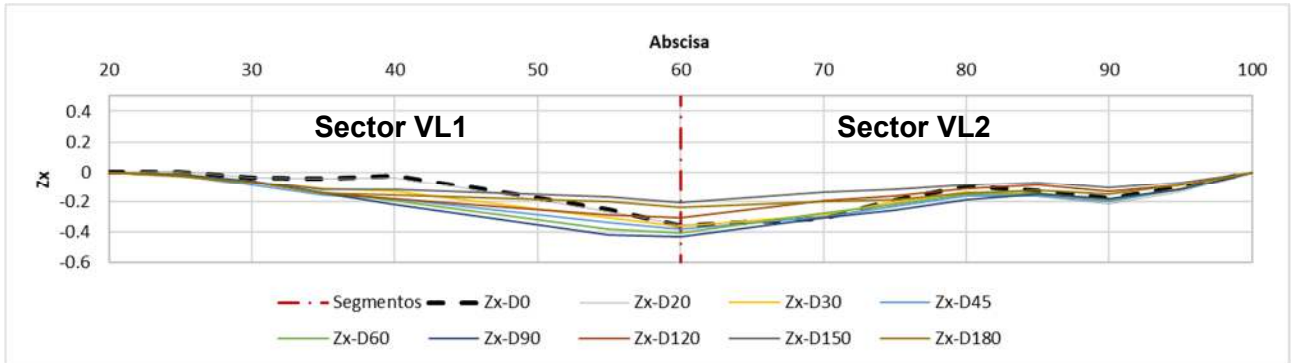
Con el fin de hacer más representativos los datos analizados se buscó determinar entre todos los cuencos medidos un cuenco representativo de acuerdo con el procedimiento descrito en el numeral 2.3.2, estos resultados se muestran en el Anexo I. A continuación, se muestra como ejemplo los resultados del tramo Villa Luz, en este tramo se tomaron datos de deflexión en 21 puntos y en cada uno de estos se registró la información de 2 golpes a 40 kN para un total de 42 datos analizados los cuales se muestran en la Figura 3-12.

Figura 3-12: Total de cuencos analizados Villa Luz



Tras descartar las singularidades presentes en cada uno de los tramos (consultar ver Tabla 3-1), se aplicó el método de diferencias acumuladas con el objetivo de identificar y excluir zonas con comportamiento distinto dentro de los tramos experimentales. La Figura 3-13 presenta los resultados de las diferencias acumuladas para el tramo Villa Luz, en la cual se pueden observar dos sectores diferenciados según su comportamiento.

Figura 3-13: Diferencias acumuladas tramo Villa Luz



En la Tabla 3-6 se muestra el resumen de los sectores de análisis para cada uno de los tramos experimentales.

Tabla 3-6: Sectores de análisis defletometría

Tramo	Sector homogéneo	Abscisa inicial (m)	Abscisa final (m)
Villa Luz	VL1	0	60
	VL2	60	100
Restrepo	RT1	0	35
	RT2	35	85
Puente Aranda	PT1	0	50
	PT2	50	130
Cundinamarca	CU1	0	55
	CU2	55	100

Para cada una de las zonas de análisis, se descartaron valores atípicos utilizando el criterio de la puntuación Z. Este método consiste en evaluar si un punto es representativo o no, verificando que el valor de Z no sea mayor a 1 en los tres primeros geófonos.

Conforme a la metodología descrita, la Figura 3-14 y la Figura 3-15 muestran el cuenco de deflexiones seleccionado, correspondiente al promedio de los datos tras realizar los descartes pertinentes. Además, se evaluó el rango comprendido entre la media más dos desviaciones estándar y la media menos dos desviaciones estándar, lo cual representa el 95% de los datos en una distribución normal. Este proceso permitió reducir el coeficiente de variación.

Figura 3-14: Cuenco de deflexión seleccionado Villa Luz sector homogéneo1

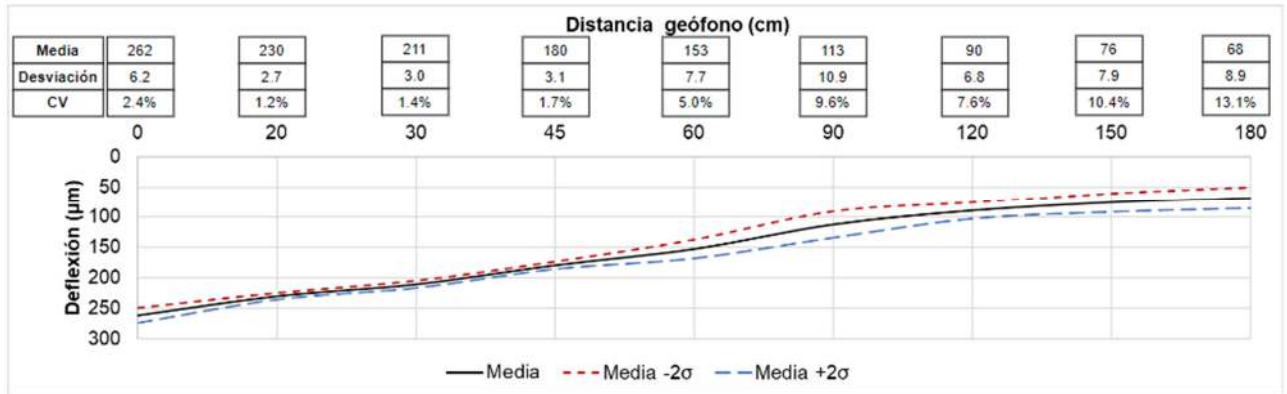
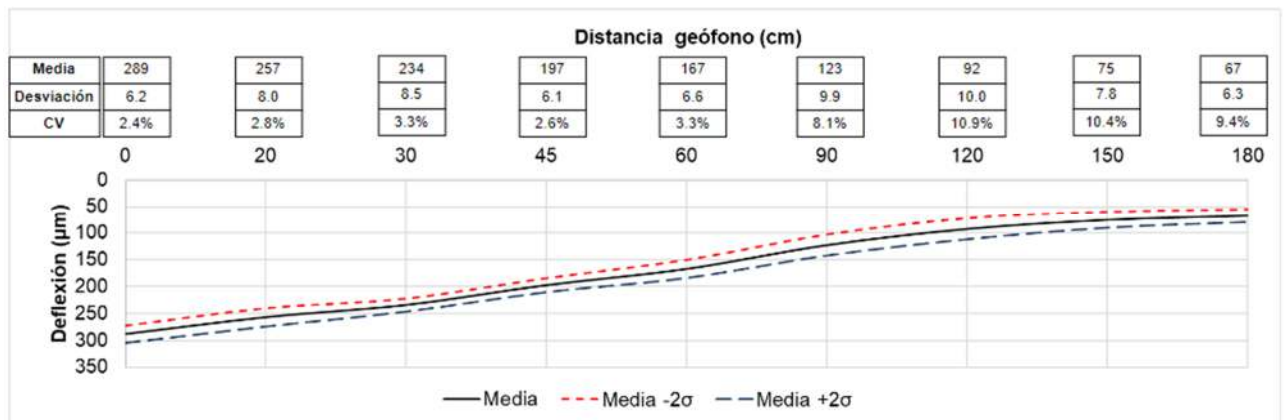
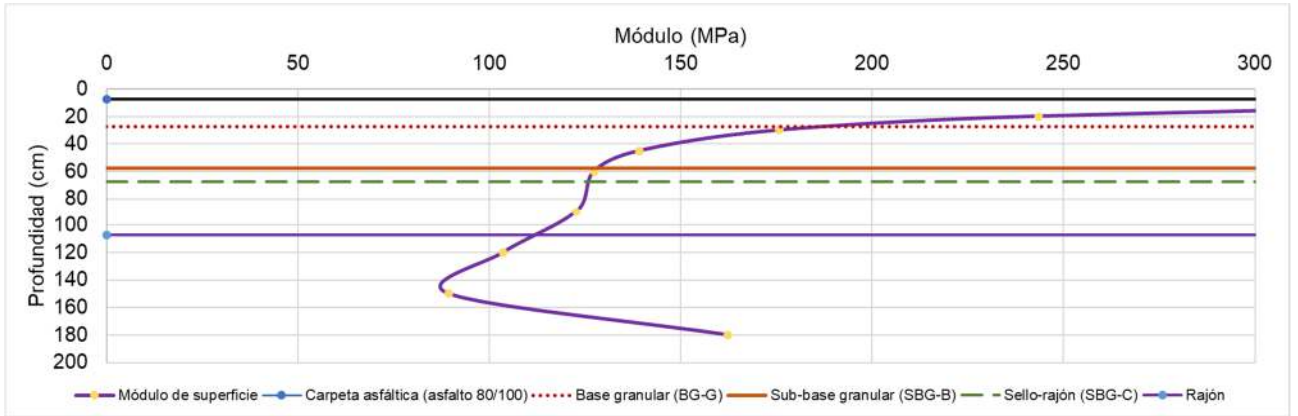


Figura 3-15: Cuenco de deflexión seleccionado Villa Luz sector homogéneo 2



Además, se calculó el módulo de superficie para cada uno de los puntos evaluados, identificando aquellos con un comportamiento atípico. La Figura 3-16 ilustra un ejemplo del módulo de superficie correspondiente al punto situado en la abscisa k0+040.

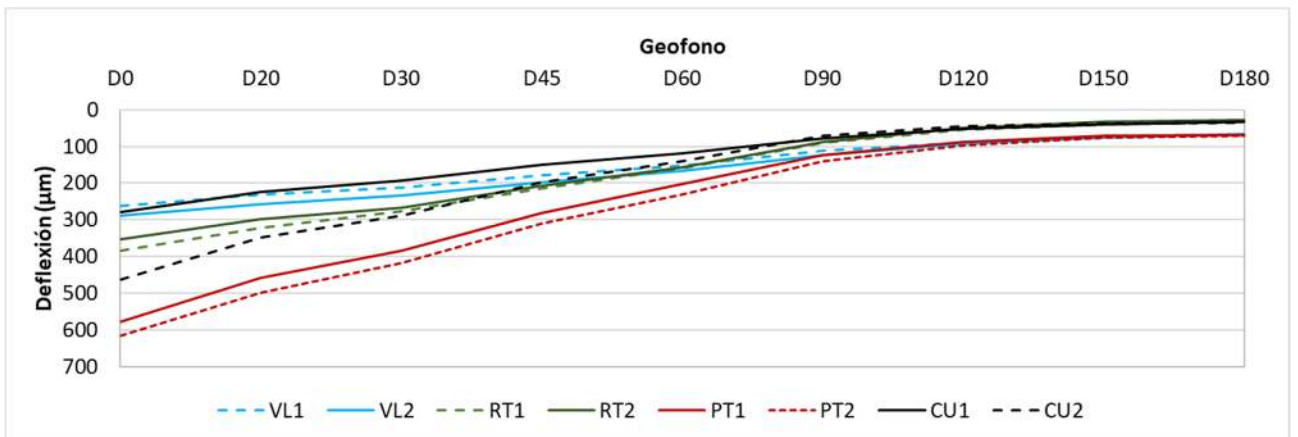
Figura 3-16: Ejemplo Módulos de superficie Villa Luz



➤ **Cuenco de Deflexiones**

En la Figura 3-17 muestra el cuenco de deflexiones seleccionado para cada uno de los tramos experimentales y los sectores homogéneos que los componen. Se observa una tendencia similar entre los segmentos pertenecientes al mismo tramo, con la excepción del sector Cundinamarca. Tal como se evidencia en la figura, las deflexiones más altas se registran en el tramo de Puente Aranda, mientras que las más bajas se presentan en el tramo Villa Luz y en el sector 1 del tramo Cundinamarca.

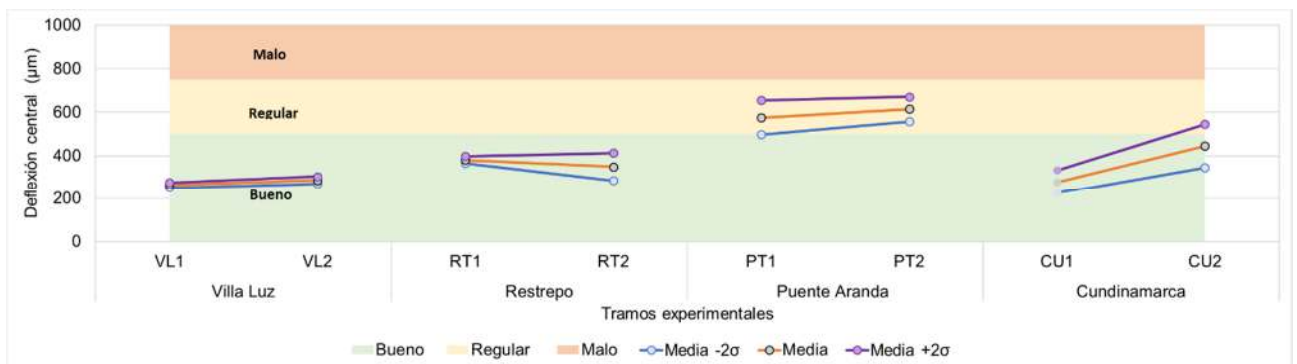
Figura 3-17: Cuenco de deflexiones tramos de prueba



➤ Parámetros cuantitativos de Horak

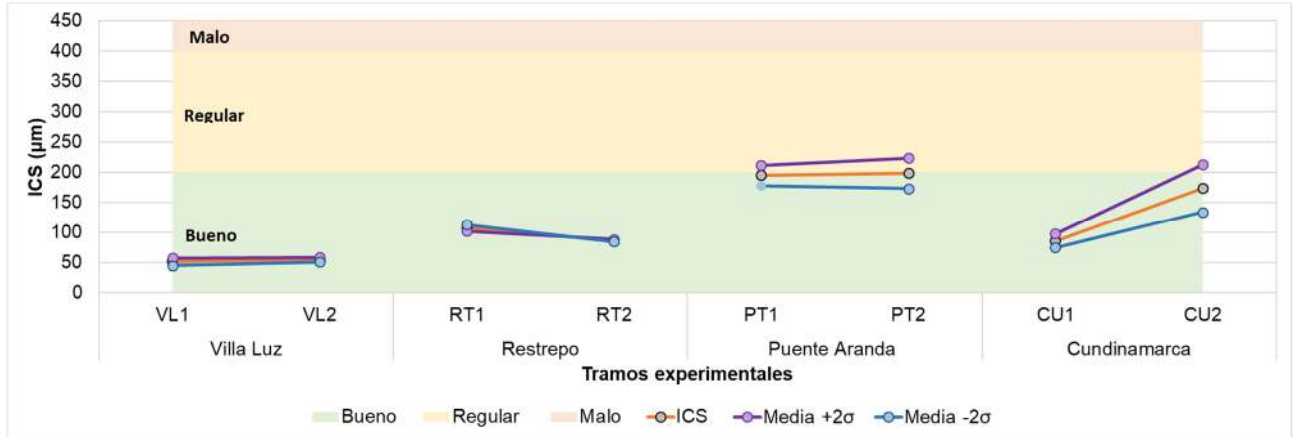
A partir de las mediciones de deflexiones realizadas con el deflectómetro de impacto, se efectúa un análisis cualitativo de la resistencia de cada capa que conforma la estructura del pavimento. Para ello, se comparan las deflexiones centrales y las diferencias entre las deflexiones de los demás geófonos, utilizando los rangos de calificación de comportamiento establecidos por Emile-Horak para estructuras estándar. La evaluación de los parámetros de Emile-Horak se llevó a cabo considerando la sectorización descrita en la Tabla 3-6. En el análisis, se empleó un rango correspondiente al cuenco seleccionado más o menos dos desviaciones estándar, es decir, al 95% de los datos analizados. La Figura 3-18 presenta las deflexiones centrales promedio de cada sector homogéneo de los tramos experimentales clasificados, mientras que en las Figura 3-19 a Figura 3-21 se muestra el comportamiento de los parámetros ICS, IDB e ICB, que representan el comportamiento de las capas superiores, intermedias e inferiores, respectivamente.

Figura 3-18: Valores de la deflexión central de los cuencos representativos en los sectores homogéneos



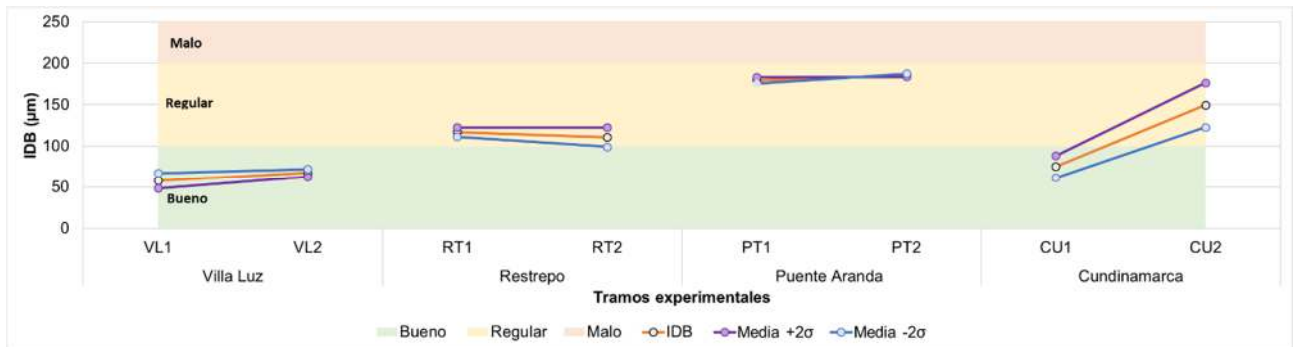
Nota: Intervalos de comportamiento estructural del pavimento (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

Figura 3-19: Valores del parámetro ICS (rodadura asfáltica) de los cuencos representativos en los sectores homogéneos



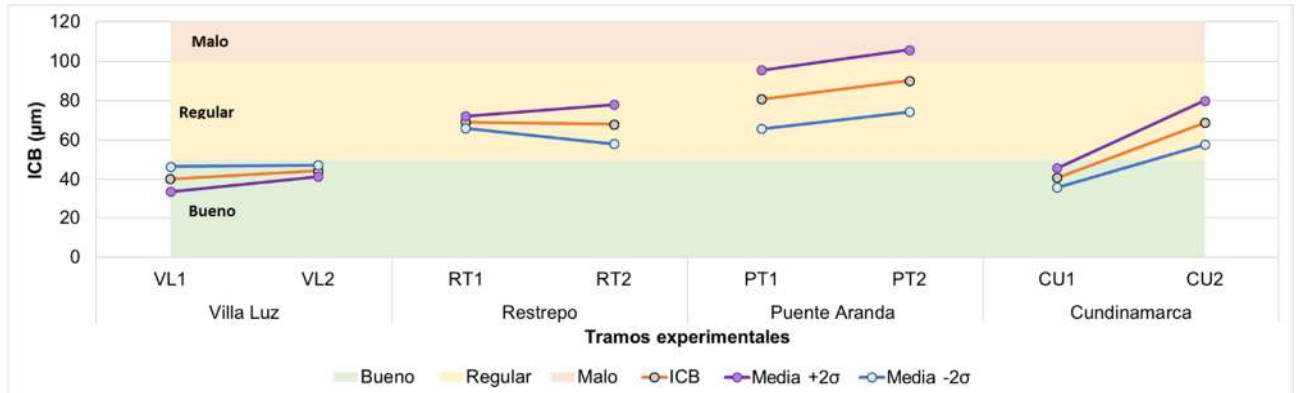
Nota: Intervalos de comportamiento estructural para las capas asfálticas (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

Figura 3-20: Valores del parámetro IDB (capas intermedias) de los cuencos representativos en los sectores homogéneos



Nota: Intervalos de comportamiento estructural para las capas intermedias granulares (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

Figura 3-21: Valores del parámetro IDC (subrasante) de los cuencos representativos en los sectores homogéneos



Nota: Intervalos de comportamiento estructural para la subrasante (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

Conforme a la Figura 3-18 y siguiendo los criterios de Emile-Horak, la estructura ha sido clasificada como "buena" en los tramos Villa Luz, Restrepo y Cundinamarca en términos de su comportamiento cuantitativo. Sin embargo, el tramo Puente Aranda ha sido clasificado como "regular". Cabe destacar que el tramo Cundinamarca muestra una elevada variabilidad en los datos correspondientes a cada uno de sus sectores homogéneos.

La Figura 3-19 presenta la clasificación del parámetro ICS, el cual refleja el comportamiento de las capas asfálticas en la estructura. Se puede observar que los tramos Villa Luz, Restrepo y Cundinamarca han sido clasificados como "bueno", siendo Villa Luz el que presenta un mejor comportamiento. Además, los sectores homogéneos CU1 y CU2 exhiben una diferencia notable entre los sectores de análisis de los tramos experimentales. Por otro lado, el tramo Puente Aranda se encuentra en el límite entre la clasificación de "bueno" y "regular".

La Figura 3-20 muestra la clasificación del parámetro IDB, el cual refleja el comportamiento de las capas intermedias en la estructura. De acuerdo con este criterio, los segmentos del tramo Villa Luz y el sector CU1 del tramo del barrio Cundinamarca presentan el mejor desempeño y han sido clasificados como "bueno". A continuación, se encuentran los

sectores del tramo Restrepo y el sector CU2, que han sido clasificados como "regular". Finalmente, el tramo Puente Aranda ha sido clasificado en la misma categoría de "regular".

La Figura 3-21 muestra la clasificación del parámetro ICB, que representa el comportamiento de la subrasante. Según este criterio, la organización de mejor a peor desempeño es la siguiente: los tramos de Villa Luz y el sector CU1, seguidos por los sectores del tramo Restrepo y el sector CU2, y finalmente por el tramo Puente Aranda, los cuales se encuentran clasificados como "regular". Se observa una alta diferencia entre el valor más y menos 2 desviaciones estándar para el tramo Puente Aranda.

En la Tabla 3–7 se muestra el resumen de los resultados de los parámetros de Emile Horak para cada uno de los sectores homogéneos.

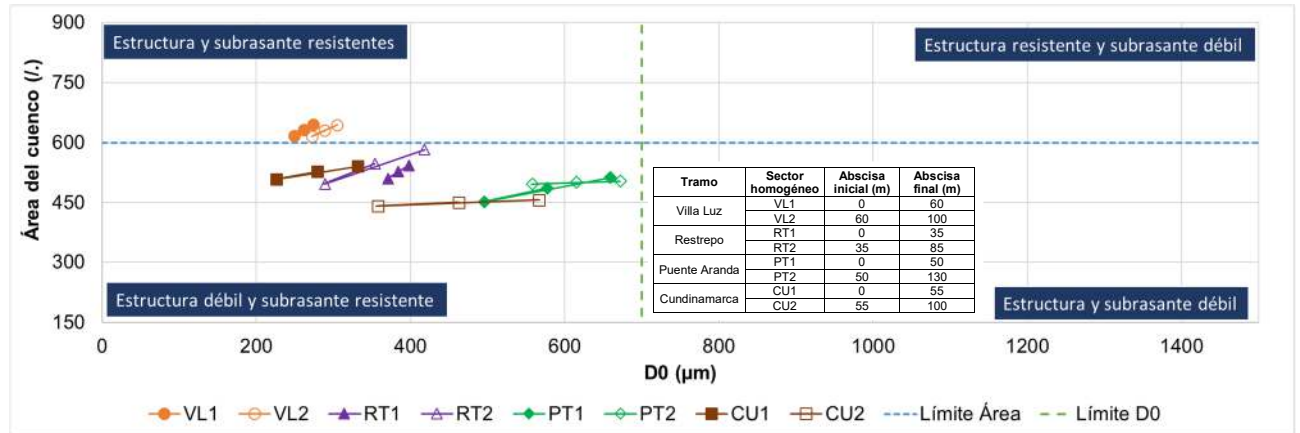
Tabla 3–7: Resumen indicadores de Horak de los sectores homogéneos

Tramo	Zona homogénea	D0			ICS			IDB			ICB		
		Máx	Min	Calificación	Máx	Min	Calificación	Máx	Min	Calificación	Máx	Min	Calificación
Villa Luz	VL1	274	249	Bueno	57	45	Bueno	48	67	Bueno	34	47	Bueno
Villa Luz	VL2	304	270	Bueno	57	51	Bueno	59	72	Bueno	40	48	Bueno
Restrepo	RT1	397	364	Bueno	119	102	Bueno	114	114	Regular	73	65	Regular
Restrepo	RT2	413	286	Bueno	88	82	Bueno	119	99	Regular	77	55	Regular
Puente Aranda	PT1	654	497	Regular	208	180	Bueno-Regular	182	175	Regular	96	65	Regular
Puente Aranda	PT2	672	558	Regular	224	173	Bueno-Regular	184	188	Regular	106	74	Regular
Cundinamarca	CU1	332	226	Bueno	97	74	Bueno	88	61	Bueno	46	36	Bueno
Cundinamarca	CU2	545	346	Bueno	203	130	Bueno-Regular	171	118	Regular	76	55	Regular

➤ Área normalizada del cuenco

El parámetro de área normalizada es un criterio esencial que proporciona información valiosa acerca de la resistencia de la estructura del pavimento. La clasificación cualitativa se lleva a cabo utilizando la Figura 1-23, que considera el área del cuenco y la deflexión central medida. La Figura 3-22 presenta la clasificación de cada uno de los sectores de análisis descritos en la Tabla 3–6. Para cada sector, se evaluó el valor del cuenco seleccionado, tomando en cuenta el valor promedio más y menos dos desviaciones estándar, lo cual representa el 95% de los datos analizados. Estos rangos se muestran en la gráfica correspondiente.

Figura 3-22: Área normalizada de los cuencos representativos de los tramos experimentales.

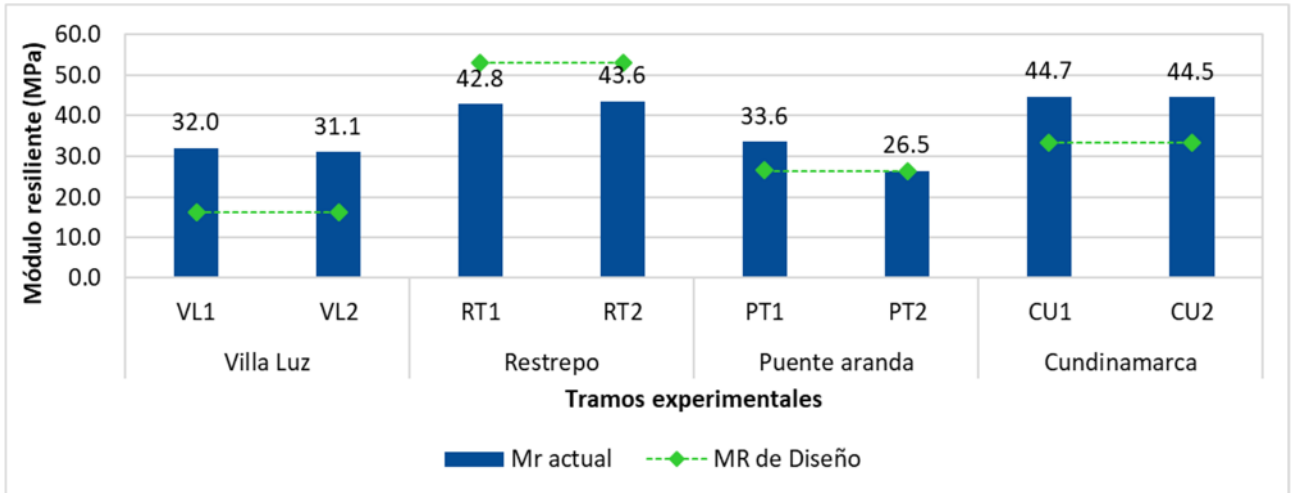


Se puede observar que, en general, los tramos evaluados presentan estructuras débiles y subrasantes fuertes, de acuerdo con el área del cuenco. Sin embargo, esta tendencia no se aplica a los sectores que componen el tramo Villa Luz, el cual se destaca por presentar estructura y subrasante resistentes. Además, se puede notar que este tramo presenta la menor variación entre los sectores que lo componen, lo cual indica una mayor homogeneidad en la evaluación. Por otro lado, el tramo Cundinamarca exhibe una alta diferencia entre los sectores que lo componen, así como una mayor variación entre los datos que conforman cada sector. Esto se evidencia en el tamaño del rango y sugiere una mayor heterogeneidad en la evaluación de este tramo

➤ **Parámetro AASHTO**

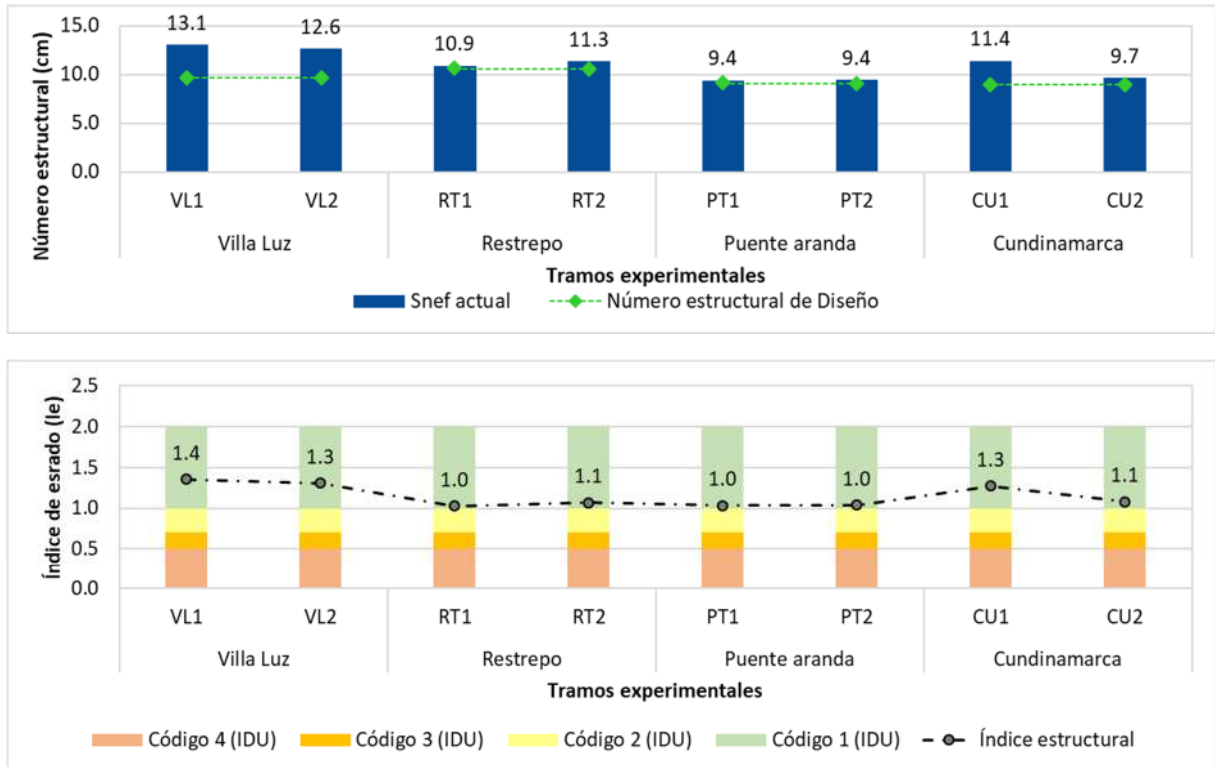
En este estudio se ha evaluado el comportamiento de los parámetros estructurales de la metodología AASHTO, tales como el número estructural efectivo y requerido, los módulos resilientes y el índice estructural del pavimento. Para llevar a cabo esta evaluación, se ha utilizado la sectorización descrita en la Tabla 3–6. En la Figura 3-23 se muestran los valores de módulo resiliente de la subrasante, los cuales han sido calculados a partir de las mediciones realizadas en el año 2021 y se presentan en barras.

Figura 3-23: Módulo resiliente estimado de las subrasante de los sectores homogéneos



La evaluación de los parámetros estructurales revela que el tramo Puente Aranda presenta un valor similar a la condición de diseño, mientras que en los tramos Cundinamarca y Villa Luz se observa un incremento del valor con respecto al diseño y en Restrepo se encuentra un valor inferior. En la Figura 3-24 se presenta una comparación del número estructural efectivo (representado por las barras) y el número estructural de diseño (representado por puntos) en cada zona de análisis. Además, se muestra el índice estructural en la parte inferior de la figura, el cual refleja la relación entre el número estructural efectivo y el número estructural de diseño.

Figura 3-24: Número estructural efectivo de los sectores homogéneos e índice estructural



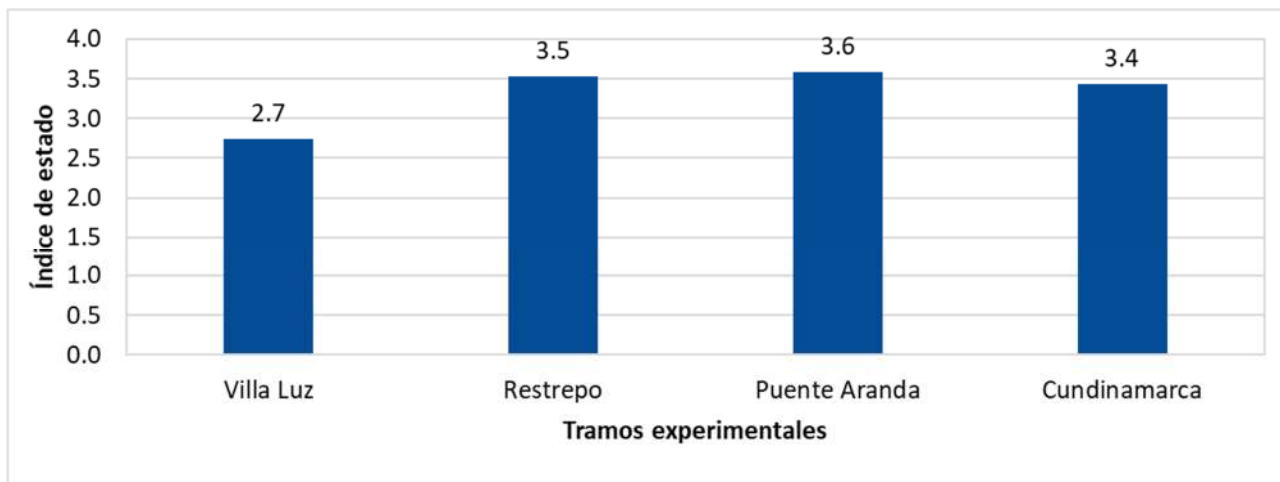
En general, se han observado valores similares entre el número estructural de diseño y los valores efectivos obtenidos en la evaluación de los tramos, a excepción del tramo Villa Luz, en el cual se ha encontrado una mayor resistencia en comparación con la condición de diseño. Este resultado puede ser indicativo de un diseño conservador en el tramo Villa Luz, lo cual ha llevado a una mayor resistencia en la estructura del pavimento evaluada. Clasificación Global del Pavimento.

De acuerdo con la clasificación por índice estructural todos los tramos están clasificados como 1 según la clasificación del IDU, lo cual indica una condición adecuada de las características estructurales en comparación con las condiciones de diseño.

En la Figura 3-25 se presenta el índice de estado, el cual es un indicador de la calidad del pavimento y varía de 0 a 5. Este índice se basa en la condición de la regularidad (IRI), la fricción, el porcentaje de fisuración y el ahuellamiento, de acuerdo con las concesiones viales de segunda y tercera generación. Es importante destacar que este índice proporciona una medida global del estado del pavimento y puede ser utilizado como una

herramienta útil para la toma de decisiones en cuanto a la planificación del mantenimiento y reparación del pavimento.

Figura 3-25: Índice de estado actual



En los tramos evaluados, aquellos que presentan mezclas modificadas (Cundinamarca, Puente Aranda y Restrepo) muestran un mejor comportamiento del índice de estado. Esto se debe principalmente a que el tramo Villa Luz ha obtenido valores más altos en la regularidad, y este método otorga una ponderación mayor a este parámetro. En la Tabla 3-8 se presentan los valores que se han empleado para el cálculo del índice de estado.

Tabla 3-8: Valores empleados para el cálculo del Índice de estado

Tramo	IRI (m/km)		Ahuellamiento (mm)		Fisuras %		Resistencia al deslizamiento	
	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación
Villa Luz	5.7	Malo	4.94	Muy bueno	0	Muy bueno	57	Muy bueno
Restrepo	4.8	Regular	3.045	Muy bueno	0.4	Muy bueno	57.4	Muy bueno
Puente Aranda	5	Regular	4.74	Muy bueno	0.1	Muy bueno	58.6	Muy bueno
Cundinamarca	4.5	Regular	5.375	Muy bueno	1.33	Bueno	56.8	Muy bueno

En la evaluación de los pavimentos, se ha llevado a cabo una evaluación cualitativa de los parámetros funcionales medidos. Estos parámetros se resumen en la Tabla 3-9, donde se presenta la calificación de cada indicador en una escala de 1 a 4. En esta escala, el valor 4 se asigna al tramo con mejor desempeño y el valor 1 se otorga al que presenta menor desempeño. Este análisis proporciona una visión general de la calidad de los pavimentos

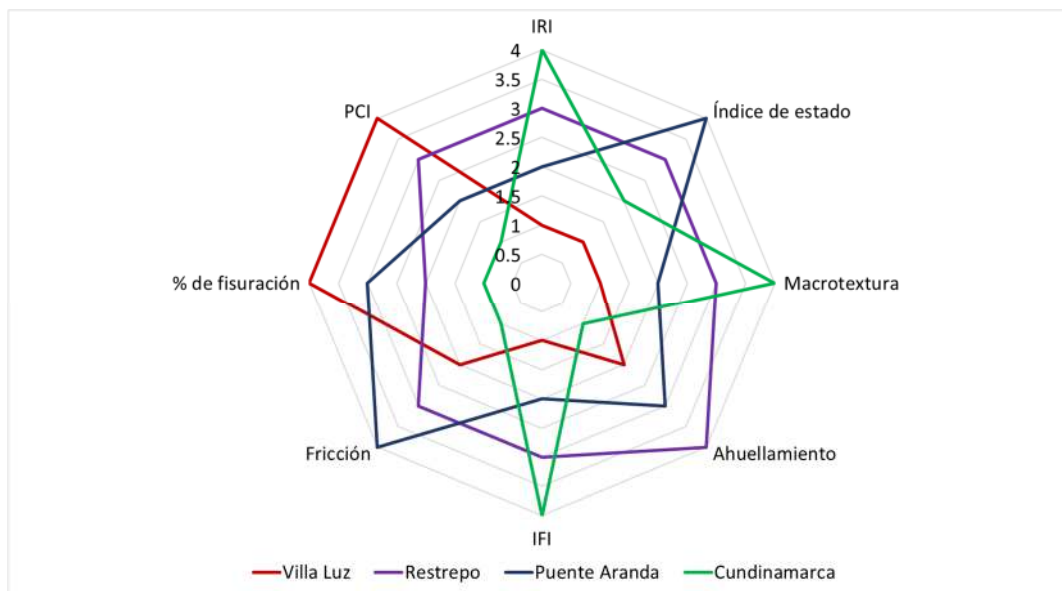
evaluados y puede ser útil para la identificación de las áreas críticas que requieren atención y mantenimiento.

Tabla 3–9: Clasificación cualitativa de parámetros funcionales de los pavimentos

Indicador	80-100	Mezcla tibia	CH	NH+CH
	Villa Luz	Restrepo	Puente Aranda	Cundinamarca
1 IRI	1	3	2	4
2 Índice de estado	1	3	4	2
3 Macrotextura	1	3	2	4
4 Ahuellamiento	2	4	3	1
5 IFI	1	3	2	4
6 Fricción	2	3	4	1
7 % de fisuración	4	2	3	1
8 PCI	4	3	2	1
Promedio	2.0	3.0	2.8	2.3
Sumatoria	16.0	24.0	22.0	18.0

En la Figura 3-26 se presenta un resumen gráfico de las características funcionales analizadas en cada uno de los tramos. En este gráfico, el área del polígono representa el desempeño de los indicadores funcionales, donde un mayor área del polígono indica un mejor desempeño. En general, se puede observar que el tramo Restrepo ha obtenido el mejor desempeño, mientras que el tramo Villa Luz ha presentado el peor desempeño. Cabe destacar que el tramo Villa Luz ha sido construido con una mezcla asfáltica convencional, lo cual puede explicar en parte su peor desempeño en comparación con los tramos que presentan mezclas modificadas. Este análisis gráfico proporciona una visión general del desempeño de los pavimentos evaluados y puede ser útil para la identificación de las áreas críticas.

Figura 3-26: Clasificación parámetros funcionales



Para cada uno de los tramos homogéneos de análisis, se ha llevado a cabo un análisis de los parámetros relacionados con la capacidad estructural del pavimento. Estos parámetros se detallan en la Tabla 3–10 , y proporcionan información relevante sobre la resistencia y capacidad de carga del pavimento en cada tramo.

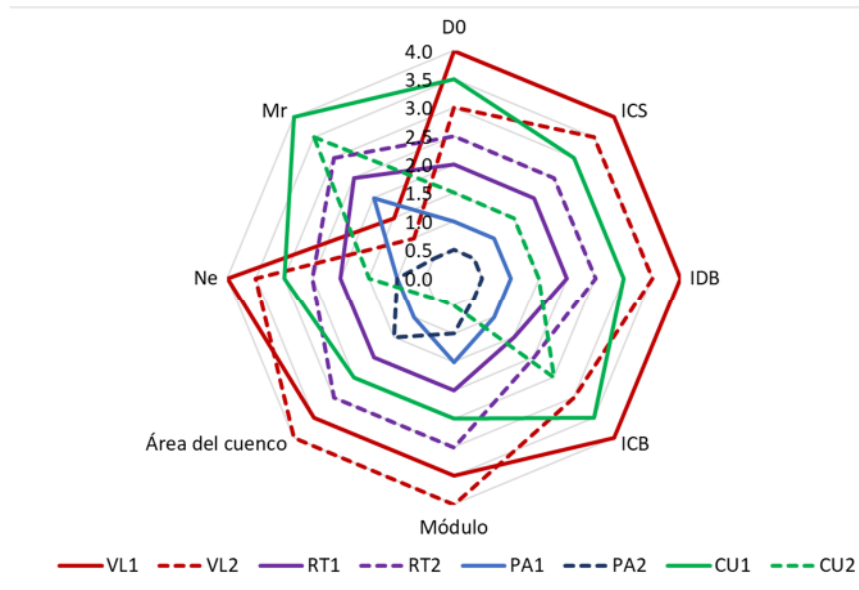
Tabla 3–10: Clasificación cualitativa parámetros estructurales

Indicador	Tramo Villa Luz		Tramo Restrepo		Tramo puente Aranda		Tramo Cundinamarca	
	VL1	VL2	RT1	RT2	PA1	PA2	CU1	CU2
D0	4.0	3.0	2.0	2.5	1.0	0.5	3.5	1.5
ICS	4.0	3.5	2.0	2.5	1.0	0.5	3.0	1.5
IDB	4.0	3.5	2.0	2.5	1.0	0.5	3.0	1.5
ICB	4.0	3.0	1.5	2.0	1.0	0.5	3.5	2.5
Módulo	3.5	4.0	2.0	3.0	1.5	1.0	2.5	0.5
Área del cuenco	3.5	4.0	2.0	3.0	1.0	1.5	2.5	0.5
Número estructural	4.0	3.5	2.0	2.5	1.0	1.0	3.0	1.5
Mr subrasante	1.5	1.0	2.5	3.0	2.0	0.5	4.0	3.5
Promedio	3.6	3.2	2.0	2.6	1.2	0.8	3.1	1.6
Sumatoria	28.5	25.5	16.0	21.0	9.5	6.0	25.0	13.0

La Figura 3-27 muestra un resumen gráfico de las características estructurales analizadas en cada uno de los tramos. En este gráfico, el área del polígono representa el desempeño de los indicadores estructurales, donde un mayor área del polígono indica un mejor desempeño. Se observa que el tramo Villa Luz ha obtenido el mejor desempeño en términos de características estructurales, mientras que el tramo Puente Aranda ha presentado el peor desempeño. Cabe destacar que, aunque el tramo Villa Luz ha obtenido

el mejor desempeño en términos de características estructurales, su desempeño en términos de indicadores funcionales no ha sido el mejor, lo cual sugiere la importancia de considerar ambos aspectos en la evaluación y mantenimiento del pavimento.

Figura 3-27: Clasificación parámetros estructurales



3.2 Desempeño funcional y estructural de las mezclas asfálticas de prueba

Se presenta una evaluación de las principales características de las mezclas asfálticas y su evolución en el tiempo.

3.2.1 Desempeño funcional actual de mezclas asfálticas

Se evaluaron diferentes parámetros relacionados con la seguridad y la comodidad del usuario en los cuatro tramos, incluyendo el Índice de Regularidad Internacional (IRI), el ahuellamiento, las fisuras, el Índice de Condición del Pavimento (PCI), la textura y la fricción. La fricción y la textura están relacionadas únicamente con la condición superficial del pavimento, y pueden depender del tamaño del agregado y el pulido, así como de la limpieza y la contaminación en la superficie del pavimento. Por otro lado, el PCI, la fisuración y el ahuellamiento están más relacionados con la durabilidad y la resistencia del

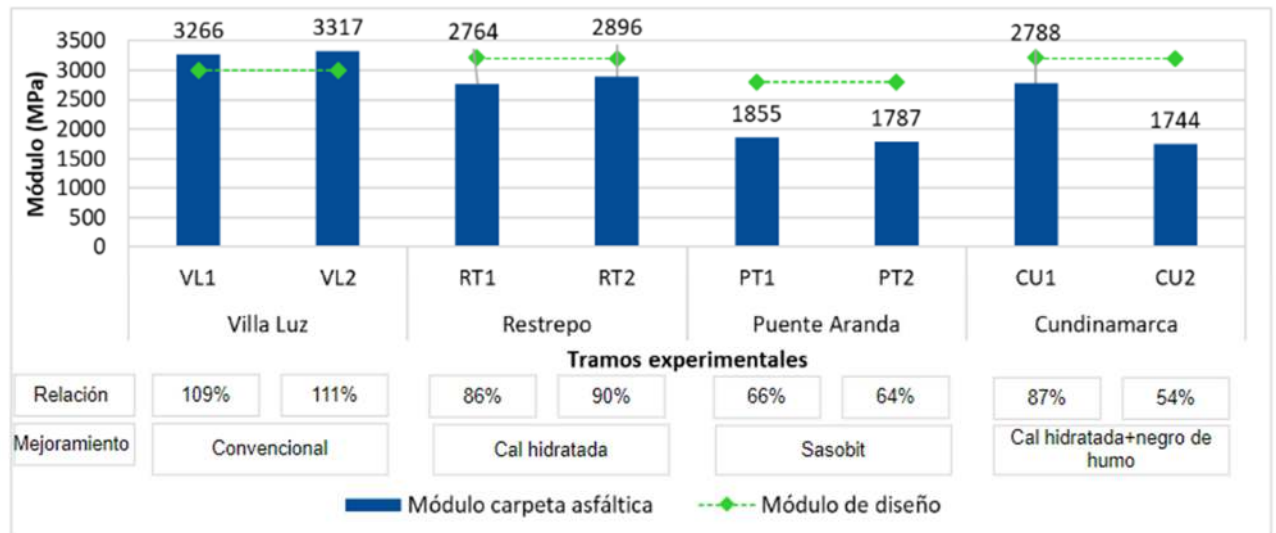
pavimento, mientras que la regularidad (IRI) es uno de los parámetros más sensibles, ya que su variación depende de múltiples variables.

La Figura 3-26 muestra un resumen de las características funcionales evaluadas en los diferentes tramos. Se observa que el tramo Restrepo presenta la mejor condición en conjunto de las características estructurales evaluadas, mientras que el tramo Villa Luz muestra el peor desempeño. Estos resultados coinciden con la clasificación del índice de estado presentada en la Figura 3-25. Cabe destacar que, en su mayoría, las deficiencias encontradas en el tramo Villa Luz no están asociadas con indicadores de capacidad estructural, lo que sugiere que las posibles soluciones para mejorar su estado deben enfocarse en aspectos diferentes a la resistencia del pavimento.

3.2.2 Desempeño estructural actual de mezclas asfálticas

La evaluación de las mezclas asfálticas se llevó a cabo mediante el retrocálculo de módulos elásticos, lo que permitió estimar la resistencia de cada una de las capas que componen el pavimento. En la Figura 3-28 se muestra el resumen de los resultados obtenidos mediante el software Elmod. Las barras azules representan el valor actual del módulo de cada tramo, mientras que la línea naranja indica el valor del módulo de diseño correspondiente.

Se observa que el tramo Villa Luz presenta un comportamiento muy similar al módulo de diseño. En los demás tramos, el valor actual del módulo de las mezclas asfálticas es menor que el valor de diseño, lo que indica una posible debilidad en la resistencia de las capas del pavimento.

Figura 3-28: Módulos retro calculados de las capas de rodadura a 2021

De acuerdo con los valores obtenidos, se observa que los tramos Villa Luz y Restrepo presentan el mejor comportamiento del módulo de la carpeta asfáltica en comparación con los de diseño, seguidos por Cundinamarca y Puente Aranda. Estos resultados coinciden con los parámetros de Horak para las capas superiores ICS, los cuales se pueden observar en la Figura 3-33.

3.3 Nivel de mejoramiento alcanzado por los tramos experimentales y las mezclas asfálticas

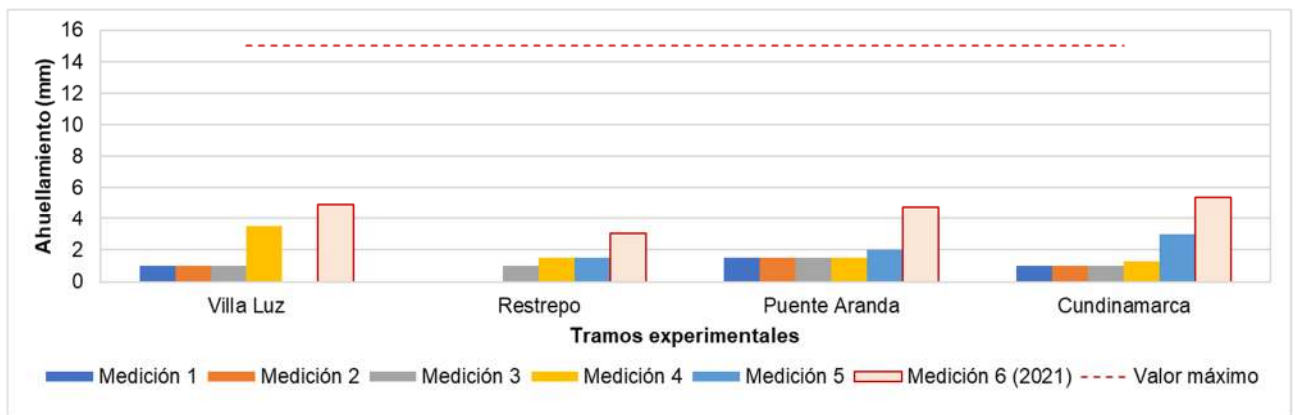
3.3.1 Nivel de mejoramiento de los tramos experimentales

En este capítulo se presentan los resultados de las mediciones funcionales y estructurales realizadas en los cuatro tramos de prueba desde su construcción en el año 2015. En la Tabla 3–11 se enumera las fechas en las que se llevaron a cabo las diferentes mediciones (Betancourt, 2018).

Las deformaciones plásticas en la capa asfáltica, también conocidas como ahuellamientos, son un indicador funcional que suele aparecer como resultado de la repetición de carga en el pavimento. La magnitud de estas deformaciones depende del número de repeticiones de carga, así como del tipo de mezcla asfáltica y la temperatura de operación.

De acuerdo con la Figura 3-30, se observa que el tramo de Cundinamarca presenta el mayor desarrollo de este parámetro, lo que indica una mayor propensión a sufrir deformaciones plásticas en la capa asfáltica. Por otro lado, el tramo ubicado en el barrio Restrepo presenta una baja evolución de ahuellamiento en comparación con los demás sectores evaluados, sin embargo, todos los tramos evaluados presentan valores bajos de ahuellamiento ya que después de 6 años de operación se encuentran por debajo del valor de aceptación establecido por la ANI (15 mm).

Figura 3-30: Resumen valor de Ahuellamiento evaluado en todas las mediciones

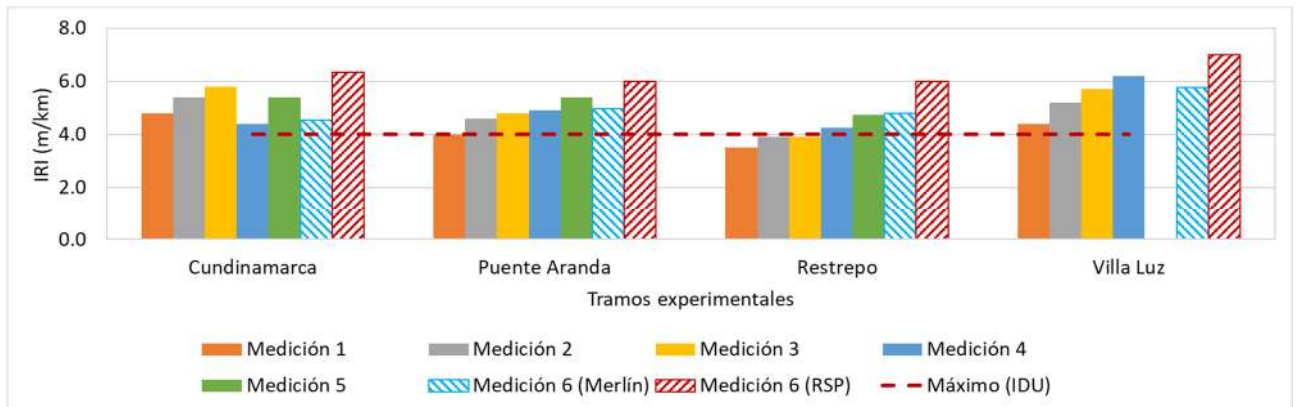


La evolución del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en las zonas de estudio fue uno de los indicadores funcionales más estables en el tiempo. Como se muestra en la Figura 3-31, este parámetro no presentó un crecimiento significativo en el tiempo, lo que indica una buena estabilidad en la condición del pavimento en términos de su rugosidad. Los resultados obtenidos sugieren que el pavimento en los cuatro tramos evaluados mantiene un buen nivel de rugosidad a lo largo del tiempo.

No obstante, es importante mencionar que el tramo ubicado en el barrio Villa Luz presentó una tendencia de crecimiento del IRI en las mediciones 1 a la 5, lo que indica una posible pérdida de regularidad en la superficie del pavimento en este sector, cabe resaltar que el

valor de aceptación para vías urbanas es e 4 m/km, valor que no se logró cumplir en las condiciones iniciales de construcción pese a que se tuvieron estrictos controles en obra.

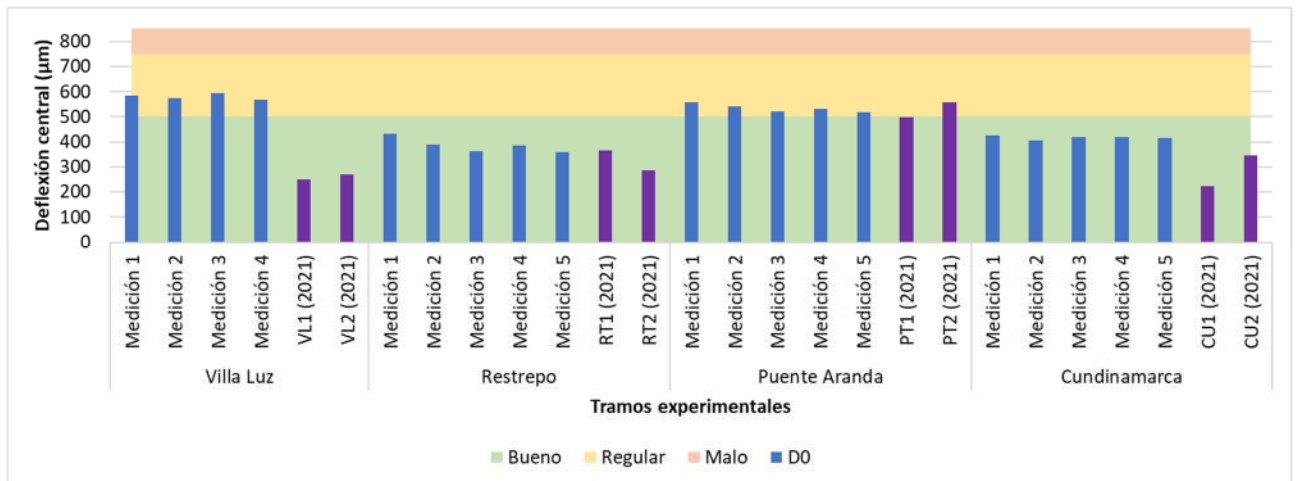
Figura 3-31: Resumen valor del IRI evaluado en todas las mediciones



- **Evolución estructural de los tramos**

La evaluación de los parámetros estructurales se realizó por sectores homogéneos, tal como se describe en la Tabla 3–6. Es importante mencionar que en las cinco primeras campañas de medición no se contaba con una densidad de información uniforme en todos los sectores homogéneos evaluados. Por lo tanto, para poder comparar los resultados obtenidos en estas mediciones, se utilizó como referencia la última medición realizada en cada sector que compone los tramos de análisis. Para la evaluación de cada parámetro se seleccionó el cuenco correspondiente a cada sector homogéneo.

La Figura 3-32 se muestra el comportamiento del parámetro D0 para cada uno de los tramos experimentales en las diferentes mediciones realizadas. En particular, se pueden observar los resultados de la última medición realizada en 2021, los cuales se muestran en color morado y están discriminados por sector homogéneo.

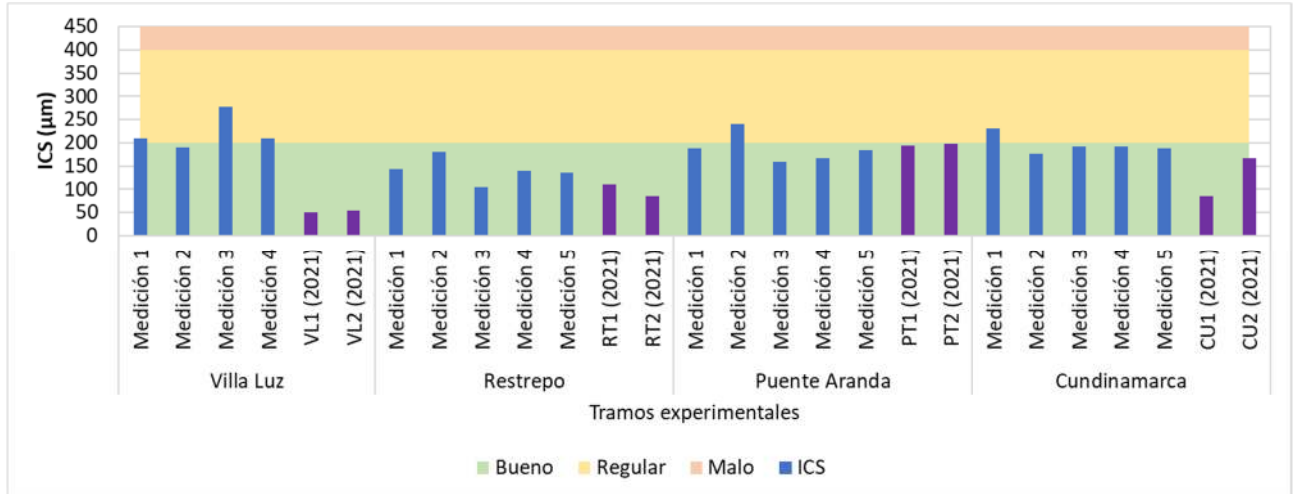
Figura 3-32: Valores históricos de la deflexión central de los cuencos representativos

Nota: Intervalos de comportamiento estructural del pavimento (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

La Figura 3-32 muestra el comportamiento del parámetro de retrocálculo de módulos (D0) para cada uno de los sectores homogéneos en los tramos experimentales. Se puede observar que los sectores RT1, RT2, PT1, PT2 y CU2 presentan una tendencia similar a los datos obtenidos en mediciones previas. Además, se puede notar un incremento considerable en la resistencia del tramo Villa Luz según este indicador.

La Figura 3-33 muestra el comportamiento del Índice de Capacidad Estructural (ICS) en cada uno de los tramos experimentales, a través de varias mediciones efectuadas en cada uno de ellos. El ICS es un parámetro relevante que representa la capacidad de las capas superficiales del pavimento para resistir cargas, lo que lo convierte en un indicador importante para evaluar su capacidad estructural y resistencia al tráfico vehicular. En particular, los datos de la última medición, realizada en 2021 y segmentados por sector homogéneo, se representan en color morado en la figura.

Figura 3-33: Valores históricos del parámetro ICS (rodadura asfáltica) de los cuencos representativos

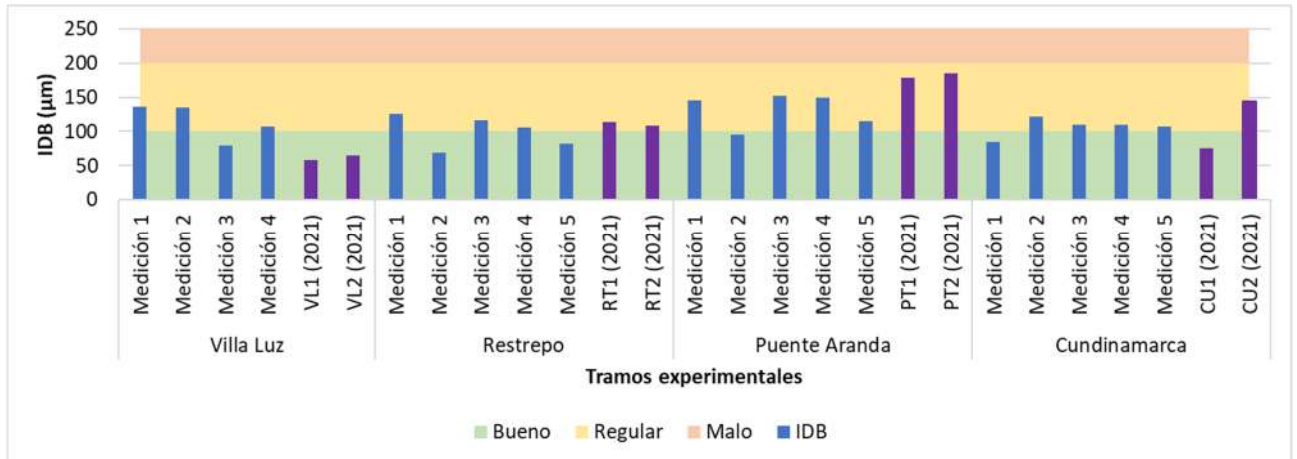


Nota: Intervalos de comportamiento estructural para las capas asfálticas (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

La Figura 3-33 presenta las variaciones del parámetro Índice de Capacidad Estructural (ICS) en distintos tramos experimentales. Se puede observar una mejora en el ICS de los tramos Cundinamarca, Restrepo y Villa Luz en comparación con la medición anterior. En particular, se destaca una mejora significativa en el tramo de Villa Luz. Sin embargo, en el tramo del Puente Aranda se observa un deterioro en este parámetro.

La Figura 3-34 muestra el comportamiento del parámetro Índice de Capacidad de las Capas Intermedias del Pavimento (ICB) en cada uno de los tramos experimentales, a través de varias mediciones realizadas en cada uno de ellos. El ICB es un indicador importante que permite evaluar la capacidad de las capas intermedias del pavimento para soportar cargas. En la figura, se destacan los datos de la última medición, realizada en 2021 y segmentados por sector homogéneo, los cuales se representan en color morado.

Figura 3-34: Valores históricos del parámetro IDB (capas intermedias) de los cuencos representativos

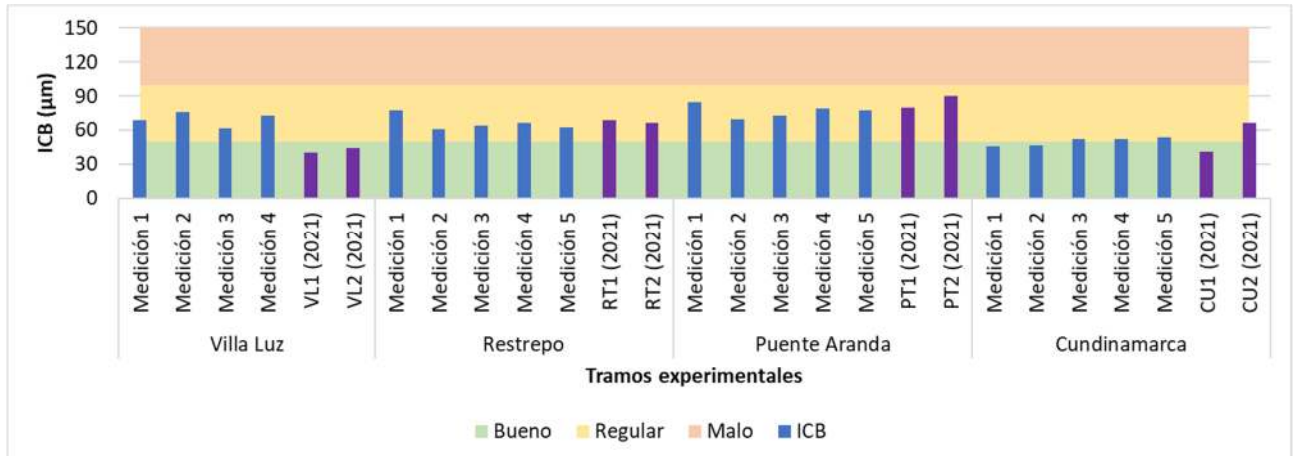


Nota: Intervalos de comportamiento estructural para las capas intermedias granulares (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

La Figura 3-34 muestra una disminución en el parámetro IDB en los tramos Restrepo, Puente Aranda y el sector CU2 de Cundinamarca en comparación con la medición anterior, mientras que se observa una mejora en el tramo de Villa Luz. El IDB es un indicador que refleja el estado del pavimento, y su disminución en los tramos mencionados indica un empeoramiento de la condición de la superficie.

Por otro lado, la Figura 3-35 ilustra el comportamiento del parámetro ICB en los diferentes tramos experimentales durante las mediciones realizadas. El ICB se utiliza para evaluar la resistencia a la deformación por compresión en la subrasante del pavimento. La información obtenida en esta figura puede ser utilizada para entender la relación entre la deformación y la carga vehicular en cada tramo.

Figura 3-35: Valores históricos del parámetro IDC (subrasante) de los cuencos representativos



Nota: Intervalos de comportamiento estructural para la subrasante (“Bueno”, “Regular” o “Malo”) en función del tipo de base de acuerdo con la clasificación dada por Horak y Emery (2006)

La figura anterior muestra un deterioro del parámetro ICB en los tramos de Cundinamarca, Restrepo y Puente Aranda en comparación con la última medición realizada, mientras que se observa una mejora en el tramo de Villa Luz. El ICB es un indicador que refleja la resistencia a la deformación por compresión en la subrasante del pavimento. La disminución del valor de ICB en los tramos mencionados indica una disminución en la calidad del pavimento en esos tramos.

En la Figura 3-32 se observa que los sectores RT1, RT2, PT1, PT2 y CU2 presentan una tendencia similar a las mediciones previas. Además, se destaca que el tramo Villa Luz, así como el sub-tramo CU1, pasaron de una clasificación de regular a buena según la clasificación de Horak.

- **Evaluación de la susceptibilidad del tipo de subrasante**

La selección de los tramos experimentales se ha realizado considerando la zonificación geotécnica de la ciudad de Bogotá (INGEOMINAS, 2005), lo que ha permitido ubicarlos en zonas con diferentes condiciones de subrasante. Estas zonas se han clasificado en suelos de consistencia blanda (Villa Luz y Puente Aranda) y de consistencia dura (Restrepo y

Cundinamarca), lo que implica diferentes propiedades mecánicas de los suelos y, por lo tanto, diferentes respuestas del pavimento en términos de deformación y carga.

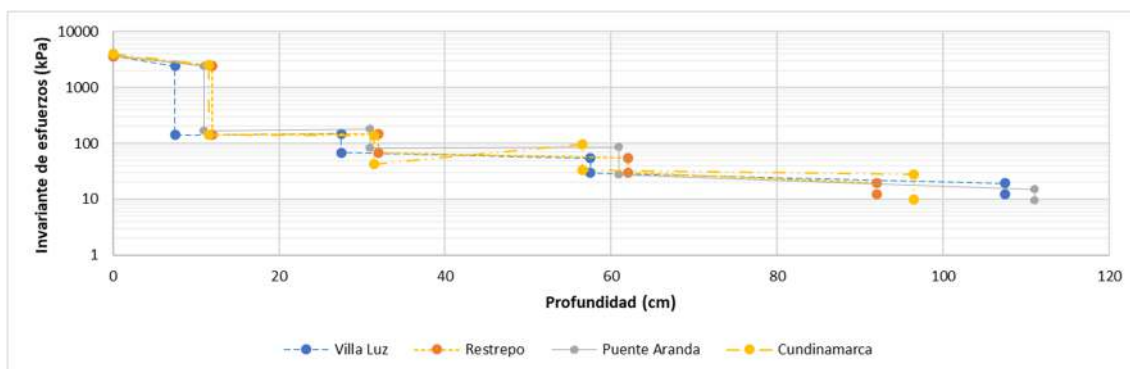
La selección cuidadosa de las zonas de estudio es fundamental para la obtención de resultados representativos y la extrapolación adecuada de los mismos a otras zonas con características similares. La información obtenida en los tramos experimentales permitirá mejorar la comprensión del comportamiento del pavimento en función de las condiciones geotécnicas, lo que es esencial para la planificación y diseño de pavimentos adecuados para cada tipo de suelo.

Se ha realizado un análisis de los esfuerzos verticales y horizontales del pavimento, así como de la invariante de esfuerzos, utilizando el software Windepav y la ecuación 3.1. Para llevar a cabo este análisis se han utilizado los espesores obtenidos a partir del Ground Penetrating Radar (GPR) y los módulos de diseño de las diferentes capas del pavimento (Pardo & Campagnoli, 2019).

$$\theta = \sigma_1 + 3\sigma_3 \quad (3.1)$$

En la gráfica siguiente se observa el comportamiento de la invariante de esfuerzos de cada uno de los cuatro tramos experimentales evaluados, en donde el eje horizontal muestra la profundidad en centímetros de los puntos de evaluación y en el eje vertical se muestra en escala logarítmica el comportamiento de la invariante de esfuerzos.

Figura 3-36: Invariante de esfuerzos en función de la profundidad



Se puede evidenciar que los esfuerzos generados en la subrasante son comparativamente inferiores a aquellos que actúan en la superficie del pavimento. Esto sugiere que la

estructura del pavimento tiene la capacidad de distribuir y disipar la mayor parte de las cargas aplicadas. Asimismo, se ha constatado que la profundidad de la subrasante varía en función de las características del suelo. En particular, en terrenos más blandos se ha requerido una mayor profundidad en el mejoramiento del rajón para garantizar la resistencia adecuada de la subrasante.

En la Tabla 3–12 se muestran los resultados del esfuerzo principal mayor y menor, así como de la invariante de esfuerzo en la subrasante. A partir de estos datos, se ha estimado la deformación ocasionada por los esfuerzos, considerando la resistencia de la subrasante. Es importante destacar que para todos los tramos analizados se ha observado una correlación similar entre el nivel de esfuerzo y la resistencia de la subrasante.

Tabla 3–12: Invariante de esfuerzos tramos evaluados

Tramo	Esfuerzos a nivel de subrasante (kPa)			Módulo sbr-Esbr (KPa)	Deformación por compresión estimada		Tipo se subrasante*	Espesor total de la estructura (cm)
	Sigma 1	Sigma 3	Invariante, (I1)		Sigma 1/(Esbr)	I1/(Esbr)		
Villa Luz	6.0760	0.8595	8.6544	19300	0.031%	0.045%	Blanda	107.5
Restrepo	9.2541	0.9800	12.1941	52200	0.018%	0.023%	Dura	92.0
Puente Aranda	6.9149	0.7935	9.2954	32100	0.022%	0.029%	Blanda	111.0
Cundinamarca	6.9649	0.9996	9.9637	21700	0.032%	0.046%	Dura	96.5

La tabla siguiente muestra el porcentaje de esfuerzo vertical aplicado en superficie en los tramos de prueba, con valores que oscilan entre 1.23% y 1.92%. Además, se presenta la relación entre las invariantes de esfuerzo, cuyos valores varían entre 0.18% y 0.25%.

Tabla 3–13: Relación entre esfuerzos en la superficie y en la subrasante

Tramo	Porcentaje de la presión de contacto	Porcentaje de invariante
Villa Luz	1.26%	0.18%
Restrepo	1.92%	0.33%
Puente Aranda	1.44%	0.24%
Cundinamarca	1.45%	0.25%

Teniendo en cuenta la información presentada, se puede concluir que el efecto de la subrasante blanda en el desempeño del pavimento es mínimo. Esto se debe a la implementación de técnicas de mejoramiento en cada uno de los tramos, las cuales permiten reducir significativamente los esfuerzos que llegan a la subrasante natural. Además, se ha observado una relación similar entre el esfuerzo que llega a la subrasante

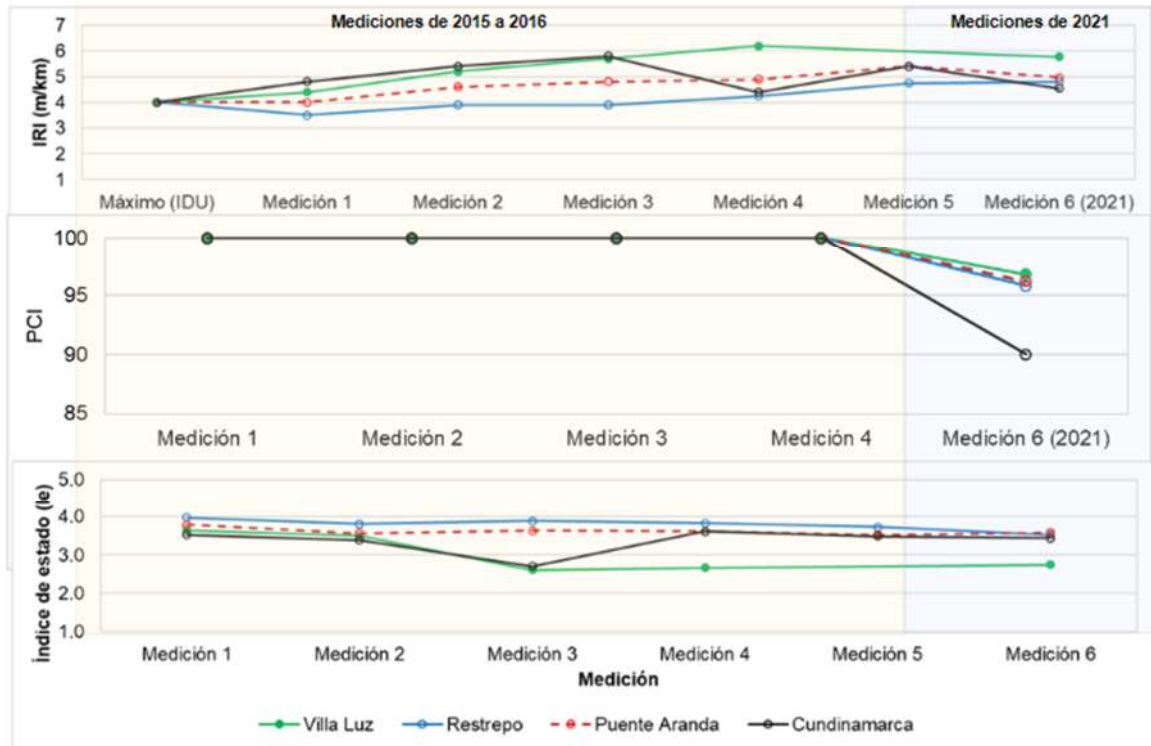
y el módulo en cada uno de los tramos evaluados. Estos resultados sugieren que el mejoramiento de la subrasante ha sido efectivo en mitigar los efectos negativos de una subrasante blanda en el desempeño del pavimento.

3.3.2 Nivel de mejoramiento de las mezclas asfálticas de prueba

- **Evolución del desempeño funcional de mezclas asfálticas**

Durante la evaluación de los pavimentos, se llevaron a cabo análisis de diferentes parámetros funcionales, cada uno de ellos evaluado de manera diferencial. Para obtener una comparación global de los indicadores funcionales, se utilizó el índice de estado, el cual considera el comportamiento del IRI, el ahuellamiento, la fricción y la fisuración. En Figura 3-37 se presentan los valores del índice de estado correspondientes a cada una de las mediciones realizadas en los cuatro tramos de prueba, los cuales permiten tener una visión clara y completa del estado funcional de los pavimentos evaluados.

Figura 3-37: Evolución de parámetros asociados al comportamiento de la capa de rodadura



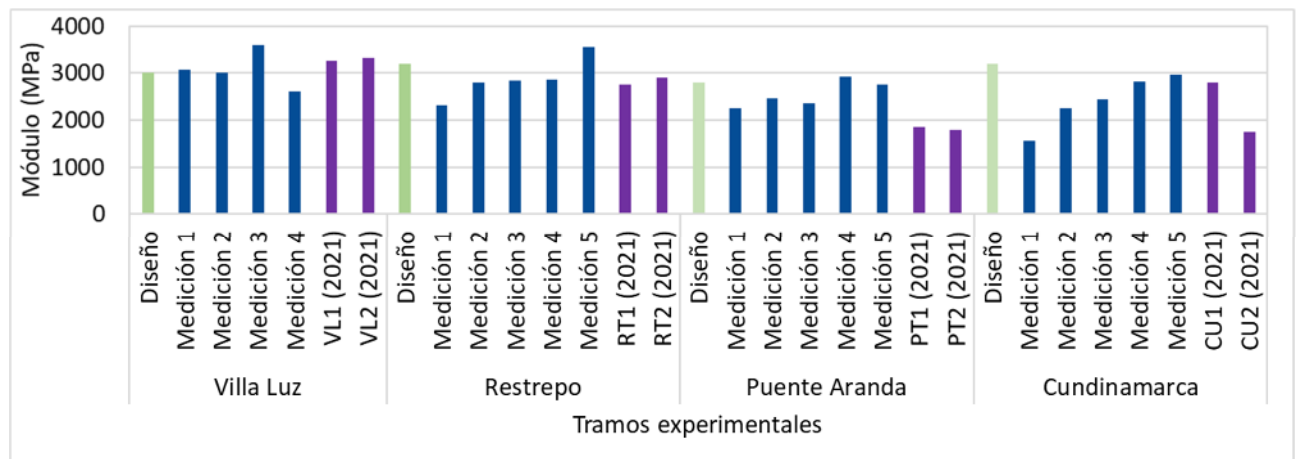
La Figura 3-37 muestra que los tramos con mezclas modificadas (Cundinamarca, Puente Aranda y Restrepo) presentan un comportamiento más estable en el tiempo en comparación con el tramo Villa Luz, el cual exhibe una mayor variabilidad en el índice de estado a lo largo del tiempo. En particular, se observó una variación en el valor del índice de estado entre 0.15 y 0.28 para los tramos con mezclas modificadas, mientras que el tramo con mezcla convencional presentó una variación de 0.7 en este indicador. Es importante destacar que, aunque el tramo Cundinamarca presentó una mayor variación en los valores del PCI, aún se encuentra en condición excelente según la clasificación del PCI del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU).

Estos resultados sugieren que el uso de mezclas modificadas puede mejorar la estabilidad y uniformidad del pavimento a lo largo del tiempo, lo que se traduce en una mayor durabilidad y menor necesidad de mantenimiento.

- **Evolución del desempeño estructural de mezclas asfálticas**

La Figura 3-38 muestra la evolución del módulo de la mezcla asfáltica en los tramos de prueba desde el primer registro en el año 2015 hasta la última medición realizada en 2021. En todos los tramos se observa un aumento inicial en el valor del módulo. Sin embargo, en los tramos Cundinamarca, Puente Aranda y Restrepo se registró una disminución en el valor del módulo en las últimas mediciones realizadas, mientras que en el tramo Villa Luz se observó un incremento del valor del módulo hasta la última medición realizada.

Figura 3-38: Evolución de Módulos retro calculados de la mezcla asfáltica



La Figura 3-38 presenta un comparativo del valor del módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica en cada uno de los tramos de prueba, a lo largo de las diferentes mediciones realizadas. Se observa que los tramos Cundinamarca, Puente Aranda y Restrepo muestran un aumento progresivo del valor del módulo de elasticidad en las primeras mediciones debido a una rigidización inicial, seguido de una disminución en las últimas etapas de medición. Por otro lado, el tramo Villa Luz muestra un aumento continuo del valor del módulo de elasticidad a lo largo de todas las mediciones realizadas.

Al analizar las mediciones efectuadas en 2021 y compararlas con el módulo de diseño correspondiente a cada tramo, se identifica que el tramo de Villa Luz tuvo el mejor desempeño, con sus subtramos VL1 y VL2 alcanzando un 109% y 111% del módulo de

diseño, respectivamente. Posteriormente, el tramo Restrepo se ubica en segundo lugar, con sus subtramos registrando un 86% y 91% del módulo de diseño, respectivamente.

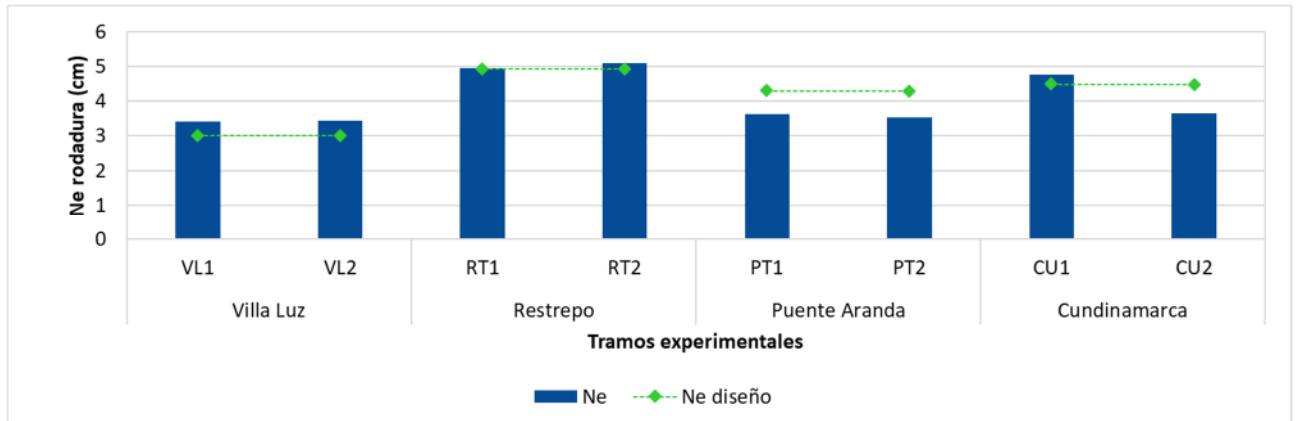
En relación con el tramo Cundinamarca, se identifica una divergencia significativa en el rendimiento de los subtramos que lo integran: mientras que el subtramo CU1 logra el 87% del valor de diseño, el subtramo CU2 apenas alcanza el 55%. Por otro lado, en el tramo Puente Aranda, los subtramos correspondientes muestran un desempeño del 64% y 66%, respectivamente.

Basándose en la relación entre el módulo y el coeficiente de aporte estructural de la AASHTO 1993, se utilizaron los módulos retrocalculados para determinar el coeficiente de aporte estructural del pavimento existente en cada sector analizado. A continuación, se calcularon los números estructurales de las capas asfálticas a partir del espesor de cada estructura. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3–14.

Tabla 3–14: Número estructural de las capas asfálticas

Tramo	Sector	E (MPa)	ai calculado	ai Teórico	Espesor (cm)	Ne de la capa asfáltica (cm)	Ne de la capa asfáltica de diseño (cm)
Villa Luz	VL1	3266	0.45	0.40	7.5	3.40	3.00
Villa Luz	VL2	3317	0.46	0.40	7.5	3.43	3.00
Restrepo	RT1	2764	0.41	0.41	12	4.95	4.92
Restrepo	RT2	2896	0.42	0.41	12	5.09	4.92
Puente Aranda	PT1	1855	0.33	0.39	11	3.62	4.29
Puente Aranda	PT2	1787	0.32	0.39	11	3.54	4.29
Cundinamarca	CU1	2788	0.41	0.39	11.5	4.77	4.49
Cundinamarca	CU2	1744	0.32	0.39	11.5	3.65	4.49

En la Figura 3-39 se muestra el número estructural de las capas asfálticas por sector de análisis y el número estructural de diseño

Figura 3-39: Evolución del número estructural N_e estimado para las mezclas asfálticas

▪ Resumen características

La Tabla 3–15 proporciona un resumen detallado de los parámetros estructurales y funcionales evaluados en cada sector homogéneo. Para garantizar la coherencia y precisión de los resultados, se analizó la información estructural mediante este enfoque. Cada tramo dentro de un segmento evaluado se clasificó en una escala de 1 a 4, en la que 4 indica el mejor desempeño y 1 indica el peor desempeño en el segmento evaluado. Esta calificación unificada de los parámetros estructurales y funcionales permite una comparación sistemática y rigurosa de los diferentes segmentos, lo que facilita la identificación de los factores críticos que afectan el rendimiento de la estructura.

Tabla 3–15: Clasificación parámetros estructurales y funcionales

Indicador	Tramo Villa Luz		Tramo Restrepo		Tramo puente Aranda		Tramo Cundinamarca	
	VL1	VL2	RT1	RT2	PA1	PA2	CU1	CU2
ICS	4	3.5	2	2.5	1	0.5	3	1.5
Módulo capa rodadura	3.5	4	2	3	1.5	1	2.5	0.5
Aporte número estructural capa de rodadura	0.5	1	3.5	4	2	1.5	3	2.5
IRI	1	1	3	3	2	2	4	4
Índice de estado	1	1	3	3	4	4	2	2
Macrotextura	1	1	3	3	2	2	4	4
IFI	1	1	3	3	2	2	4	4
Fricción	2	2	3	3	4	4	1	1
% de fisuración	4	4	2	2	3	3	1	1
PCI	4	4	3	3	2	2	1	1
Suma	22	22.5	27.5	29.5	23.5	22	25.5	21.5
Promedio	2.2	2.25	2.75	2.95	2.35	2.2	2.55	2.15

Se observa que los sectores con mejor desempeño en términos de características estructurales y funcionales pertenecen al tramo Restrepo, con valores promedio de 2.75 y 2.95 sobre 5, respectivamente. Estos sectores son seguidos por los tramos CU1 (2.55), PA1 (2.35), VL2 (2.25) y VL2-PA2 (2.22). Es importante destacar que la evaluación proporciona un análisis comparativo del rendimiento entre los distintos tramos experimentales, y todos ellos muestran un bajo grado de deterioro conforme a la evaluación del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por sus siglas en inglés). Además, cumplen con los estándares mínimos de servicio establecidos por el IDU, con la excepción del parámetro Índice de Rugosidad Internacional (IRI, por sus siglas en inglés).

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Se realizó el seguimiento técnico (año 2021) a cuatro (4) tramos de prueba ubicados en los barrios Villa Luz, Restrepo, Puente Aranda y Cundinamarca, en la ciudad de Bogotá, los cuales fueron diseñados y reconstruidos, en el año 2015, en sitios de pavimentos antiguos en mal estado, con el uso de mejoramiento de la subrasante, agregados pétreos de unas mismas fuentes y asfalto base (Refinería de Barrancabermeja, Colombia), capas de rodadura en concretos asfaltos modificados (aceite fluxante, cal hidratada, SasobitR, negro de humo-cal hidratada, respectivamente) y con procesos de producción y de construcción similares. Se evaluaron indicadores funcionales y estructurales del pavimento para describir el comportamiento diferencial de los tramos en el tiempo según sus condiciones particulares, determinando que los concretos asfálticos modificados (cal hidratada, SasobitR y negro de humo-cal hidratada) presentan una mayor estabilidad de sus indicadores estructurales mientras que las mezclas convencionales (aceite fluxante, asfalto penetración 80/100) presentan mayor variabilidad.

El uso de tecnologías de alto rendimiento (FWD, RSP, MFV) para la evaluación del desempeño de pavimentos son muy efectivas, en la evaluación de deterioros superficiales y estado estructural, por cuanto ofrecen información abundante y de buena calidad.

Los tramos experimentales (Restrepo, Puente Aranda y Cundinamarca) presentan un aceptable a buen desempeño funcional dado que los deterioros son bajos, la regularidad superficial moderada, la condición del pavimento buena (según ASTM e IDU) y el índice de estado de la vía como bueno y estable durante los últimos seis (6) años (2021). Se exceptúa el tramo Villa Luz por presentar un desempeño de regular a mal desempeño lo cual indicaría que está necesitando labores de mantenimiento en tiempos más cercanos.

La zonificación de sectores homogéneos mediante diferencias acumuladas fue una técnica efectiva por cuanto evidenció una dispersión significativa en los cuencos deflectométricos medidos y permitió de este modo la definición de cuencos representativos para cada sector homogéneo y cada tramo experimental. Los tramos de menor variabilidad defletométrica fueron Villa Luz y Restrepo con respecto a los de Cundinamarca y Puente Aranda. La alta dispersión encontrada para Cundinamarca resultó coherente con los materiales empleados en el tramo experimental por cuanto en uno de los sectores homogéneos fueron empleadas dos bases granulares, una no cementada y la otra estabilizada con cemento.

El desempeño estructural estimado según los parámetros cualitativos de Horak muestra que los pavimentos presentan buen desempeño estructural para los de Villa Luz, Restrepo y Cundinamarca y al mismo tiempo que el de Puente Aranda presenta la condición regular y más desfavorable.

El área normalizada de los cuencos representativos, que considera la franja de 0 cm a 90 cm y que es similar al espesor de los pavimentos evaluados evidencian subrasantes resistentes de manera coherente por cuanto en estos pavimentos se hizo reforzamiento con material de rajón. Adicionalmente el área normalizada como criterio presenta diferencias con el criterio de la AASHTO para evaluar la condición de la subrasante debido a que este último incluye mayor zona de influencia en las capas inferiores.

El desempeño estructural de los pavimentos de los cuatro tramos experimentales se considera bueno, en particular porque el índice estructural efectivo (AASHTO) es mayor o igual al de diseño, lo cual indica que se trata de estructuras resistentes y más durables y que explicaría la situación presentada de bajos deterioros superficiales y del poco mantenimiento que han requerido hasta este momento (6 años, 2015-2021).

El desempeño funcional y estructural de concretos asfálticos modificados muestra mejores condiciones en su evolución, en orden de mayor a menor, en los tramos Restrepo (Cal Hidratada), Cundinamarca (Negro de humo-cal hidratada), Puente Aranda (Sásobit[®]) y Villa Luz (Aceite Fluxante). Este orden de desempeño se evidencia en lo funcional por el

índice de estado estimado y en lo estructural, por el número estructural (AASHTO) de aporte dado por cada una de las capas de rodadura, considerando el espesor de capa, el módulo elástico estimado por retrocálculo de la rodadura y el coeficiente estructural correspondiente.

4.2 Recomendaciones

Establecer políticas públicas que permitan la articulación entre la industria y la academia con el fin de mejorar la trazabilidad de la vida útil y el desempeño de diferentes tipos de materiales en condiciones de carga y ambiente diversos. Para lograr este objetivo, resulta recomendable crear una base de datos unificada con fines académicos que permita consolidar información sobre los pavimentos construidos, su desempeño, las condiciones climáticas y otras variables que posibiliten una mejor comprensión y modelos de desempeño de los pavimentos.

Continuar con el seguimiento técnico a los tramos de prueba objeto de este estudio, con el fin de seguir la investigación de los materiales y condiciones para obtener mayores datos que enriquezcan los resultados del presente estudio, y llevar a la implementación en obra a los materiales de mejor desempeño y durabilidad.


Extrapolar este tipo de investigaciones a climas diferentes para analizar el efecto de la susceptibilidad térmica en los concretos asfálticos modificados para lograr resultados concluyentes en diferentes zonas y obtener parámetros de calibración de modelos representativos y aplicables a las diferentes condiciones climáticas y orografía de Colombia.


Implementar análisis económicos y de gestión que permitan definir la rentabilidad del uso de cada tipo de material a gran escala por medio de la evaluación y seguimiento de indicadores de pavimento en el tiempo.


4.3 Listado de Anexo


- A. Anexo A Resultados Regularidad (Perfilómetro Láser)
- B. Anexo B Resultados Regularidad (Perfilómetro Merlín)
- C. Anexo C Resultados Textura (Circulo de Arena)
- D. Anexo D Resultados Textura (Perfilómetro láser)
- E. Anexo E Fricción (Péndulo Ingles)
- F. Anexo F Resultados Índice de Fricción Internacional (IFI)
- G. Anexo G Resultados de ahuellamiento
- H. Anexo H Resultados de deterioros del pavimento
- I. Anexo I Selección cuencos representativos
- J. Anexo J Retrocálculo metodología AASHTO
- K. Anexo K Resultados módulos retro calculados
- L. Anexo L Registro fotográfico

A. Anexo A Resultados Regularidad (Perfilómetro Láser)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá					
	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Villa Luz
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Índice Internacional de Rugosidad						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (m/km)	Huella Derecha (m/km)	Promedio (m/km)
Villa Luz	C1	k0+000	k0+010	9.7	8.7	9.2
Villa Luz	C1	k0+010	k0+020	5.1	10.1	7.6
Villa Luz	C1	k0+020	k0+030	2.8	5.6	4.2
Villa Luz	C1	k0+030	k0+040	5.3	5.3	5.3
Villa Luz	C1	k0+040	k0+050	8.2	7.8	8.0
Villa Luz	C1	k0+050	k0+060	10.3	7.7	9.0
Villa Luz	C1	k0+060	k0+070	12.9	9.4	11.1
Villa Luz	C1	k0+070	k0+080	7.4	5.2	6.3
Villa Luz	C1	k0+080	k0+090	6.2	6.2	6.2
Villa Luz	C1	k0+090	k0+100	13.9	9.3	11.6
Villa Luz	C1	k0+100	k0+110	5.4	7.5	6.4
Villa Luz	C2	k0+000	k0+010	5.7	6.7	6.2
Villa Luz	C2	k0+010	k0+020	3.8	4.9	4.3
Villa Luz	C2	k0+020	k0+030	6.5	4.7	5.6
Villa Luz	C2	k0+030	k0+040	7.3	7.3	7.3
Villa Luz	C2	k0+040	k0+050	10.9	7.5	9.2
Villa Luz	C2	k0+050	k0+060	6.4	6.3	6.4
Villa Luz	C2	k0+060	k0+070	5.0	3.3	4.1
Villa Luz	C2	k0+070	k0+080	4.7	3.7	4.2
Villa Luz	C2	k0+080	k0+090	10.5	2.8	6.6
Villa Luz	C2	k0+090	k0+100	8.6	6.4	7.5
Villa Luz	C2	k0+100	k0+110	8.5	5.3	6.9
Villa Luz	C2	k0+110	k0+111	7.5	7.2	7.3

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	110	Tramo	Restrepo
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Índice Internacional de Rugosidad						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (m/km)	Huella Derecha (m/km)	Promedio (m/km)
Restrepo	C1	k0+000	k0+010	7.0	6.6	6.8
Restrepo	C1	k0+010	k0+020	5.5	5.2	5.3
Restrepo	C1	k0+020	k0+030	8.2	7.9	8.0
Restrepo	C1	k0+030	k0+040	7.5	4.8	6.1
Restrepo	C1	k0+040	k0+050	17.1	15.5	16.3
Restrepo	C1	k0+050	k0+060	5.5	5.9	5.7
Restrepo	C1	k0+060	k0+070	3.7	2.9	3.3
Restrepo	C1	k0+070	k0+080	1.8	2.4	2.1
Restrepo	C1	k0+080	k0+090	2.3	3.0	2.7
Restrepo	C1	k0+090	k0+100	2.4	2.6	2.5
Restrepo	C1	k0+100	k0+110	3.5	3.8	3.6
Restrepo	C1	k0+110	k0+120	7.7	6.6	7.2
Restrepo	C1	k0+120	k0+126	9.4	9.8	9.6
Restrepo	C2	k0+000	k0+010	17.8	10.1	14.0
Restrepo	C2	k0+010	k0+020	15.6	9.4	12.5
Restrepo	C2	k0+020	k0+030	8.1	6.8	7.4
Restrepo	C2	k0+030	k0+040	5.5	6.8	6.1
Restrepo	C2	k0+040	k0+050	5.0	5.7	5.3
Restrepo	C2	k0+050	k0+060	3.4	2.8	3.1
Restrepo	C2	k0+060	k0+070	3.3	2.3	2.8
Restrepo	C2	k0+070	k0+080	2.5	1.6	2.1
Restrepo	C2	k0+080	k0+090	2.9	2.2	2.5
Restrepo	C2	k0+090	k0+100	2.6	3.1	2.8
Restrepo	C2	k0+100	k0+110	3.8	7.0	5.4
Restrepo	C2	k0+110	k0+120	4.9	7.2	6.1
Restrepo	C2	k0+120	k0+129	6.2	6.6	6.4

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Puente Aranda
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Índice Internacional de Rugosidad						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (m/km)	Huella Derecha (m/km)	Promedio (m/km)
Puente Aranda	C1	k0+000	k0+010	3.9	4.7	4.3
Puente Aranda	C1	k0+010	k0+020	6.6	7.9	7.2
Puente Aranda	C1	k0+020	k0+030	2.4	3.2	2.8
Puente Aranda	C1	k0+030	k0+040	10.6	5.7	8.1
Puente Aranda	C1	k0+040	k0+050	8.6	10.1	9.4
Puente Aranda	C1	k0+050	k0+060	5.5	5.3	5.4
Puente Aranda	C1	k0+060	k0+070	3.3	4.2	3.8
Puente Aranda	C1	k0+070	k0+080	4.3	2.7	3.5
Puente Aranda	C1	k0+080	k0+090	3.1	2.2	2.7
Puente Aranda	C1	k0+090	k0+100	3.8	3.6	3.7
Puente Aranda	C1	k0+100	k0+110	8.7	5.4	7.0
Puente Aranda	C1	k0+110	k0+120	7.8	5.8	6.8
Puente Aranda	C1	k0+120	k0+130	6.7	5.0	5.9
Puente Aranda	C1	k0+130	k0+140	13.6	4.0	8.8
Puente Aranda	C1	k0+140	k0+150	7.2	8.4	7.8
Puente Aranda	C1	k0+150	k0+160	8.9	7.3	8.1
Puente Aranda	C2	k0+000	k0+010	4.7	5.0	4.8
Puente Aranda	C2	k0+010	k0+020	4.9	5.3	5.1
Puente Aranda	C2	k0+020	k0+030	3.5	3.3	3.4
Puente Aranda	C2	k0+030	k0+040	10.5	10.4	10.5
Puente Aranda	C2	k0+040	k0+050	6.6	7.4	7.0
Puente Aranda	C2	k0+050	k0+060	4.5	4.5	4.5
Puente Aranda	C2	k0+060	k0+070	3.5	3.2	3.3
Puente Aranda	C2	k0+070	k0+080	4.1	2.9	3.5
Puente Aranda	C2	k0+080	k0+090	5.1	4.4	4.7
Puente Aranda	C2	k0+090	k0+100	6.3	5.9	6.1
Puente Aranda	C2	k0+100	k0+110	6.3	5.2	5.8
Puente Aranda	C2	k0+110	k0+120	7.1	6.4	6.8
Puente Aranda	C2	k0+120	k0+130	6.3	3.8	5.1
Puente Aranda	C2	k0+130	k0+140	10.5	3.2	6.8
Puente Aranda	C2	k0+140	k0+150	9.3	7.5	8.4
Puente Aranda	C2	k0+150	k0+160	8.6	10.2	9.4
Puente Aranda	C2	k0+160	k0+165	14.5	4.4	9.4

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	220	Tramo	Cundinamarca
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Índice Internacional de Rugosidad						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (m/km)	Huella Derecha (m/km)	Promedio (m/km)
Cundinamarca	C1	k0+000	k0+010	8.2	10.8	9.5
Cundinamarca	C1	k0+010	k0+020	7.8	7.8	7.8
Cundinamarca	C1	k0+020	k0+030	6.4	7.9	7.2
Cundinamarca	C1	k0+030	k0+040	5.5	6.9	6.2
Cundinamarca	C1	k0+040	k0+050	5.1	5.9	5.5
Cundinamarca	C1	k0+050	k0+060	4.5	2.9	3.7
Cundinamarca	C1	k0+060	k0+070	4.9	7.2	6.1
Cundinamarca	C1	k0+070	k0+080	6.1	4.2	5.1
Cundinamarca	C1	k0+080	k0+090	5.1	3.4	4.3
Cundinamarca	C1	k0+090	k0+100	5.7	4.6	5.1
Cundinamarca	C1	k0+100	k0+110	5.0	4.5	4.8
Cundinamarca	C1	k0+110	k0+120	4.7	5.8	5.3
Cundinamarca	C1	k0+120	k0+130	6.5	9.0	7.8
Cundinamarca	C1	k0+130	k0+140	8.7	9.3	9.0
Cundinamarca	C1	k0+140	k0+150	7.5	10.0	8.7
Cundinamarca	C1	k0+150	k0+157	8.0	9.9	8.9
Cundinamarca	C2	k0+000	k0+010	7.6	8.1	7.9
Cundinamarca	C2	k0+010	k0+020	6.8	5.8	6.3
Cundinamarca	C2	k0+020	k0+030	9.2	5.9	7.5
Cundinamarca	C2	k0+030	k0+040	8.7	7.1	7.9
Cundinamarca	C2	k0+040	k0+050	6.1	7.9	7.0
Cundinamarca	C2	k0+050	k0+060	7.3	5.8	6.5
Cundinamarca	C2	k0+060	k0+070	5.1	4.2	4.6
Cundinamarca	C2	k0+070	k0+080	4.2	3.9	4.0
Cundinamarca	C2	k0+080	k0+090	4.4	4.1	4.2
Cundinamarca	C2	k0+090	k0+100	4.9	5.2	5.0
Cundinamarca	C2	k0+100	k0+110	6.7	4.9	5.8
Cundinamarca	C2	k0+110	k0+120	7.4	6.7	7.0
Cundinamarca	C2	k0+120	k0+130	4.0	4.8	4.4
Cundinamarca	C2	k0+130	k0+140	10.0	9.9	10.0
Cundinamarca	C2	k0+140	k0+150	7.0	5.8	6.4
Cundinamarca	C2	k0+150	k0+153	3.8	2.9	3.3

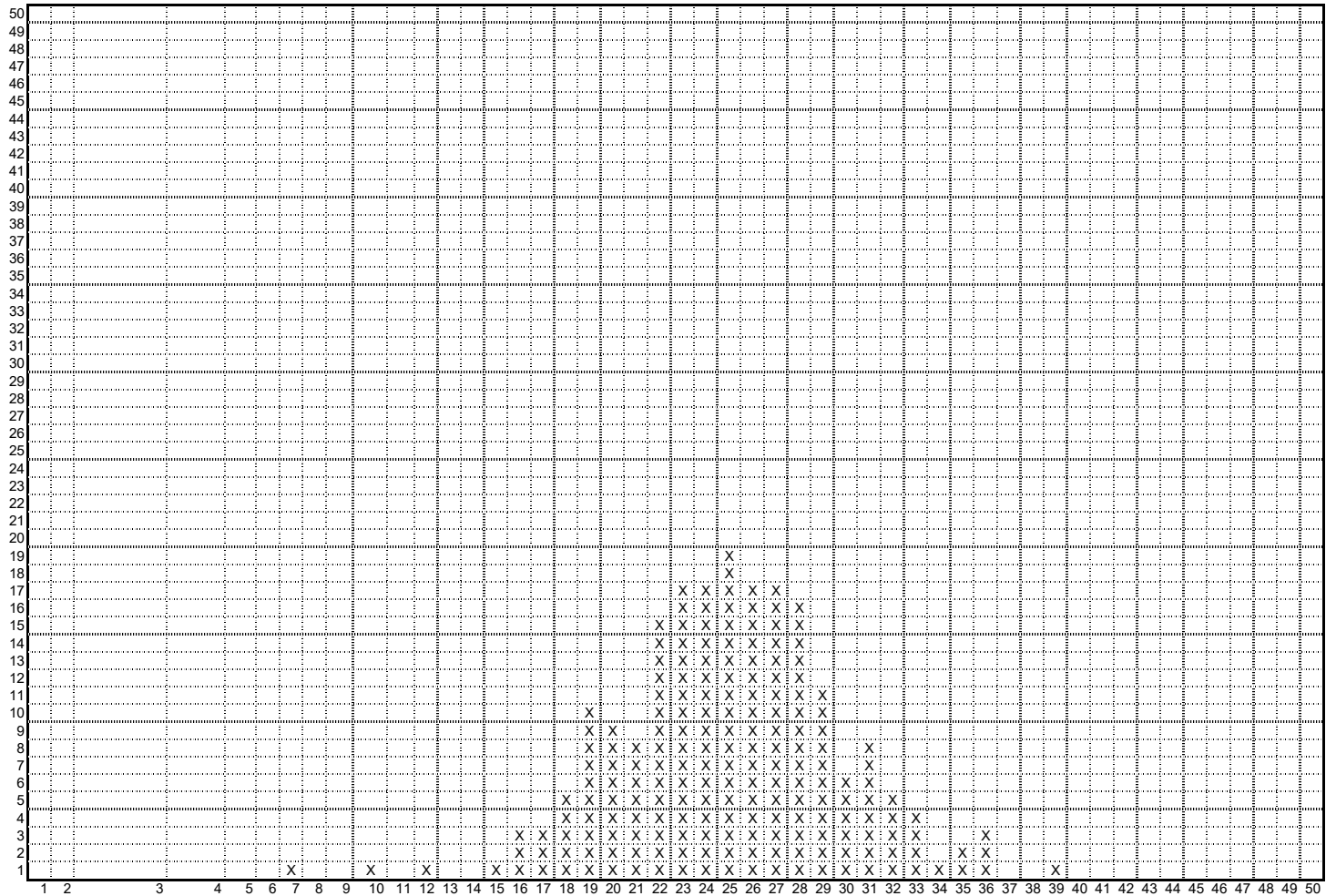
B. Anexo B Resultados Regularidad (Perfilómetro Merlín)



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	220	Tramo	Cundinamarca
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Derecho	Frecuencia	Cada cuarto círculo

Indice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



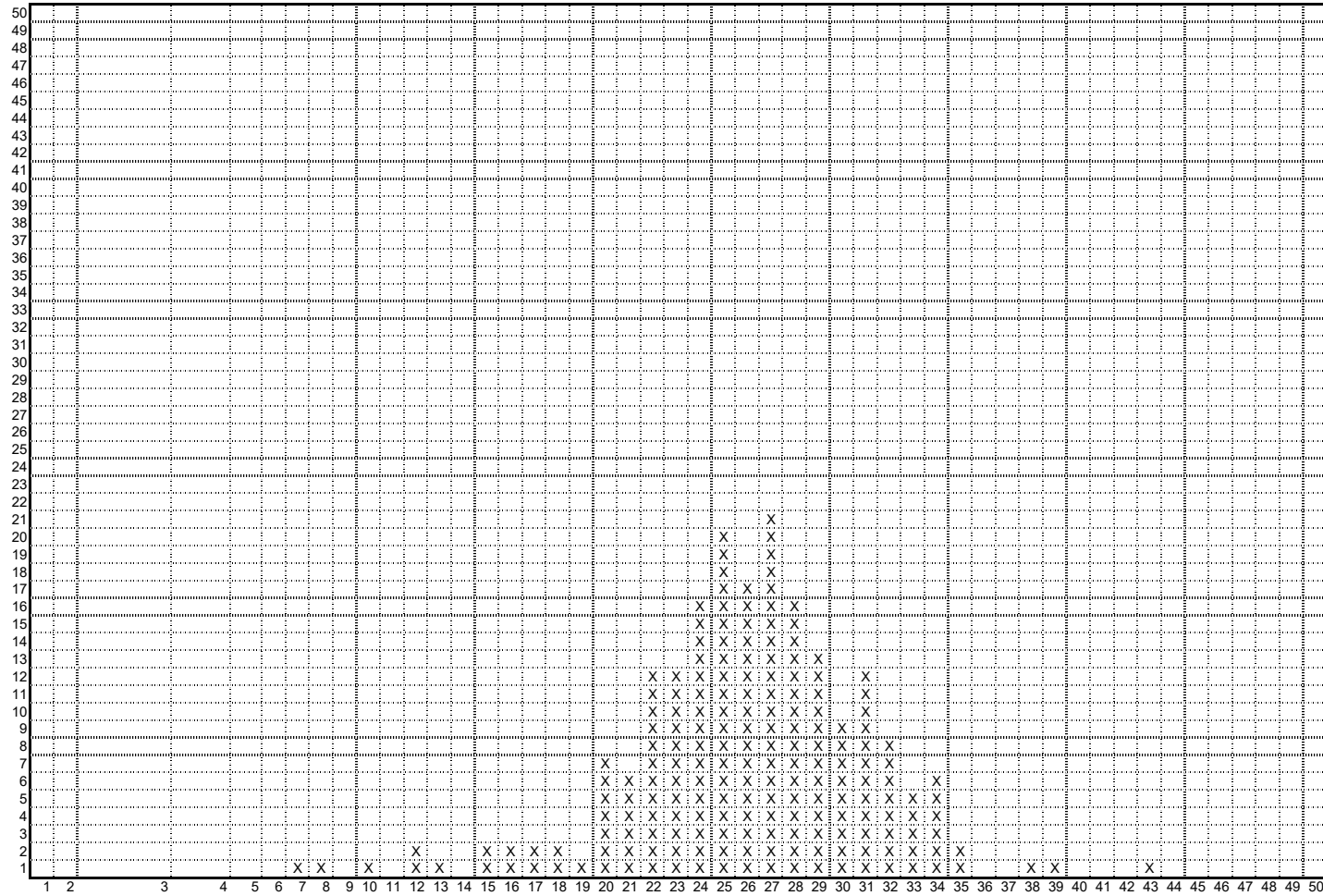
IZQ	
Ancho base	15
DER	0.75
Rango D	78.8
IRI (m/km)	4.30



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	220	Tramo	Cundinamarca
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Izquierdo	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo

Índice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



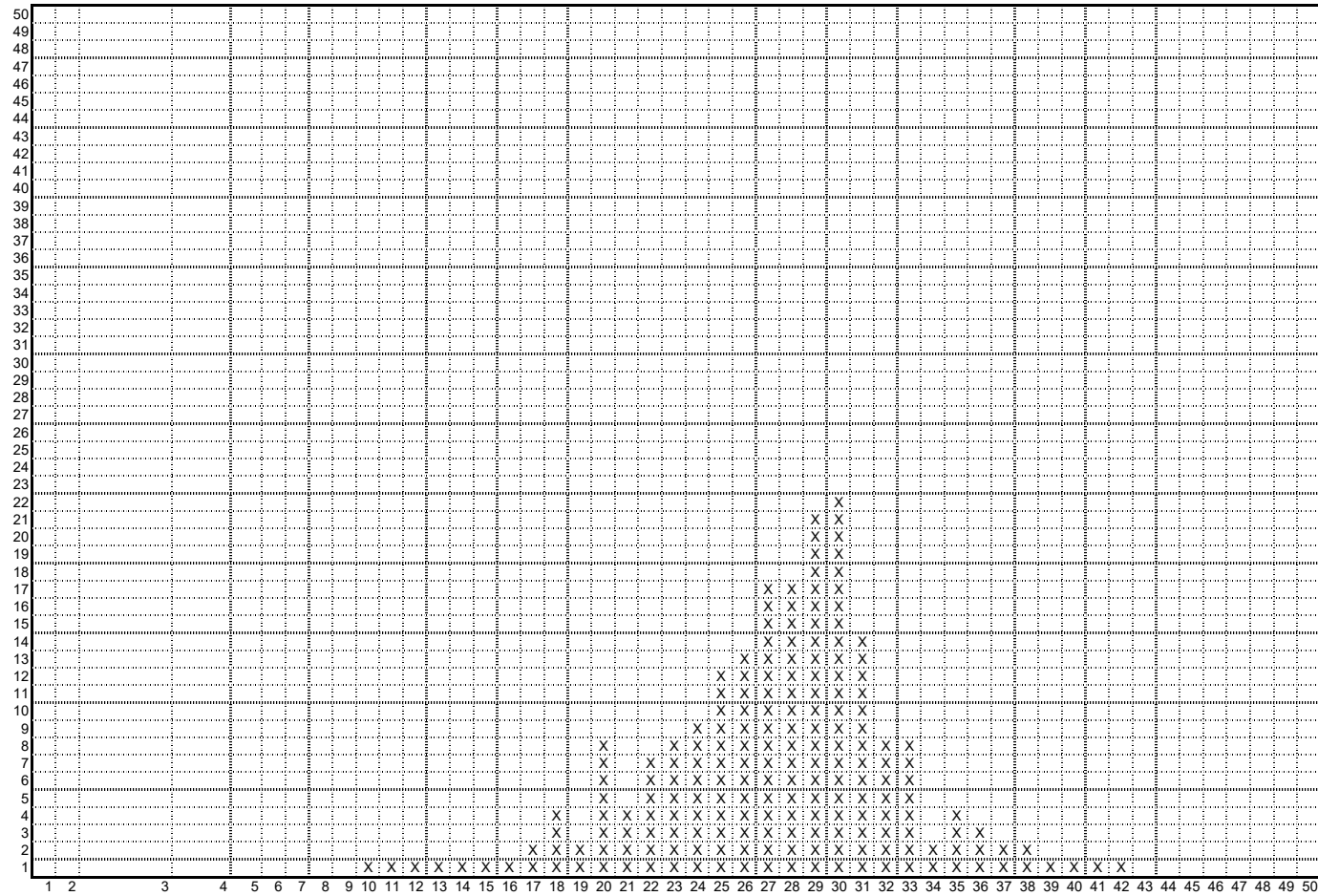
IZQ	0.0
Ancho base	17
DER	0.83
Rango D	89.2
IRI (m/km)	4.79



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Puente Aranda
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Derecha	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo

Indice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



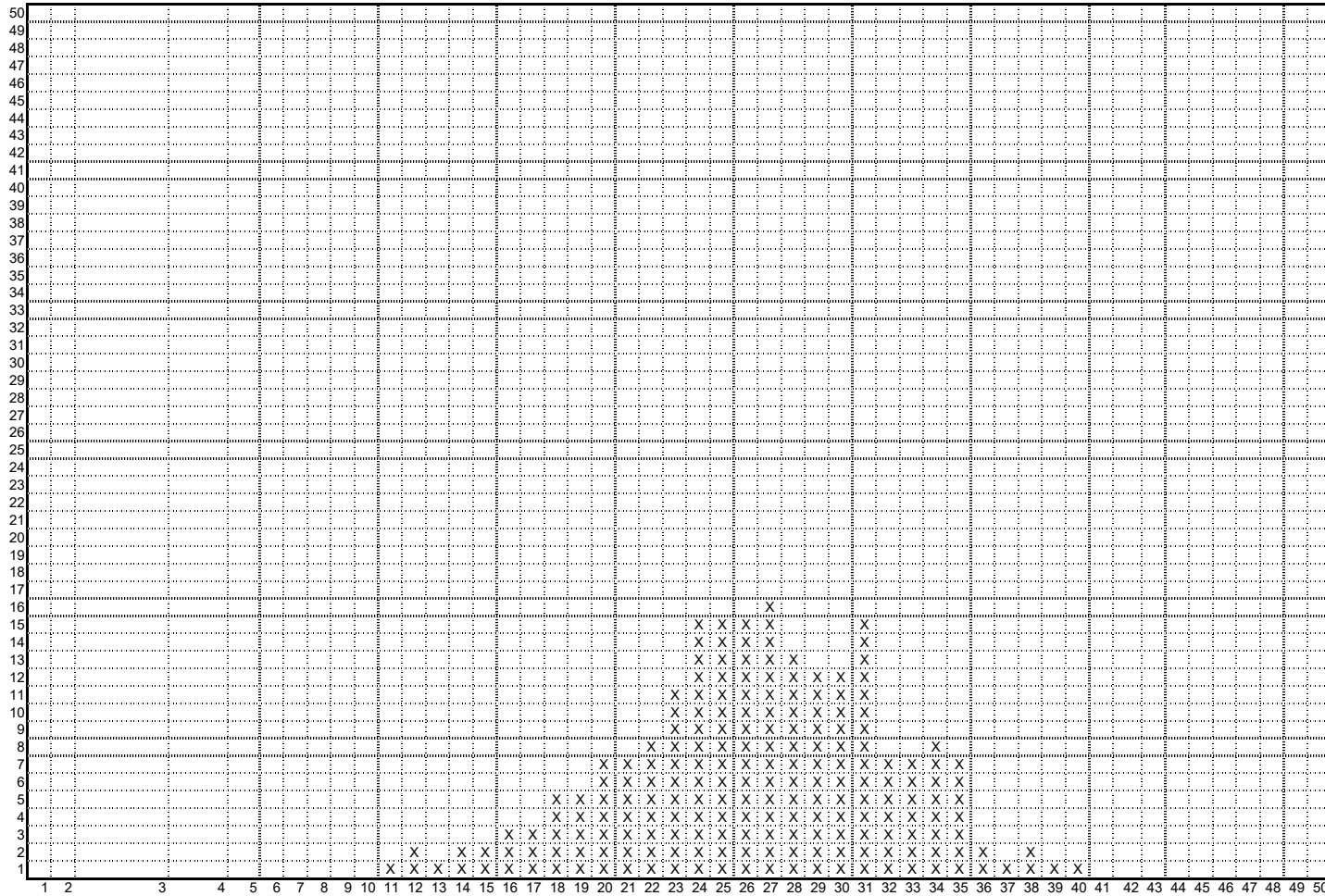
IZQ	0.3
Ancho base	17
DER	0.67
Rango D	89.6
IRI (m/km)	4.81



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Puente Aranda
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Izquierda	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo

Índice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



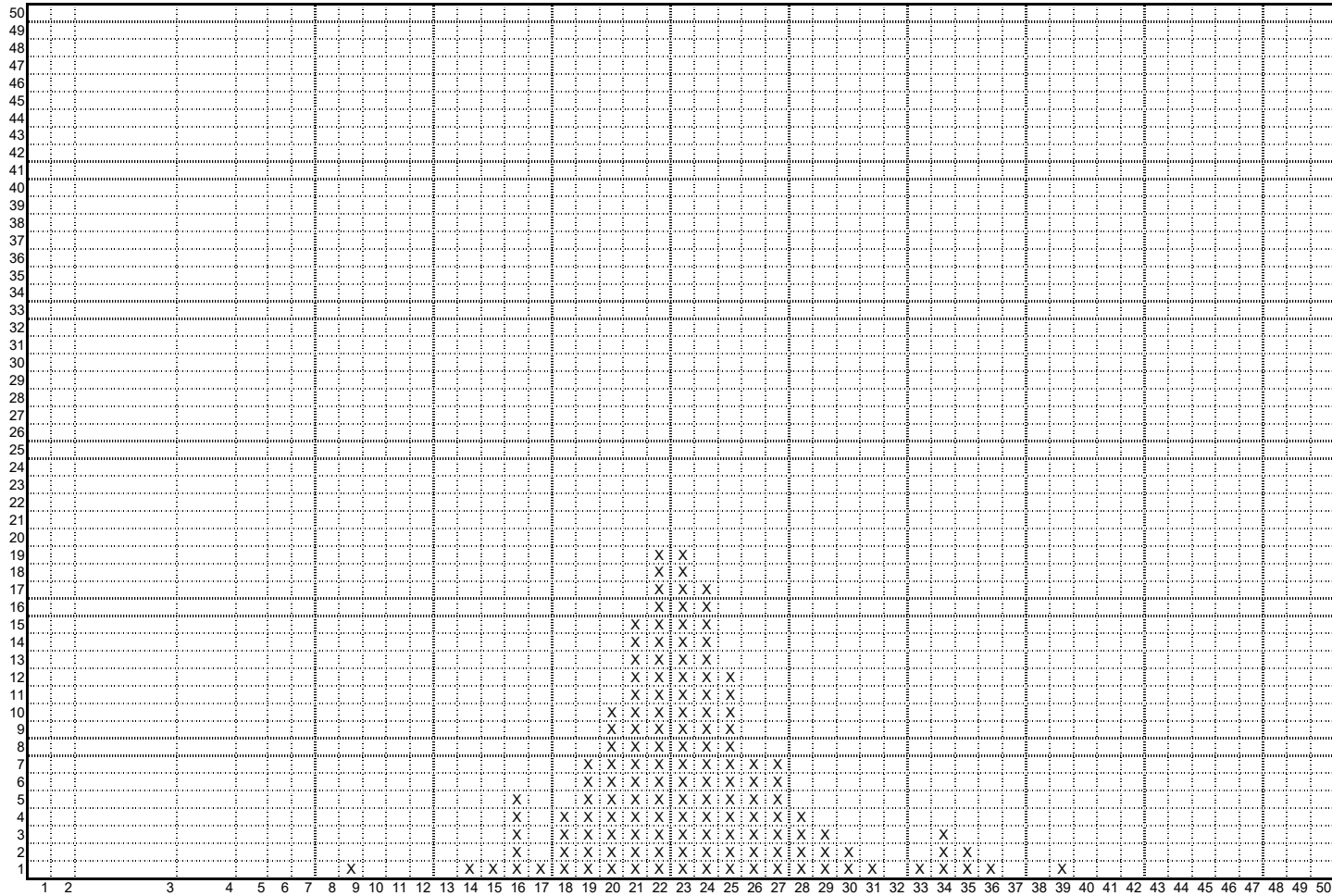
IZQ	0.7
Ancho base	18
DER	0.57
Rango D	96.2
IRI (m/km)	5.12



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	110	Tramo	Restrepo
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Derecho	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo

Índice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



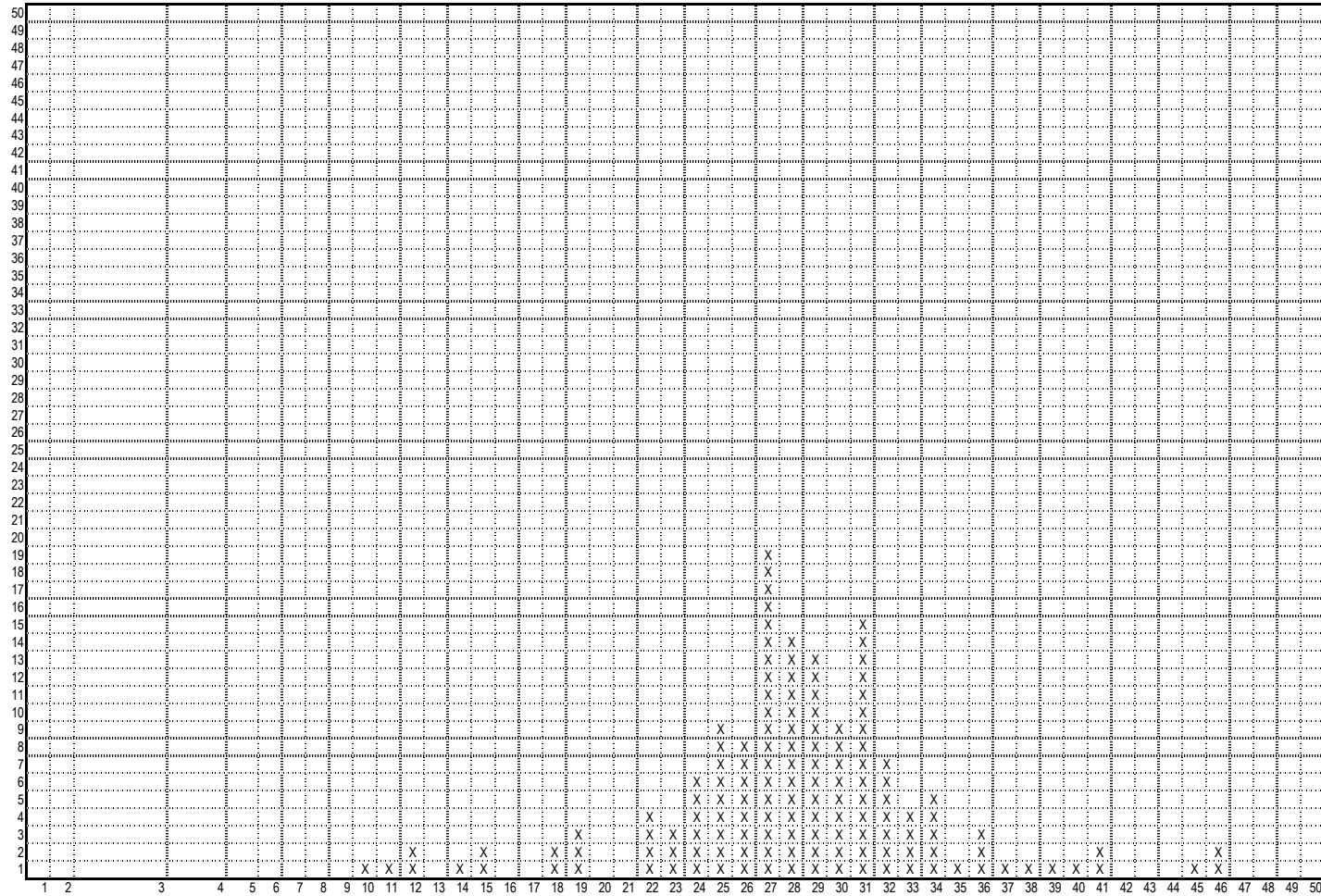
IZQ	0.8
Ancho base	16
DER	
Rango D	84.0
IRI (m/km)	4.55



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	110	Tramo	Restrepo
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Izquierdo	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo

Índice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



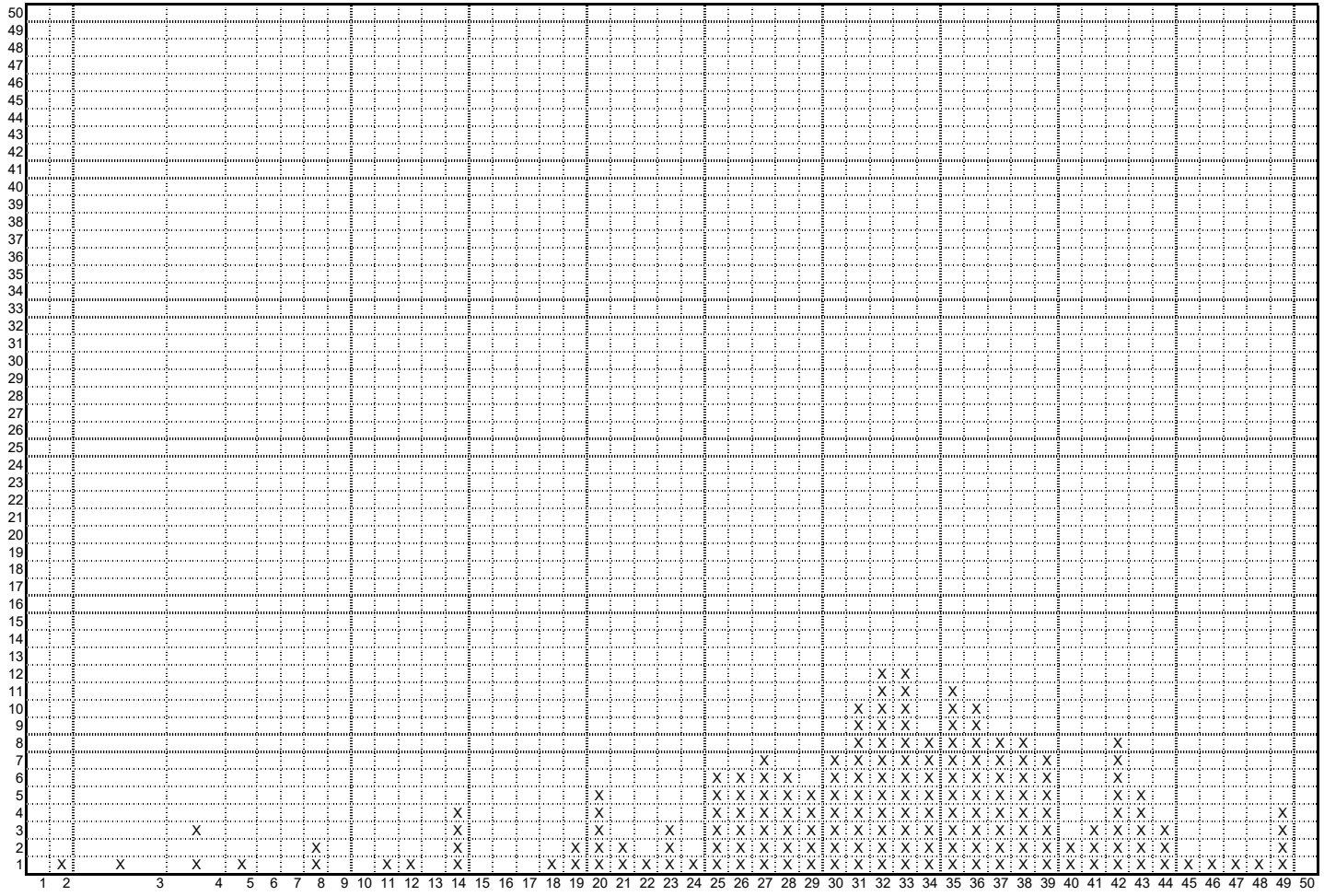
IZQ	0.0
Ancho base	19
DER	0.00
Rango D	95.0
IRI (m/km)	5.07



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Villa Luz
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Derecho	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo

Índice Internacional de Rugosidad (MERLIN)



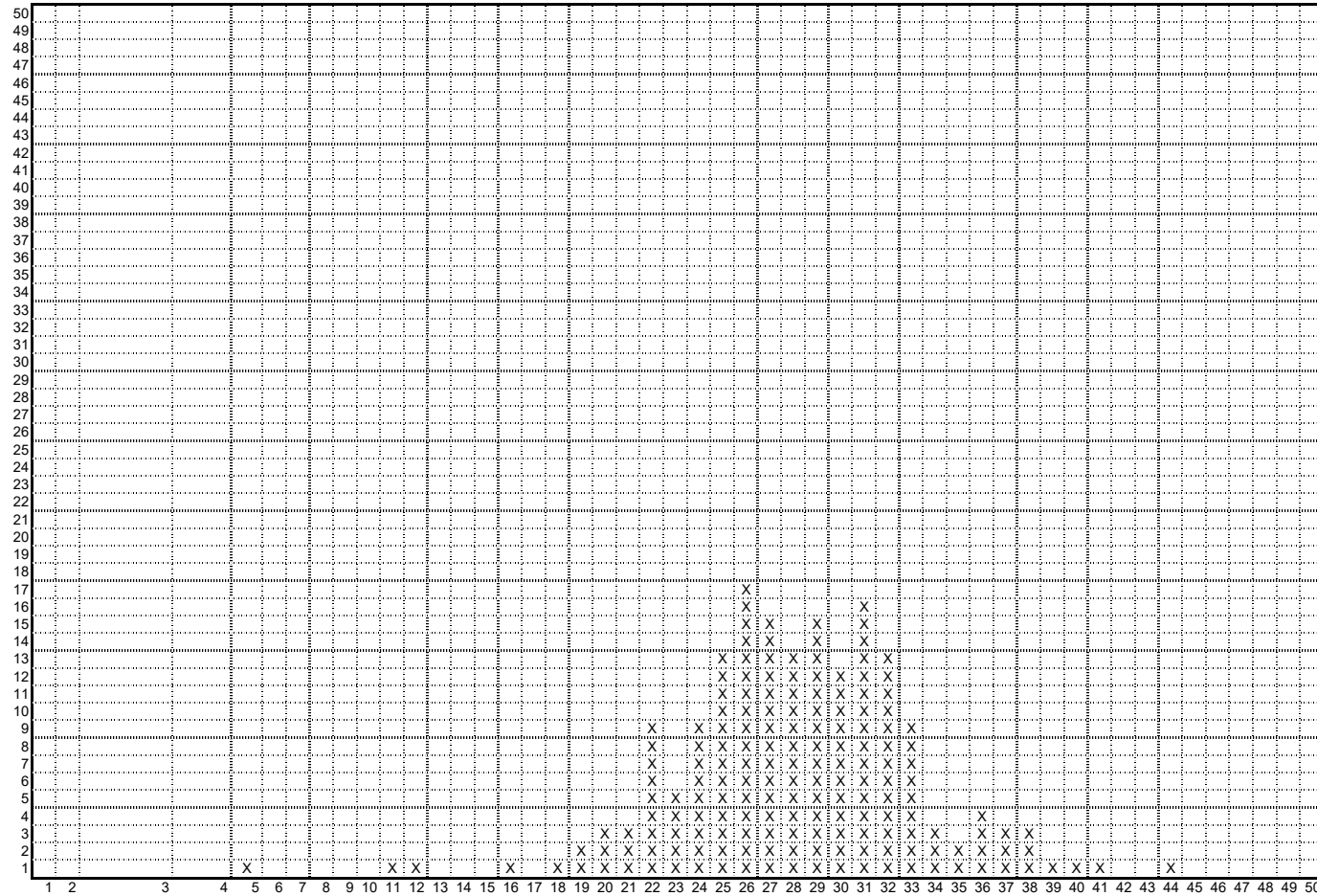
IZQ	
Ancho base	27
DER	0.33
Rango D	136.7
IRI (m/km)	7.03



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá


Equipo de Medición	Machine Evaluating Roughness Using Low Cost Instrumentation	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Villa Luz
Fecha de Medición	28/08/2022	Carril	Izquierdo	Frecuencia	Cada Cuarto de círculo


Indice Internacional de Rugosidad (MERLIN)





IZQ	0.33
Ancho base	16
DER	0.33
Rango D	83.3
IRI (m/km)	4.52

C. Anexo C Resultados Textura (Circulo de Arena)


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		INFORME DE ENSAYO MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA					
Norma	INV E-791:2013	Hora de ensayo:		7:30 a. m.			
Material:	Concreto Asfáltico	Fecha de ensayo:		2021-09-22			
Localización:	Barrio Villa Luz - Calle 64F entre Carrera 76A y Carrera 77Bis Sentido - Oriente Occidente						
Volumen de arena utilizado (mm³)	Diámetro del círculo de arena (mm)					Profundidad de textura (mm)	Observaciones
	L1	L2	L3	L4	Prom		
10053	187	185	185	188	186.3	0.37	K0+000
10053	185	184	185	187	185.3	0.37	K0+000
10053	180	184	185	186	183.8	0.38	K0+000
10053	185	187	185	186	185.8	0.37	K0+000
10053	185	180	180	183	182.0	0.39	K0+017
10053	180	185	183	185	183.3	0.38	K0+017
10053	180	178	179	180	179.3	0.40	K0+017
10053	180	178	181	182	180.3	0.39	K0+017
10053	181	180	179	180	180.0	0.40	K0+030
10053	180	182	180	179	180.3	0.39	K0+030
10053	178	180	179	181	179.5	0.40	K0+030
10053	180	180	180	178	179.5	0.40	K0+030
10053	182	180	181	179	180.5	0.39	K0+050
10053	180	183	182	182	181.8	0.39	K0+050
10053	181	180	179	180	180.0	0.40	K0+050
10053	180	180	181	179	180.0	0.40	K0+050
10053	176	175	177	175	175.8	0.41	K0+085
10053	175	178	178	180	177.8	0.41	K0+085
10053	180	181	180	180	180.3	0.39	K0+085
10053	175	175	180	179	177.3	0.41	K0+085
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+000			0.37	K0+017	0.39
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+030			0.40	K0+050	0.39
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+085			0.41	-	
		60-80			50 - 100		100 - 200
MATERIAL GRANULAR	Esferas de vidrio: Pasa tamiz No.60,			Arena: Pasa tamiz No. 50, retiene No. 100		Arena: Pasa tamiz No.	
CONDICIONES AMBIENTALES		27°C 50%HR					


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		INFORME DE ENSAYO MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA					
Norma	INV E-791:2013	Hora de ensayo:		8:40 a. m.			
Material:	Concreto Asfáltico	Fecha de ensayo:		2021-09-22			
Localización:	Barrio Restrepo - Transversal 21 entre Carrera 20 Bis y Carrera 22S Sentido - Norte Sur						
Volumen de arena utilizado (mm³)	Diámetro del círculo de arena (mm)					Profundidad de textura (mm)	Observaciones
	L1	L2	L3	L4	Prom		
10053	175	180	178	179	178.0	0.40	K0+000
10053	175	170	175	173	173.3	0.43	K0+000
10053	175	170	173	170	172.0	0.43	K0+000
10053	175	170	175	178	174.5	0.42	K0+000
10053	163	163	165	164	163.8	0.48	K0+025
10053	164	164	163	162	163.3	0.48	K0+025
10053	165	165	163	165	164.5	0.47	K0+025
10053	168	167	164	163	165.5	0.47	K0+025
10053	170	168	170	171	169.8	0.44	K0+050
10053	173	172	169	168	170.5	0.44	K0+050
10053	168	160	169	165	165.5	0.47	K0+050
10053	165	160	165	169	164.8	0.47	K0+050
10053	169	170	175	169	170.8	0.44	K0+075
10053	168	165	169	170	168.0	0.45	K0+075
10053	170	169	168	170	169.3	0.45	K0+075
10053	169	168	170	165	168.0	0.45	K0+075
10053	165	170	168	169	168.0	0.45	K0+095
10053	175	170	169	170	171.0	0.44	K0+095
10053	175	170	169	170	171.0	0.44	K0+095
10053	169	170	175	170	171.0	0.44	K0+095
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+000		0.42		K0+025	0.47
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+050		0.46		K0+075	0.45
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+095		0.44		-	
		60-80		50 - 100		100 - 200	
MATERIAL GRANULAR	Esferas de vidrio: Pasa tamiz No.60,			Arena: Pasa tamiz No. 50, retiene No. 100		Arena: Pasa tamiz No.	
CONDICIONES AMBIENTALES		27°C 50%HR					


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		INFORME DE ENSAYO MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA						
Norma	INV E-791:2013	Hora de ensayo:		8:40 a. m.				
Material:	Concreto Asfáltico	Fecha de ensayo:		2021-09-22				
Localización:	Barrio Puente Aranda - Diagonal 14 Bis entre Carrera 54 y Carrera 55 Sentido - Sur Norte							
Volumen de arena utilizado (mm³)	Diámetro del círculo de arena (mm)					Profundidad de textura (mm)	Observaciones	
	L1	L2	L3	L4	Prom			
10053	165	170	168	165	167.0	0.46	K0+000	
10053	168	167	165	164	166.0	0.46	K0+000	
10053	169	165	170	165	167.3	0.46	K0+000	
10053	175	169	168	170	170.5	0.44	K0+000	
10053	170	170	175	173	172.0	0.43	K0+020	
10053	170	175	170	173	172.0	0.43	K0+020	
10053	170	172	173	176	172.8	0.43	K0+020	
10053	175	178	175	170	174.5	0.42	K0+020	
10053	180	178	178	180	179.0	0.40	K0+040	
10053	181	185	180	180	181.5	0.39	K0+040	
10053	183	185	180	185	183.3	0.38	K0+040	
10053	183	185	182	185	183.8	0.38	K0+040	
10053	180	180	182	183	181.3	0.39	K0+060	
10053	176	175	177	175	175.8	0.41	K0+060	
10053	173	174	175	173	173.8	0.42	K0+060	
10053	175	174	175	176	175.0	0.42	K0+060	
10053	180	175	170	175	175.0	0.42	K0+090	
10053	180	179	180	179	179.5	0.40	K0+090	
10053	180	175	174	178	176.8	0.41	K0+090	
10053	180	179	175	175	177.3	0.41	K0+090	
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+000			0.46		K0+020	0.43
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+040			0.39		K0+060	0.41
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+090			0.41		-	
		60-80			50 - 100		100 - 200	
MATERIAL GRANULAR	Esferas de vidrio: Pasa tamiz No.60,			Arena: Pasa tamiz No. 50, retiene No. 100			Arena: Pasa tamiz No.	
CONDICIONES AMBIENTALES		27°C 50%HR						


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA		INFORME DE ENSAYO MEDIDA DE LA MACROTEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO EMPLEANDO LA TÉCNICA VOLUMÉTRICA					
Norma	INV E-791:2013	Hora de ensayo:		8:40 a. m.			
Material:	Concreto Asfáltico	Fecha de ensayo:		2021-09-22			
Localización:	Barrio Cundinamarca - Calle 19B entre Carrera 34 y Carrera 35 Sentido						
Volumen de arena utilizado (mm³)	Diámetro del círculo de arena (mm)					Profundidad de textura (mm)	Observaciones
	L1	L2	L3	L4	Prom		
10053	170	175	170	169	171.0	0.44	K0+000
10053	168	170	175	170	170.8	0.44	K0+000
10053	165	169	168	165	166.8	0.46	K0+000
10053	169	170	175	170	171.0	0.44	K0+000
10053	165	160	165	163	163.3	0.48	K0+020
10053	163	160	160	162	161.3	0.49	K0+020
10053	165	163	164	165	164.3	0.47	K0+020
10053	160	165	168	170	165.8	0.47	K0+020
10053	160	160	161	160	160.3	0.50	K0+040
10053	165	163	162	164	163.5	0.48	K0+040
10053	160	165	160	165	162.5	0.48	K0+040
10053	164	164	163	162	163.3	0.48	K0+040
10053	160	162	161	163	161.5	0.49	K0+060
10053	162	163	160	161	161.5	0.49	K0+060
10053	158	162	160	161	160.3	0.50	K0+060
10053	158	162	163	162	161.3	0.49	K0+060
10053	160	161	158	157	159.0	0.51	K0+090
10053	155	158	160	159	158.0	0.51	K0+090
10053	150	155	153	150	152.0	0.55	K0+090
10053	160	155	153	155	155.8	0.53	K0+090
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+000		0.44		K0+020	0.48
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+040		0.49		K0+060	0.49
Profundidad Media de Textura (mm)		K0+090		0.53		-	
		60-80		50 - 100		100 - 200	
MATERIAL GRANULAR	Esferas de vidrio: Pasa tamiz No.60,			Arena: Pasa tamiz No. 50, retiene No. 100		Arena: Pasa tamiz No.	
CONDICIONES AMBIENTALES		27°C 50%HR					

**D. Anexo D Resultados Textura
(Perfilómetro láser)**

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá					
	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	110	Tramo	Villa Luz
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Profundidad media de Textura (mm)						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Profundidad media de Perfil (mm)	Profundidad media de Textura (mm)	Singularidades
Villa Luz	Carril Derecho	k0+000	k0+010			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Derecho	k0+010	k0+020			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Derecho	k0+020	k0+030	0.3	0.4	
Villa Luz	Carril Derecho	k0+030	k0+040			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Derecho	k0+040	k0+050			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Derecho	k0+050	k0+060			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Derecho	k0+060	k0+070	0.3	0.5	
Villa Luz	Carril Derecho	k0+070	k0+080	0.2	0.4	
Villa Luz	Carril Derecho	k0+080	k0+090	0.3	0.4	
Villa Luz	Carril Derecho	k0+090	k0+100	0.3	0.4	
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+000	k0+010			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+010	k0+020			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+020	k0+030			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+030	k0+040			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+040	k0+050			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+050	k0+060	0.3	0.4	
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+060	k0+070			Exclusión por presencia de redes
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+070	k0+080	0.2	0.4	
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+080	k0+090	0.2	0.4	
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+090	k0+100	0.3	0.4	
Villa Luz	Carril Izquierdo	k0+100	k0+110	0.2	0.4	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá					
	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	100	Tramo	Restrepo
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Profundidad media de Textura (mm)						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Profundidad media de Perfil (mm)	Profundidad media de Textura (mm)	Singularidades
Restrepo	Carril Derecho	k0+000	k0+010	0.5	0.6	
Restrepo	Carril Derecho	k0+010	k0+020	0.6	0.7	
Restrepo	Carril Derecho	k0+020	k0+030	0.4	0.5	
Restrepo	Carril Derecho	k0+030	k0+040	0.3	0.4	
Restrepo	Carril Derecho	k0+040	k0+050	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Derecho	k0+050	k0+060	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Derecho	k0+060	k0+070	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Derecho	k0+070	k0+080	-0.1	0.1	
Restrepo	Carril Derecho	k0+080	k0+090	0.1	0.3	
Restrepo	Carril Derecho	k0+090	k0+100	0.6	0.7	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+000	k0+010	0.7	0.7	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+010	k0+020	0.4	0.5	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+020	k0+030	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+030	k0+040	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+040	k0+050	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+050	k0+060	0.2	0.4	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+060	k0+070	0.1	0.3	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+070	k0+080	0.1	0.3	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+080	k0+090	-0.1	0.1	
Restrepo	Carril Izquierdo	k0+090	k0+100	0.3	0.4	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá					
	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	130	Tramo	Puente Aranda
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Profundidad media de Textura (mm)						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Profundidad media de Perfil (mm)	Profundidad media de Textura (mm)	Singularidades
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+000	k0+010	0.4	0.5	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+010	k0+020	0.3	0.4	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+020	k0+030	0.2	0.4	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+030	k0+040	0.2	0.4	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+040	k0+050	0.2	0.3	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+050	k0+060			Exclusión por presencia de redes
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+060	k0+070	0.2	0.3	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+070	k0+080	0.2	0.4	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+080	k0+090			Exclusión por presencia de redes
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+090	k0+100	0.1	0.3	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+100	k0+110	0.8	0.9	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+110	k0+120	0.3	0.5	
Puente Aranda	Carril Derecho	k0+120	k0+130	-0.1	0.1	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+000	k0+010	0.2	0.4	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+010	k0+020	0.1	0.3	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+020	k0+030	0.1	0.3	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+030	k0+040	0.1	0.3	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+040	k0+050	0.1	0.3	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+050	k0+060			Exclusión por presencia de redes
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+060	k0+070	0.2	0.3	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+070	k0+080	0.2	0.4	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+080	k0+090			Exclusión por presencia de redes
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+090	k0+100	0.1	0.3	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+100	k0+110	0.7	0.8	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+110	k0+120	0.6	0.7	
Puente Aranda	Carril Izquierdo	k0+120	k0+130	0.8	0.8	

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá					
	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	100	Tramo	Cundinamarca
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 10 metros
Profundidad media de Textura (mm)						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Profundidad media de Perfil (mm)	Profundidad media de Textura (mm)	Singularidades
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+000	k0+010			Espesor de base granular compensado con mezcla
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+010	k0+020	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+020	k0+030	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+030	k0+040	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+040	k0+050	0.2	0.4	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+050	k0+060	0.3	0.4	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+060	k0+070	0.5	0.6	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+070	k0+080	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+080	k0+090	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Derecho	k0+090	k0+100	0.4	0.5	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+000	k0+010			Espesor de base granular compensado con mezcla
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+010	k0+020	0.5	0.6	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+020	k0+030	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+030	k0+040	0.3	0.4	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+040	k0+050	0.3	0.4	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+050	k0+060	0.3	0.5	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+060	k0+070	0.4	0.5	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+070	k0+080	0.3	0.4	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+080	k0+090	0.3	0.4	
Cundinamarca	Carril Izquierdo	k0+090	k0+100	0.3	0.5	

E. Anexo E Fricción (Péndulo Ingles)



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO PÉNDULO BRITÁNICO

Norma	INV E-792:2013	Condiciones ambientales:	20°C 46%HR
Material:	Concreto Asfáltico	Fecha de ensayo:	2021-09-22
Localización:	Barrio Villa Luz - Calle 64F entre Carrera 76A y Carrera 77Bis Sentido - Oriente Occidente	Observaciones:	Ensayo No.1 Costado Derecho - Ensayo No.2 Eje - Ensayo No.3 Costado Izquierdo

N°	Abscisa	Temperatura Superficie (°C)	Ensayo N°1					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°2					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°3					Corrección por T° CRD	CRD
			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5		
1	0	21	55	55	55	55	55	0	56	65	65	65	60	60	0	63	65	65	65	65	65	0	65
2	25	21	55	55	55	55	55	0	55	60	55	55	55	55	0	56	55	55	55	55	55	0	55
3	50	21	55	55	55	55	55	0	55	60	60	60	55	55	0	58	60	60	60	55	55	0	58
4	75	21	55	60	60	60	60	0	59	60	60	60	60	60	0	60	60	60	60	60	60	0	60
5	100	21	60	60	60	60	55	0	59	60	60	60	55	60	0	59	60	60	60	60	60	0	60



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO PÉNDULO BRITÁNICO

Norma	INV E-792:2013		Condiciones ambientales:		20°C 46%HR																									
Material:	Concreto Asfáltico		Fecha de ensayo:		2021-09-22																									
Localización:	Barrio Restrepo - Transversal 21 entre Carrera 20 Bis y Carrera 22S Sentido - Norte Sur		Observaciones:		Ensayo No.1 Costado Derecho - Ensayo No.2 Eje - Ensayo No.3 Costado Izquierdo																									
N°	Abscisa	Temperatura Superficie (°C)	Ensayo N°1					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°2					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°3					Corrección por T° CRD	CRD							
			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5		
1	K0+000	21	60	60	55	55	55	0	57	60	60	55	55	55	0	57	55	55	55	60	60	0	57	55	55	55	60	60	0	57
2	K0+020	21	55	55	55	60	60	0	57	60	60	55	55	55	0	57	55	60	60	60	60	0	59	55	60	60	60	60	0	59
3	K0+040	21	60	60	55	55	55	0	57	60	60	55	55	55	0	57	55	55	55	60	60	0	57	55	55	55	60	60	0	57
4	K0+060	21	55	55	60	60	60	0	58	55	55	60	55	55	0	56	55	60	60	60	55	0	58	55	60	60	60	55	0	58
5	K0+090	21	60	60	60	60	60	0	60	65	60	60	60	60	0	61	60	60	60	60	60	0	60	60	60	60	60	0	60	



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO PÉNDULO BRITÁNICO

Norma		INV E-792:2013					Condiciones ambientales:					20°C 46%HR											
Material:		Concreto Asfáltico					Fecha de ensayo:					2021-09-22											
Localización:		Barrio Puente Aranda - Diagonal 14 Bis entre Carrera 54 y Carrera 55 Sentido - Sur Norte					Observaciones:					Ensayo No.1 Costado Derecho - Ensayo No.2 Eje - Ensayo No.3 Costado Izquierdo											
N°	Abscisa	Temperatura Superficie (°C)	Ensayo N°1					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°2					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°3					Corrección por T° CRD	CRD
			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5		
1	K0+000	21	55	60	60	60	60	0	59	55	60	60	60	60	0	59	55	55	60	60	60	0	58
2	K0+030	21	55	60	60	60	60	0	59	60	60	60	60	0	60	55	55	60	60	60	0	58	
3	K0+060	21	60	60	60	60	55	0	59	55	55	60	60	60	0	58	55	55	60	60	60	0	58
4	K0+090	21	60	60	60	60	60	0	60	60	60	60	60	0	60	60	60	60	60	60	0	60	
5	K0+120	21	60	60	60	60	60	0	60	60	60	60	60	0	60	55	60	60	60	60	0	59	



MEDIDA DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO USANDO PÉNDULO BRITÁNICO

Norma	INV E-792:2013	Condiciones ambientales:	20°C 46%HR
Material:	Concreto Asfáltico	Fecha de ensayo:	2021-09-22
Localización:	Barrio Cundinamarca - Calle 19B entre Carrera 34 y Carrera 35 Sentido - Oriente Occidente	Observaciones:	Ensayo No.1 Costado Derecho - Ensayo No.2 Eje - Ensayo No.3 Costado Izquierdo

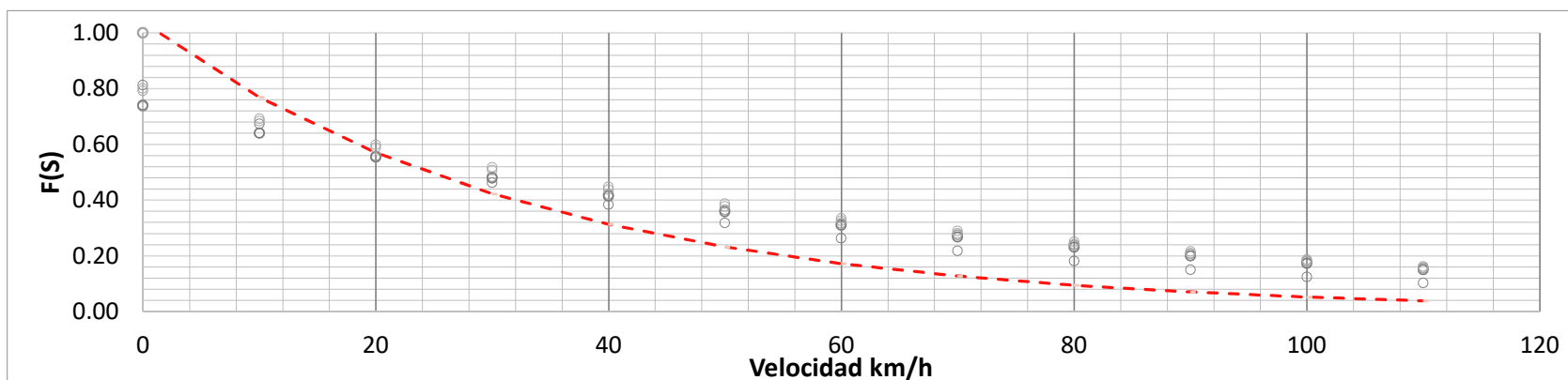
N°	Abscisa	Temperatura Superficie (°C)	Ensayo N°1					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°2					Corrección por T° CRD	CRD	Ensayo N°3					Corrección por T° CRD	CRD
			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5			L1	L2	L3	L4	L5		
1	K0+000	21	60	60	60	60	60	0	60	60	60	55	55	55	0	57	55	55	55	60	60	0	57
2	K0+020	21	55	60	55	55	55	0	56	60	60	55	55	55	0	57	60	60	60	55	55	0	58
3	K0+040	21	60	60	60	60	60	0	60	60	60	60	55	55	0	58	60	60	60	60	60	0	60
4	K0+060	21	60	60	55	55	55	0	57	60	60	55	55	55	0	57	60	60	55	55	55	0	57
5	K0+090	21	50	55	55	60	60	0	56	60	60	55	55	55	0	57	60	60	55	55	55	0	57

F. Anexo F Resultados Índice de Fricción Internacional (IFI)

índice de fricción internacional (IFI) tramo Villa Luz

Abscisa	Textura (mm)	Constantes		Sp	Fricción	Constantes			FR60	F 60	Fricción											
		a	b			S	A	B			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
k0+000	0.37	-11.6	113.6	53	56	10	0.044	0.01	21.9	0.26	0.81	0.67	0.56	0.46	0.38	0.32	0.26	0.22	0.18	0.15	0.12	0.10
k0+025	0.40	-11.6	113.6	71	55	10	0.044	0.01	27.2	0.32	0.74	0.64	0.56	0.48	0.42	0.36	0.32	0.27	0.24	0.21	0.18	0.16
k0+050	0.39	-11.6	113.6	69	55	10	0.044	0.01	26.5	0.31	0.74	0.64	0.55	0.48	0.41	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15
k0+075	0.41	-11.6	113.6	69	60	10	0.044	0.01	29.0	0.33	0.80	0.69	0.60	0.52	0.45	0.39	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16
k0+100	0.41	-11.6	113.6	67	59	10	0.044	0.01	28.1	0.33	0.79	0.68	0.59	0.51	0.44	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.15
Promedio	0.40	-11.6	113.6	33.3856	57.25	10	0.044	0.01	12.8	0.17	1.038	0.77	0.57	0.42	0.31	0.23	0.17	0.13	0.09	0.07	0.05	0.04

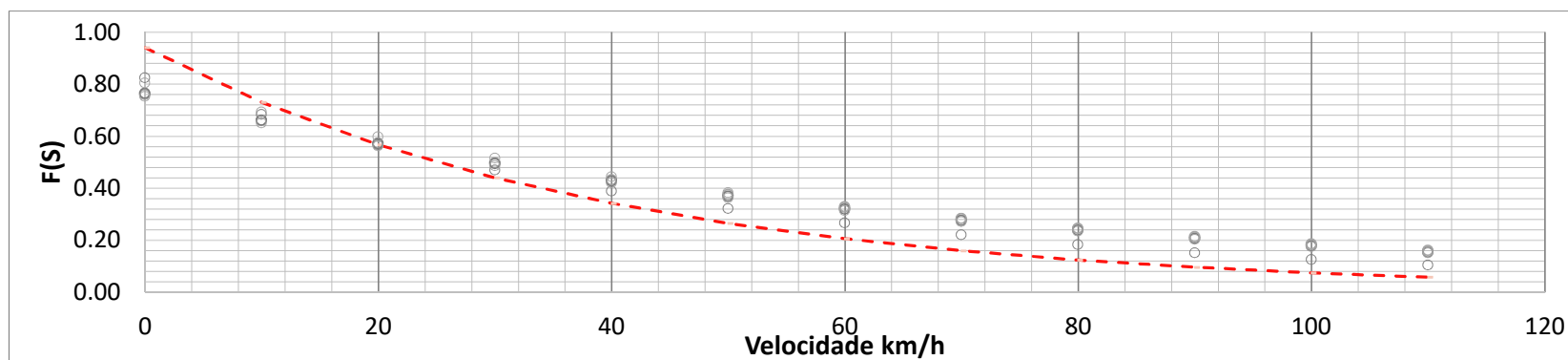
Gráfico fricción en función de la velocidad



índice de fricción internacional (IFI) tramo Restrepo

Abscisa	Textura (mm)	Constantes		Sp	Fricción	Constantes			FR60	F 60	Fricción											
		a	b			S	A	B			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
k0+000	0.42	-11.6	113.6	53	57	10	0.044	0.01	22.3	0.27	0.82	0.68	0.57	0.47	0.39	0.32	0.27	0.22	0.18	0.15	0.13	0.10
k0+020	0.47	-11.6	113.6	71	57	10	0.044	0.01	28.2	0.33	0.76	0.66	0.57	0.50	0.43	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	0.19	0.16
k0+040	0.46	-11.6	113.6	69	57	10	0.044	0.01	27.5	0.32	0.76	0.66	0.57	0.49	0.43	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.15
k0+060	0.46	-11.6	113.6	69	56	10	0.044	0.01	27.0	0.31	0.75	0.65	0.56	0.49	0.42	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.18	0.15
k0+090	0.44	-11.6	113.6	67	60	10	0.044	0.01	28.6	0.33	0.80	0.69	0.60	0.52	0.44	0.38	0.33	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16
Promedio	0.45	-11.6	113.6	39.52	57.50	10	0.044	0.01	16.2	0.21	0.94	0.73	0.57	0.44	0.34	0.27	0.21	0.16	0.12	0.1	0.07	0.06

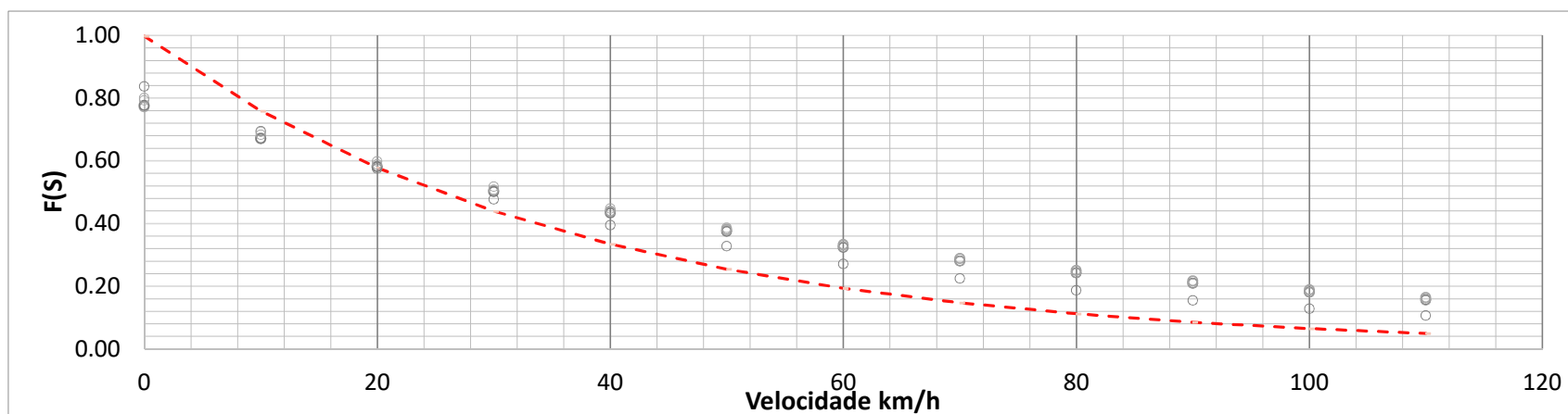
Gráfico fricción en función de la velocidad



índice de fricción internacional (IFI) tramo Puente Aranda

Abscisa	Textura (mm)	Constantes		Sp	Fricción	Constantes			FR60	F 60	Fricción											
		a	b			S	A	B			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
k0+000	0.46	-11.6	113.6	53	58	10	0.044	0.01	22.7	0.27	0.84	0.69	0.57	0.48	0.39	0.33	0.27	0.22	0.19	0.15	0.13	0.11
k0+030	0.43	-11.6	113.6	71	58	10	0.044	0.01	28.7	0.33	0.77	0.67	0.58	0.51	0.44	0.38	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16
k0+060	0.41	-11.6	113.6	69	58	10	0.044	0.01	28.0	0.32	0.78	0.67	0.58	0.50	0.43	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16
k0+090	0.41	-11.6	113.6	69	60	10	0.044	0.01	29.0	0.33	0.80	0.69	0.60	0.52	0.45	0.39	0.33	0.29	0.25	0.22	0.19	0.16
k0+120	0.41	-11.6	113.6	67	59	10	0.044	0.01	28.1	0.33	0.79	0.68	0.59	0.51	0.44	0.38	0.33	0.28	0.24	0.21	0.18	0.15
Promedio	0.42	-11.60	113.60	36.5664	58.60	10.00	0.04	0.01	14.9	0.19	0.997	0.76	0.58	0.44	0.33	0.25	0.19	0.15	0.11	0.09	0.06	0.05

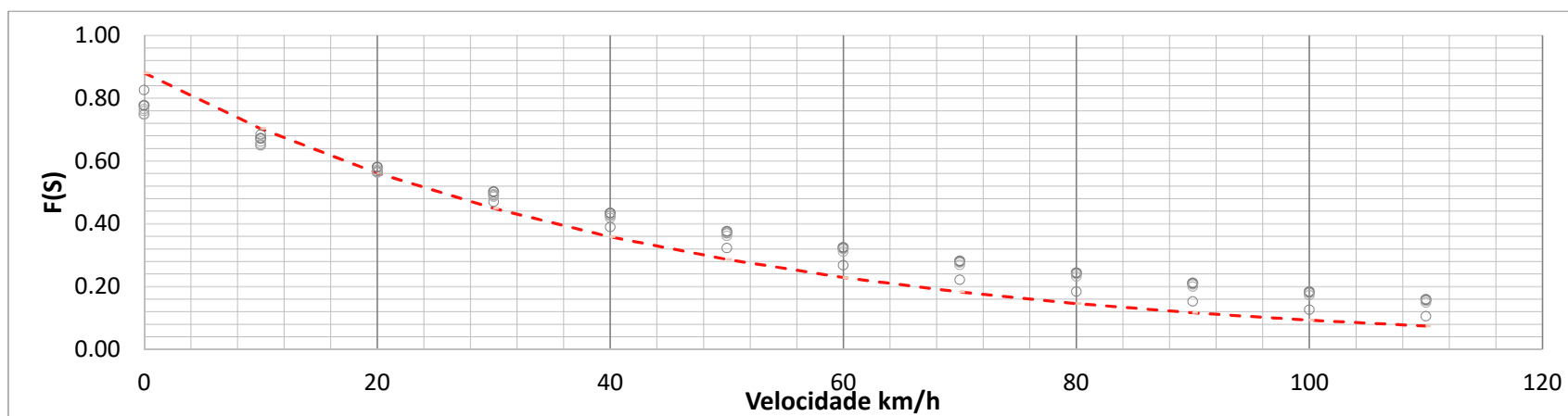
Gráfico fricción en función de la velocidad




Índice de fricción internacional (IFI) tramo Cundinamarca


Abscisa	Textura (mm)	Constantes		Sp	Fricción	Constantes			FR60	F 60	Fricción											
		a	b			S	A	B			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
k0+000	0.44	-11.6	113.6	53	57	10	0.044	0.01	22.3	0.27	0.82	0.68	0.57	0.47	0.39	0.32	0.27	0.22	0.18	0.15	0.13	0.10
k0+020	0.48	-11.6	113.6	71	56	10	0.044	0.01	27.7	0.32	0.75	0.65	0.56	0.49	0.43	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16
k0+040	0.49	-11.6	113.6	69	58	10	0.044	0.01	28.0	0.32	0.78	0.67	0.58	0.50	0.43	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16
k0+060	0.53	-11.6	113.6	69	57	10	0.044	0.01	27.5	0.32	0.76	0.66	0.57	0.49	0.43	0.37	0.32	0.28	0.24	0.21	0.18	0.15
k0+090	0.53	-11.6	113.6	67	56	10	0.044	0.01	26.7	0.31	0.76	0.65	0.56	0.49	0.42	0.36	0.31	0.27	0.23	0.20	0.17	0.15
Promedio	0.49	-11.60	113.60	44.5184	56.80	10.00	0.04	0.01	18.5	0.23	0.88	0.7	0.56	0.45	0.36	0.29	0.23	0.18	0.15	0.12	0.09	0.07


Gráfico fricción en función de la velocidad




**G. Anexo G Resultados de
ahuellamiento**

 Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Villa Luz	
Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 20 metros	
Ahuellamiento						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (mm)	Huella Derecha (mm)	Máx huellas (mm)
Villa Luz	C1	k0+000	k0+020	3.32	4.00	4.00
Villa Luz	C1	k0+020	k0+040	1.43	2.75	2.75
Villa Luz	C1	k0+040	k0+060	2.11	3.24	3.24
Villa Luz	C1	k0+060	k0+080	2.00	9.27	9.27
Villa Luz	C1	k0+080	k0+100	5.05	8.18	8.18
Villa Luz	C1	k0+100	k0+120	4.18	4.66	4.66
Villa Luz	C1	k0+120	k0+140	2.48	8.16	8.16
Villa Luz	C1	k0+140	k0+160	2.61	5.00	5.00
Villa Luz	C2	k0+000	k0+020	2.06	3.83	3.83
Villa Luz	C2	k0+020	k0+040	2.50	2.74	2.74
Villa Luz	C2	k0+040	k0+060	2.06	5.62	5.62
Villa Luz	C2	k0+060	k0+080	1.33	7.65	7.65
Villa Luz	C2	k0+080	k0+100	1.98	4.63	4.63
Villa Luz	C2	k0+100	k0+120	3.88	3.19	3.88
Villa Luz	C2	k0+120	k0+140	1.93	3.87	3.87
Villa Luz	C2	k0+140	k0+160	6.53	5.12	6.53
Villa Luz	C2	k0+160	k0+165	0.74	1.34	1.34

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	110	Tramo	Restrepo
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 20 metros
Ahuellamiento						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (mm)	Huella Derecha (mm)	Máx huellas (mm)
Restrepo	C1	k0+000	k0+020	2.38	2.20	2.38
Restrepo	C1	k0+020	k0+040	2.54	3.90	3.90
Restrepo	C1	k0+040	k0+060	2.96	2.88	2.96
Restrepo	C1	k0+060	k0+080	1.05	2.10	2.10
Restrepo	C1	k0+080	k0+100	0.94	1.57	1.57
Restrepo	C1	k0+100	k0+110	0.72	3.23	3.23
Restrepo	C2	k0+000	k0+020	4.31	1.32	4.31
Restrepo	C2	k0+020	k0+040	7.00	2.38	7.00
Restrepo	C2	k0+040	k0+060	4.09	2.34	4.09
Restrepo	C2	k0+060	k0+080	2.23	7.12	7.12
Restrepo	C2	k0+080	k0+100	1.64	0.71	1.64
Restrepo	C2	k0+100	k0+115	1.39	1.27	1.39

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	160	Tramo	Puente Aranda
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 20 metros
Ahuellamiento						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (mm)	Huella Derecha (mm)	Máx huellas (mm)
Puente Aranda	C1	k0+000	k0+020	1.27	2.17	2.17
Puente Aranda	C1	k0+020	k0+040	4.79	1.29	4.79
Puente Aranda	C1	k0+040	k0+060	5.42	3.43	5.42
Puente Aranda	C1	k0+060	k0+080	7.78	1.65	7.78
Puente Aranda	C1	k0+080	k0+100	2.92	5.15	5.15
Puente Aranda	C1	k0+100	k0+120	3.09	7.51	7.51
Puente Aranda	C1	k0+120	k0+140	3.82	1.02	3.82
Puente Aranda	C1	k0+140	k0+160	7.45	6.14	7.45
Puente Aranda	C1	k0+160	k0+175	4.98	7.31	7.31
Puente Aranda	C2	k0+000	k0+020	1.31	2.27	2.27
Puente Aranda	C2	k0+020	k0+040	1.77	4.37	4.37
Puente Aranda	C2	k0+040	k0+060	5.38	3.83	5.38
Puente Aranda	C2	k0+060	k0+080	3.69	3.35	3.69
Puente Aranda	C2	k0+080	k0+100	1.53	3.51	3.51
Puente Aranda	C2	k0+100	k0+120	5.15	2.89	5.15
Puente Aranda	C2	k0+120	k0+140	5.29	5.58	5.58
Puente Aranda	C2	k0+140	k0+160	3.50	8.94	8.94
Puente Aranda	C2	k0+160	k0+180	9.88	9.02	9.88

Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá						
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA	Equipo de medición	RSP Mark III	Longitud tramo (m)	220	Tramo	Cundinamarca
	Fecha de medición	23/07/2021	Velocidad de medición (km/h)	24	Frecuencia	Cada 20 metros
Ahuellamiento						
Tramo	Carril	Desde	Hasta	Huella Izquierda (mm)	Huella Derecha (mm)	Máx huellas (mm)
Cundinamarca	C1	k0+000	k0+020	7.58	1.78	7.58
Cundinamarca	C1	k0+020	k0+040	6.53	1.27	6.53
Cundinamarca	C1	k0+040	k0+060	9.53	2.02	9.53
Cundinamarca	C1	k0+060	k0+080	8.67	1.48	8.67
Cundinamarca	C1	k0+080	k0+100	12.45	0.65	12.45
Cundinamarca	C1	k0+100	k0+120	1.02	0.83	1.02
Cundinamarca	C1	k0+120	k0+140	6.58	1.99	6.58
Cundinamarca	C1	k0+140	k0+160	7.75	2.58	7.75
Cundinamarca	C1	k0+160	k0+180	5.34	2.08	5.34
Cundinamarca	C1	k0+180	k0+200	6.96	2.60	6.96
Cundinamarca	C1	k0+200	k0+220	3.49	1.14	3.49
Cundinamarca	C1	k0+220	k0+230	3.20	0.97	3.20
Cundinamarca	C2	k0+000	k0+020	1.52	8.09	8.09
Cundinamarca	C2	k0+020	k0+040	1.79	5.05	5.05
Cundinamarca	C2	k0+040	k0+060	6.55	3.28	6.55
Cundinamarca	C2	k0+060	k0+080	1.07	7.99	7.99
Cundinamarca	C2	k0+080	k0+100	1.53	8.36	8.36
Cundinamarca	C2	k0+100	k0+120	0.78	3.11	3.11
Cundinamarca	C2	k0+120	k0+140	6.34	2.72	6.34
Cundinamarca	C2	k0+140	k0+160	6.51	2.15	6.51
Cundinamarca	C2	k0+160	k0+180	3.08	1.95	3.08
Cundinamarca	C2	k0+180	k0+200	1.91	3.99	3.99
Cundinamarca	C2	k0+200	k0+220	3.06	2.37	3.06
Cundinamarca	C2	k0+220	k0+235	2.65	0.84	2.65

H. Anexo H Resultados de deterioros del pavimento



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Deterioros Pavimento Flexible

Tramo	Abscisa	Deterioro	Código ASTM 6433	Severidad	Dimensiones deterioro (m)		Área (m ²)	Cordenadas	
					Largo	Ancho		Latitud	Longitud
Cundinamarca	k0+009	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	2.3	0.0	2.3	4.6232435	2584.18
Cundinamarca	k0+012	Raveling	19	Baja	0.8	0.9	0.8	4.6232003	2584.03
Cundinamarca	k0+016	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.5	0.0	0.5	4.6232003	2584.03
Cundinamarca	k0+032	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.2	0.0	0.2	4.6231115	2584.37
Cundinamarca	k0+032	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Media	1.3	0.0	1.3	4.6230679	2584.67
Cundinamarca	k0+032	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	1.4	0.0	1.4	4.6230679	2584.67
Cundinamarca	k0+032	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.3	0.0	0.3	4.6230679	2584.67
Cundinamarca	k0+033	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.5	0.0	0.5	4.6230679	2584.67
Cundinamarca	k0+036	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	2.5	0.0	2.5	4.6230679	2584.67
Cundinamarca	k0+008	Patching and Utility Cut Patching	11	Alta	2.1	1.8	3.9	4.6232524	2584.05
Cundinamarca	k0+012	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	2.3	0.0	2.3	4.6232141	2584.12
Cundinamarca	k0+022	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.2	0.0	0.2	4.6231751	2584.24
Cundinamarca	k0+023	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.5	0.0	0.5	4.6231751	2584.24
Cundinamarca	k0+033	Raveling	19	Baja	3.3	1.2	4.0	4.6230982	2584.61
Cundinamarca	k0+036	Raveling	19	Media	0.4	0.7	0.3	4.6230982	2584.61
Cundinamarca	k0+040	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	1.0	0.0	1.0	4.6230612	2584.97
Cundinamarca	k0+102	Raveling	19	Media	1.9	1.1	2.2	4.6226845	2586.67
Puente Aranda	k0+051	Patching and Utility Cut Patching	11	Media	1.8	1.5	2.7	4.6307305	2576.05
Puente Aranda	k0+080	Patching and Utility Cut Patching	11	Baja	1.5	1.7	2.5	4.6310231	2576.07
Puente Aranda	k0+045	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.9	0.0	0.9	4.6306866	2576.41
Restrepo	k0+001	Raveling	19	Baja	1.7	2.3	3.9	4.5840955	-74.104117
Restrepo	k0+008	Raveling	19	Baja	1.3	0.8	1.0	4.5840357	-74.104119
Restrepo	k0+026	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.8	0.0	0.8	4.5838512	-74.104119
Restrepo	k0+008	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	3.2	0.0	3.2	4.5840224	-74.104145
Restrepo	k0+010	Longitudinal and Transverse Cracking	10	Baja	0.7	0.0	0.7	4.583984	-74.104145
Villa Luz	k0+035	Patching and Utility Cut Patching	11	Baja	1.8	1.7	3.0	4.6817671	2574.41
Villa Luz	k0+047	Patching and Utility Cut Patching	11	Baja	1.7	1.6	2.7	4.6817021	2574.75
Villa Luz	k0+052	Raveling	19	Baja	1.8	0.9	1.6	4.6816725	2574.54
Villa Luz	k0+056	Raveling	19	Media	1.1	0.7	0.8	4.6816446	2574.36
Villa Luz	k0+063	Raveling	19	Baja	0.5	0.4	0.2	4.6816108	2574.26



Evaluación del desempeño de cuatro tramos experimentales y de las mezclas asfálticas de prueba respectivas, después de cinco años de operación en la malla vial de la ciudad de Bogotá

Valores PCI y Clasificación											
Tramo	Unidad de muestra	PCI Unidad de muestra	Clasificación ASTM 6433	Clasificación IDU			PCI Promedio	Clasificación ASTM 6433	Clasificación IDU		
Villa Luz	1	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	96.8	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	94	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	93	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
Restrepo	1	89	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	95.8	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	94	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
Puente Aranda	1	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	96.2	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	88	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	97	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	5	96	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
Cundinamarca	1	90	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario	90	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario
	2	78	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	3	100	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					
	4	92	Bueno	A	Excelente	Mantenimiento rutinario					

I. Anexo I Selección cuencos representativos

ANEXO J Selección cuencos representativos

En este anexo se muestran los cálculos realizados para seleccionar los cuencos de deflexión representativos de cada uno de los tramos de análisis.

J.1 Total cuencos medidos

Se muestra la totalidad de los cuencos evaluados para cada uno de los cuatro tramos experimentales.

J.2 Comparación de los golpes empleados

Se muestra una comparación porcentual entre los golpes realizados a 40 kN y el realizado a 50kN

J.3 Diferencias acumuladas

Se muestra las deflexiones evaluadas por el método de diferencias acumuladas para determinar posibles zonas con comportamiento diferencial.

J.4 Descarte de singularidades y datos atípicos por sector

Se muestra la evaluación realizada a los datos por sectores homogéneos realizando el descarte de las zonas con valores atípicos.

J.5 Análisis de módulos de superficie

Se realiza un cálculos de los módulos de superficie de cada punto evaluado y se determinan las zonas de comportamiento atípico.

Datos totales deflexiones Tramo experimental Villa Luz



Condiciones de medida FWD: en cada punto de evaluación se realizaron de 4 golpes: golpe 0 (inicial) de asentamiento para acomodar los geófonos (no se guarda) Golpe 1 y Golpe 2 a 40kN y el Golpe 3 a 50kN, para la prueba se empleó un plato de carga de 15 cm de radio. Se realiza la comparación entre pares de geófonos para corroborar que el cuenco de deflexiones decrezca adecuadamente los cuales se indican que "Cumple" se verifica además que las deflexiones en cada geófono estén en los rangos adecuados de medición para estos (20µm a 2000µm)

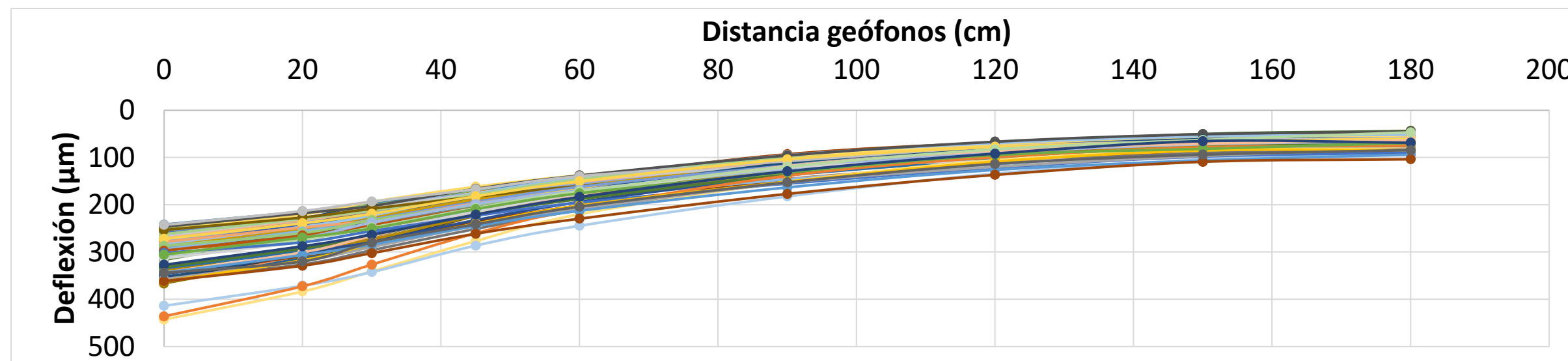
Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)							Singularidades	
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120	120-150		150-180
1	40kN	Villa Luz	0	287	252	231	191	159	109	77	56	51	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Villa Luz	5	248	218	197	170	146	104	79	61	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
1	40kN	Villa Luz	11	280	269	249	211	177	127	92	75	66	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Villa Luz	15	281	241	214	178	157	109	81	56	59	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
1	40kN	Villa Luz	20	274	246	218	182	154	113	83	67	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	25	271	240	220	179	152	107	81	66	53	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	30	257	228	198	164	139	100	73	59	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	35	285	252	221	180	145	93	69	58	44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	40	265	234	213	180	147	101	89	85	77	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	45	367	312	287	223	183	120	86	69	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Villa Luz	50	353	314	287	240	205	150	110	85	72	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Villa Luz	55	248	218	204	169	140	98	69	50	44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	60	255	229	214	184	165	124	96	77	69	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	65	361	306	269	215	173	112	80	61	57	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Villa Luz	70	297	263	241	202	172	126	98	78	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	75	295	261	233	197	164	120	88	70	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	80	285	252	234	201	175	134	104	84	76	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	85	247	219	199	169	142	106	78	64	58	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	90	276	244	225	186	153	106	77	64	58	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Villa Luz	95	296	271	248	216	187	145	113	90	92	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Villa Luz	100	290	267	239	202	172	128	95	80	71	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	0	287	250	226	189	158	109	75	57	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	5	242	214	195	167	143	102	79	60	58	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	11	316	267	245	207	174	127	90	72	64	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	15	276	237	203	176	155	106	77	68	47	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	20	269	233	212	177	151	111	82	69	61	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	25	266	229	206	177	149	114	83	65	54	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	30	254	221	194	162	138	99	73	59	54	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	35	282	246	223	177	143	95	70	55	52	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	40	262	230	212	178	146	101	90	83	77	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	45	358	305	278	223	178	119	84	67	62	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	50	345	308	279	236	202	149	113	84	72	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	55	246	218	202	166	138	96	66	50	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	60	253	227	208	183	160	127	99	79	71	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	65	354	302	264	211	170	112	79	61	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Villa Luz	70	293	259	237	199	170	126	98	80	66	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	75	291	259	231	194	162	118	88	69	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	80	279	248	234	197	172	133	105	82	79	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	85	243	213	193	167	140	108	77	64	58	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	90	272	239	219	182	150	104	78	67	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Villa Luz	95	295	257	241	213	187	146	114	91	85	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	

Datos totales deflexiones Tramo experimental Villa Luz

Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)						Singularidades			
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120		120-150	150-180	
2	40kN	Villa Luz	100	287	260	232	200	170	126	95	76	71	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple		
3	50kN	Villa Luz	0	347	301	278	232	194	137	94	68	71	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
3	50kN	Villa Luz	5	297	265	243	207	175	130	94	73	72	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Villa Luz	11	357	326	296	251	212	152	111	91	76	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Villa Luz	15	339	293	273	223	185	136	100	75	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
3	50kN	Villa Luz	20	334	297	262	219	187	137	105	81	76	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	25	332	293	266	220	188	136	99	78	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	30	309	270	238	199	169	123	90	72	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	35	343	301	266	219	178	118	85	70	64	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	40	313	279	256	215	176	121	108	99	90	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	45	443	384	341	277	220	151	105	84	81	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Villa Luz	50	414	371	342	287	244	182	134	104	92	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Villa Luz	55	307	274	248	207	171	119	83	63	47	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	60	302	279	256	223	195	155	122	98	89	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	65	436	372	327	260	209	138	99	78	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Villa Luz	70	358	319	290	245	209	153	120	96	81	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	75	362	318	284	240	202	151	108	85	84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	80	344	306	284	245	213	163	126	106	94	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	85	306	269	250	209	176	131	95	81	69	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	90	327	288	264	221	184	129	92	65	69	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Villa Luz	95	362	329	302	261	229	177	137	109	104	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Villa Luz	100	344	320	280	241	204	152	114	94	84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	

Estadísticas Villa Luz										
Media	306	270	245	205	173	125	93	74	68	
Desviación	46.4	40.3	36.1	29.2	24.7	20.5	16.3	13.9	13.3	
Coefficiente de variación	15%	15%	15%	14%	14%	16%	18%	19%	20%	
Cantidad de datos	63									

Gráfico deflexiones por geófono totales



Datos totales deflexiones Tramo experimental Restrepo



Condiciones de medida FWD: en cada punto de evaluación se realizaron de 4 golpes: golpe0 de asentamiento para acomodar los geófonos (no se guarda) Golpe 1 y Golpe 2 a 40kN y el Golpe 3 a 50kN, para la prueba se empleó un plato de carga de 15 cm de radio. Se realiza la comparación entre pares de geófonos para corroborar que el cuenco de deflexiones decrezca adecuadamente los cuales se indican que "Cumple" se verifica además que las deflexiones en cada geófono estén en los rangos adecuados de medición para estos (20µm a 2000µm)

Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)						Singularidades		
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120		120-150	150-180
1	40kN	Restrepo	0	579	496	444	346	265	155	80	42	38	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Restrepo	5	391	316	275	213	160	91	54	42	32	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	10	511	441	343	247	174	97	50	50	32	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	15	374	313	268	211	160	89	56	39	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	20	500	430	366	280	209	118	68	46	41	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	25	388	321	274	209	152	86	49	38	37	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	30	385	339	292	225	170	99	59	45	36	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	35	302	268	230	181	142	88	53	36	31	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	40	524	425	360	264	189	111	59	44	51	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Restrepo	45	320	261	243	191	147	85	48	36	25	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	50	438	362	318	242	181	100	56	42	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Restrepo	55	402	349	318	254	197	120	69	46	34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	60	350	290	253	186	135	69	38	27	24	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	65	341	292	257	197	147	80	45	27	28	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Restrepo	70	298	248	217	162	116	69	40	27	23	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	75	490	405	351	257	174	81	42	35	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Restrepo	80	204	153	135	105	84	57	42	29	20	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Restrepo	0	569	493	435	343	262	153	80	41	50	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
2	40kN	Restrepo	5	384	316	271	210	158	87	53	43	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	10	507	421	336	243	172	98	50	51	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	15	369	306	264	209	159	87	55	41	31	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	20	527	426	360	276	203	117	64	46	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	25	379	315	270	206	150	86	50	39	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	30	432	334	284	219	167	97	59	44	34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	35	297	261	226	179	141	86	53	36	29	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	40	514	415	350	260	190	106	59	37	48	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Restrepo	45	315	257	238	189	145	84	48	36	20	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	50	430	359	310	238	177	99	53	40	29	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Restrepo	55	393	329	307	249	194	120	69	47	37	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	60	343	285	251	185	131	73	39	25	31	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Restrepo	65	331	277	248	194	146	81	39	29	26	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	70	295	246	215	162	121	70	43	29	27	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Restrepo	75	485	399	349	253	173	79	43	36	37	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Restrepo	80	198	149	132	104	83	56	39	28	22	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Restrepo	0	734	628	551	434	332	192	102	54	52	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Restrepo	5	450	373	320	249	189	108	69	53	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	10	611	471	373	280	211	110	65	48	49	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Restrepo	15	437	355	317	249	191	115	70	48	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	20	624	486	423	327	244	143	84	58	53	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	25	448	360	318	245	183	104	62	48	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	30	446	389	337	263	203	125	76	56	44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	

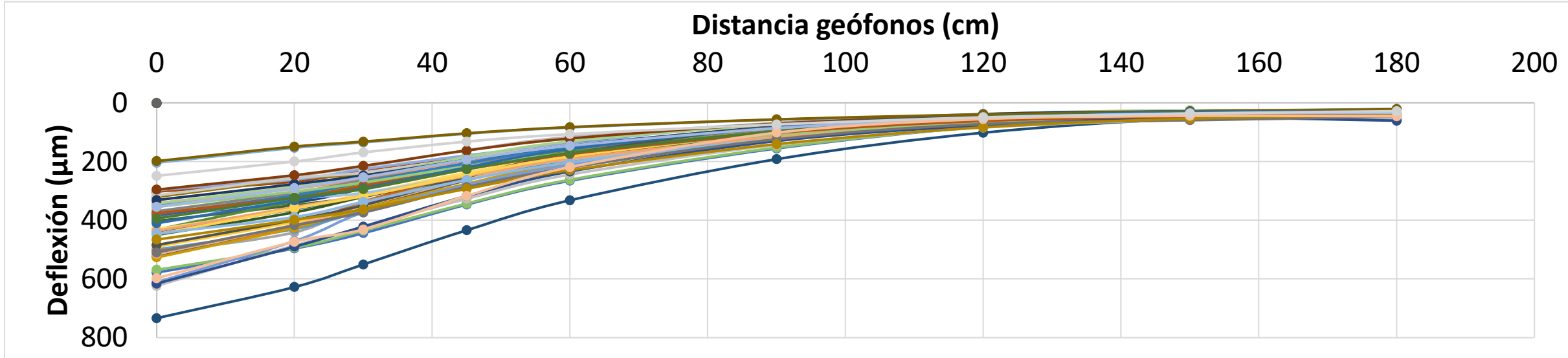
Datos totales deflexiones Tramo experimental Restrepo



Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)						Singularidades		
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120		120-150	150-180
3	50kN	Restrepo	35	354	302	271	216	170	108	66	45	35	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	40	616	490	422	318	234	130	76	50	61	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Restrepo	45	376	323	283	225	174	102	61	45	34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	50	510	417	374	287	220	124	72	59	46	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Restrepo	55	466	399	363	293	229	141	83	54	42	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	60	410	332	291	220	157	84	48	31	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	65	394	323	294	226	171	97	48	37	29	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	70	354	291	254	194	146	86	52	36	34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Restrepo	75	598	473	431	317	219	101	55	44	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Restrepo	80	249	199	169	132	106	74	49	36	28	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x

Estadísticas Villa Luz									
Media	424	351	305	235	176	100	58	41	35
Desviación	111.6	92.1	78.8	60.3	45.1	26.0	14.0	8.7	9.1
Coefficiente de variación	26%	26%	26%	26%	26%	26%	24%	21%	26%
Cantidad de datos	51								

Gráfico deflexiones por geófono totales



Datos totales deflexiones Tramo experimental Puente Aranda



Condiciones de medida FWD: en cada punto de evaluación se realizaron de 4 golpes: golpe0 de asentamiento para acomodar los geófonos (no se guarda) Golpe 1 y Golpe 2 a 40kN y el Golpe 3 a 50kN, para la prueba se empleó un plato de carga de 15 cm de radio. Se realiza la comparación entre pares de geófonos para corroborar que el cuenco de deflexiones decrezca adecuadamente los cuales se indican que "Cumple" se verifica además que las deflexiones en cada geófono estén en los rangos adecuados de medición para estos (20µm a 2000µm)

Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)								Singularidades	
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120	120-150	150-180		
1	40kN	Puente Aranda	0	729	554	469	317	212	109	77	64	66	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
1	40kN	Puente Aranda	1	611	467	359	239	160	87	64	54	68	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Puente Aranda	5	625	507	431	310	213	118	76	64	59	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	10	599	433	359	238	150	83	63	54	53	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	15	725	564	495	356	262	157	111	90	68	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	20	564	473	396	298	221	138	100	81	77	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	25	507	403	349	269	212	143	106	86	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	30	1049	745	588	388	264	143	98	86	82	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Puente Aranda	35	404	333	287	233	186	131	93	74	66	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	40	574	457	387	292	218	131	91	69	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	45	509	395	337	253	195	129	96	76	70	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	50	592	466	393	295	221	138	100	77	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Puente Aranda	55	610	500	431	326	246	145	104	75	83	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Puente Aranda	60	589	481	409	299	219	137	98	69	64	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	65	710	567	482	349	256	153	109	96	71	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	70	662	525	444	330	253	151	107	81	80	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	75	537	430	368	278	211	133	91	70	68	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	80	651	520	422	304	232	138	94	78	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	85	611	488	400	295	209	128	87	68	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	90	580	453	381	281	207	135	95	73	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	95	556	443	385	281	210	129	89	68	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	100	328	290	263	222	196	150	115	88	81	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Puente Aranda	105	590	453	379	277	201	122	88	67	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	110	692	535	452	327	239	152	110	92	81	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	115	607	479	404	302	217	138	95	81	71	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	120	720	535	459	339	250	157	112	92	77	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	125	589	486	422	329	246	155	106	84	76	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Puente Aranda	130	606	514	446	346	267	169	112	85	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Puente Aranda	0	711	572	455	313	211	111	77	64	60	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Puente Aranda	1	602	458	348	237	159	89	66	55	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Puente Aranda	5	607	499	422	303	210	116	76	64	61	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	10	593	441	355	235	150	86	62	54	51	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	15	710	551	487	353	260	158	111	89	68	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	20	559	450	385	295	220	134	104	81	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	25	495	403	342	265	209	143	106	84	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	30	1031	747	579	385	262	142	98	84	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Puente Aranda	35	396	328	284	228	183	130	91	71	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	40	561	440	385	291	219	131	91	71	69	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	45	502	388	333	252	193	133	98	76	73	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	50	579	454	384	291	215	137	100	77	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	55	601	499	428	325	244	147	104	78	82	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	

Datos totales deflexiones Tramo experimental Puente Aranda



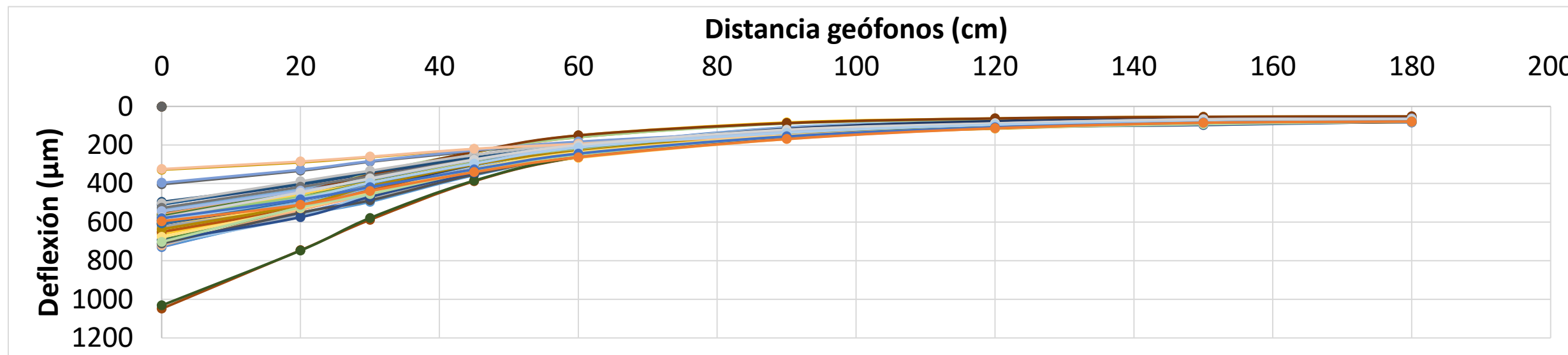
Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)						Singularidades		
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120		120-150	150-180
2	40kN	Puente Aranda	60	571	469	398	294	217	138	98	73	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	65	696	574	469	344	255	153	109	96	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	70	650	525	436	325	253	152	107	87	80	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	75	526	417	362	275	210	132	93	69	64	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	80	637	512	414	302	231	139	95	79	65	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	85	606	482	398	296	210	128	88	69	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	90	568	442	381	279	214	134	102	73	72	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	95	543	437	377	278	208	126	89	66	63	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	100	325	285	260	220	195	150	112	86	76	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Puente Aranda	105	577	446	374	276	201	121	87	67	67	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	110	677	528	446	324	238	152	110	90	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	115	593	478	396	296	213	136	95	79	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	120	702	523	455	335	250	155	112	92	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	125	580	482	419	327	245	155	108	84	78	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Puente Aranda	130	596	509	438	340	264	169	113	85	79	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Puente Aranda	0	852	674	549	382	253	146	99	84	79	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Puente Aranda	1	727	558	421	288	192	106	79	69	64	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	5	731	581	508	369	253	147	99	82	74	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	10	720	520	437	291	187	111	83	69	69	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Puente Aranda	15	840	665	577	426	306	198	140	110	94	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	20	677	543	471	362	272	169	112	97	86	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	25	596	482	414	325	257	176	132	105	92	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	30	1254	904	713	477	329	181	121	102	94	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Puente Aranda	35	482	388	346	281	224	162	113	86	75	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	40	678	533	465	355	263	166	116	92	91	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	45	611	463	408	310	239	167	122	97	90	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	50	697	545	466	355	257	174	126	96	91	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	55	725	555	515	393	296	180	128	99	90	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	60	691	558	482	359	270	177	129	100	83	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	65	822	687	553	408	304	188	136	117	89	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	70	787	634	528	397	312	191	135	108	99	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	75	636	501	438	335	256	164	115	85	81	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	80	763	606	497	365	273	175	124	94	80	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	85	722	566	474	354	251	160	110	87	84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	90	683	522	446	339	259	168	125	93	87	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	95	649	514	452	334	252	156	111	84	86	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Puente Aranda	100	404	346	318	273	240	189	142	105	95	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Puente Aranda	105	689	523	449	333	247	152	109	86	84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	110	806	604	526	389	290	190	131	110	97	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	115	699	548	472	353	255	167	119	99	90	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	120	826	606	542	406	304	194	144	118	97	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	125	694	563	503	394	298	192	133	106	97	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Puente Aranda	130	712	602	531	415	327	208	138	108	94	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x

Datos totales deflexiones Tramo experimental Puente Aranda

Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)						Singularidades
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120	

Estadísticas Villa Luz									
Media	644	507	430	318	235	147	104	83	76
Desviación	139.2	97.1	76.5	51.5	38.0	26.0	18.5	14.6	11.1
Coefficiente de variación	22%	19%	18%	16%	16%	18%	18%	18%	15%
Cantidad de datos	84								

Gráfico deflexiones por geófono totales



Datos totales deflexiones Tramo experimental Cundinamarca



Condiciones de medida FWD: en cada punto de evaluación se realizaron de 4 golpes: golpe0 de asentamiento para acomodar los geófonos (no se guarda) Golpe 1 y Golpe 2 a 40kN y el Golpe 3 a 50kN, para la prueba se empleó un plato de carga de 15 cm de radio. Se realiza la comparación entre pares de geófonos para corroborar que el cuenco de deflexiones decrezca adecuadamente los cuales se indican que "Cumple" se verifica además que las deflexiones en cada geófono estén en los rangos adecuados de medición para estos (20µm a 2000µm)

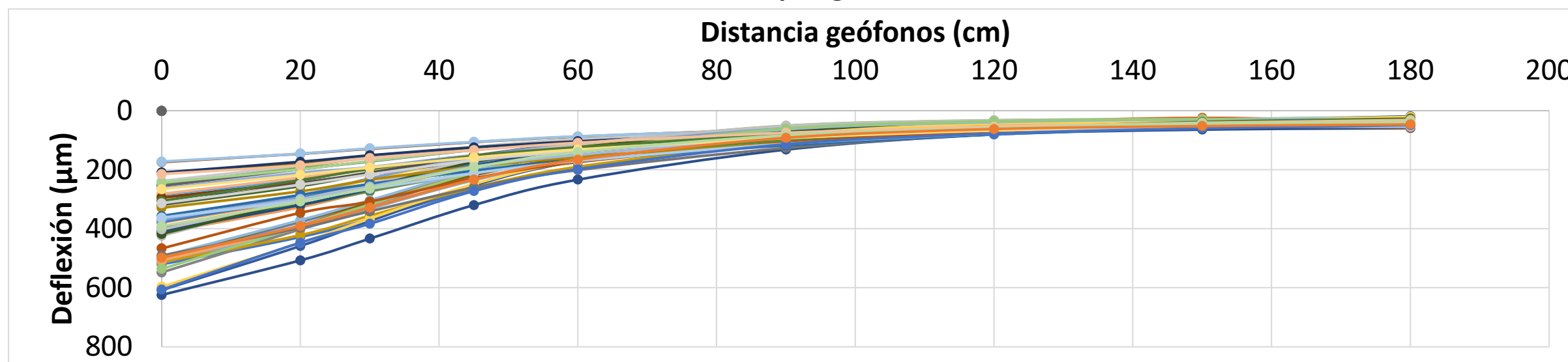
Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)							Singularidades	
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120	120-150		150-180
1	40kN	Cundinamarca	0	521	428	367	266	192	108	64	49	48	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
1	40kN	Cundinamarca	5	379	299	249	185	140	85	55	41	46	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
1	40kN	Cundinamarca	10	396	322	274	209	161	99	63	44	43	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	15	264	215	193	151	125	88	63	45	40	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	20	285	231	198	162	134	92	63	48	31	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	25	251	191	159	123	97	65	46	30	20	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	30	300	250	211	152	122	77	47	34	29	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	35	174	146	129	107	88	62	43	34	21	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	40	255	198	172	133	107	71	47	41	40	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	45	212	177	153	126	104	73	50	44	31	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	50	294	241	214	171	137	89	62	45	43	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	55	319	256	213	155	111	65	43	36	24	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	59	503	378	313	219	159	90	60	47	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	65	413	327	271	189	134	71	48	42	34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	70	424	300	260	176	125	66	44	37	44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Cundinamarca	75	375	290	234	160	113	60	38	32	27	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	80	516	401	332	235	166	83	52	39	36	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	85	407	309	251	168	114	51	32	29	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
1	40kN	Cundinamarca	90	608	459	374	253	171	80	45	36	19	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
1	40kN	Cundinamarca	95	500	389	308	205	136	64	40	24	36	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
1	40kN	Cundinamarca	100	548	401	325	214	139	62	36	31	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
2	40kN	Cundinamarca	0	513	421	356	261	190	106	65	49	47	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
2	40kN	Cundinamarca	5	377	296	247	183	140	86	56	42	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
2	40kN	Cundinamarca	10	394	319	272	209	161	99	63	44	44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	15	263	211	191	150	124	87	64	44	41	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	20	282	227	198	161	132	93	64	46	32	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	25	238	185	157	122	97	64	40	29	22	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	30	297	244	208	151	120	73	46	34	29	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	35	172	145	127	106	87	64	43	33	24	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	40	244	198	171	132	107	72	46	37	40	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Cundinamarca	45	209	173	151	124	103	72	52	43	29	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	50	294	245	215	170	137	91	62	48	46	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	55	317	247	210	153	111	64	41	36	24	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	59	498	373	311	218	159	90	60	48	40	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	65	408	319	266	187	133	71	48	42	33	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	70	418	304	256	174	124	67	45	38	44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Cundinamarca	75	371	287	229	157	111	60	38	33	27	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	80	507	397	327	233	164	83	51	39	36	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	85	402	301	248	166	113	51	33	29	30	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
2	40kN	Cundinamarca	90	597	447	366	249	168	80	44	38	21	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
2	40kN	Cundinamarca	95	493	371	304	203	141	64	38	29	31	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x

Datos totales deflexiones Tramo experimental Cundinamarca

Golpe	Carga	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Verificación (Decrece módulo)						Singularidades		
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0-20	20-30	30-45	45-60	60-90	90-120		120-150	150-180
2	40kN	Cundinamarca	100	536	392	318	211	138	61	36	29	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
3	50kN	Cundinamarca	0	624	507	433	320	234	132	80	64	59	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	x
3	50kN	Cundinamarca	5	467	346	308	229	175	108	70	51	58	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
3	50kN	Cundinamarca	10	491	397	341	260	201	126	79	55	55	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	15	329	273	234	189	157	111	78	57	53	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	20	357	285	249	203	168	118	80	58	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	25	306	235	198	153	124	81	58	38	26	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	30	363	299	257	190	150	91	58	43	37	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	35	215	185	161	134	109	75	54	41	32	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	40	314	250	216	168	137	91	60	46	45	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	45	266	217	193	159	131	92	67	53	39	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	50	363	304	265	212	170	112	78	55	54	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	55	391	308	262	192	140	83	58	43	37	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	59	606	447	383	272	198	113	78	60	49	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	65	498	391	329	233	166	92	62	52	46	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	70	515	382	319	219	157	85	57	47	56	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Cundinamarca	75	454	347	285	196	139	74	48	37	41	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Cundinamarca	80	617	472	402	289	205	107	66	50	48	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	85	488	366	302	205	140	64	41	35	35	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	
3	50kN	Cundinamarca	90	717	538	445	306	209	103	55	47	32	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	
3	50kN	Cundinamarca	95	601	440	371	250	172	80	49	36	43	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x
3	50kN	Cundinamarca	100	643	463	388	258	170	77	46	38	49	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple	x

Estadísticas Villa Luz									
Media	403	314	265	192	143	83	54	42	38
Desviación	131.4	94.7	77.0	49.1	31.7	18.4	12.5	8.6	9.9
Coefficiente de variación	33%	30%	29%	26%	22%	22%	23%	21%	26%
Cantidad de datos	63								

Gráfico deflexiones por geófono totales



Diferencias entre Golpes aplicados tramo Villa Luz

Tramo	Abscisa	Diferencia porcentual entre golpe 1 y 2 (40 kN)								
		0	20	30	45	60	90	120	150	180
Villa Luz	0	-0.1%	1.0%	2.1%	1.2%	0.7%	-0.2%	2.7%	-2.9%	-6.9%
Villa Luz	5	2.5%	1.7%	1.1%	1.5%	1.6%	2.6%	-1.0%	1.2%	7.8%
Villa Luz	15	1.9%	1.6%	5.4%	1.2%	1.3%	3.1%	4.6%	-21.6%	20.0%
Villa Luz	20	1.8%	5.2%	2.7%	2.5%	1.8%	2.3%	1.0%	-3.0%	3.5%
Villa Luz	25	1.8%	4.3%	6.3%	1.4%	2.0%	-6.2%	-2.4%	2.3%	-2.7%
Villa Luz	30	1.4%	3.1%	2.1%	1.1%	0.8%	1.1%	0.4%	0.0%	1.5%
Villa Luz	35	0.9%	2.4%	-0.8%	1.8%	1.7%	-2.4%	-1.5%	4.2%	-18.3%
Villa Luz	40	1.1%	2.1%	0.6%	0.9%	0.7%	-0.1%	-1.0%	1.4%	0.0%
Villa Luz	45	2.5%	2.4%	3.0%	0.4%	2.7%	0.9%	2.3%	2.5%	2.4%
Villa Luz	50	2.0%	1.9%	2.5%	1.8%	1.4%	1.1%	-2.0%	1.3%	-0.7%
Villa Luz	55	0.6%	0.1%	0.8%	1.5%	1.1%	2.0%	4.2%	-0.4%	-3.2%
Villa Luz	60	0.8%	1.0%	2.4%	0.9%	2.8%	-1.9%	-2.3%	-2.6%	-3.5%
Villa Luz	65	2.0%	1.4%	1.9%	1.8%	1.4%	0.2%	1.3%	-0.3%	-4.2%
Villa Luz	70	1.2%	1.3%	1.9%	1.4%	1.3%	-0.1%	-0.7%	-2.0%	-0.9%
Villa Luz	75	1.5%	0.7%	0.9%	1.3%	0.9%	1.7%	-0.1%	0.6%	5.6%
Villa Luz	80	2.3%	1.7%	0.1%	1.8%	1.4%	0.7%	-0.1%	3.1%	-3.4%
Villa Luz	85	1.8%	2.6%	2.8%	1.2%	1.8%	-1.7%	1.3%	-1.3%	0.0%
Villa Luz	90	1.4%	2.1%	2.5%	1.9%	1.6%	2.4%	-1.3%	-4.6%	-3.1%
Villa Luz	95	0.5%	5.2%	2.7%	1.2%	0.2%	-0.8%	-0.8%	-0.2%	8.0%
Villa Luz	100	0.9%	2.5%	2.7%	1.2%	1.2%	1.6%	0.1%	4.9%	-0.4%

Diferencia porcentual entre promedio (golpe 1 y 2) y golpe 3									
0	20	30	45	60	90	120	150	180	
0%	-1%	-1%	-1%	-1%	44%	57%	67%	71%	68%
3%	2%	1%	2%	3%	-1%	5%	3%	5%	
2%	2%	-5%	-1%	5%	-2%	-2%	3%	-17%	
2%	1%	3%	2%	2%	-2%	4%	1%		
1%	0%	0%	1%	0%	1%	3%	4%	0%	
3%	4%	3%	2%	2%	0%	2%	2%	4%	
3%	4%	4%	2%	1%	-1%	2%	0%	-7%	
5%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	5%	6%	
2%	1%	3%	1%	2%	-1%	0%	2%	-4%	
5%	5%	3%	4%	4%	2%	4%	2%	-2%	
1%	0%	3%	2%	2%	2%	5%	0%	15%	
5%	2%	4%	3%	5%	0%	-1%	-2%	-4%	
3%	3%	3%	3%	3%	1%	3%	1%	-3%	-5%
4%	3%	4%	3%	3%	2%	2%	1%	0%	
2%	3%	3%	3%	1%	-1%	1%	2%	-1%	
4%	3%	3%	2%	2%	2%	3%	-1%	2%	
1%	1%	-1%	1%	1%	1%	3%	-2%	5%	
5%	6%	6%	5%	4%	3%	4%	18%	6%	
2%	3%	2%	3%	2%	2%	4%	3%	10%	
5%	4%	6%	5%	5%	5%	5%	6%	4%	

Diferencias entre Golpes aplicados tramo Restrepo

Tramo	Abscisa	Diferencia porcentual entre golpe 1 y 2 (40 kN)									
		0	20	30	45	60	90	120	150	180	
Restrepo	0	1.7%	0.5%	1.9%	0.9%	1.2%	1.7%	0.2%	1.2%	-30.8%	
Restrepo	5	1.8%	0.2%	1.7%	1.3%	1.3%	5.0%	2.4%	-0.9%	7.7%	
Restrepo	10	0.7%	4.5%	2.0%	1.9%	1.3%	-1.6%	0.4%	-2.0%	4.7%	
Restrepo	15	1.3%	2.4%	1.5%	1.1%	0.8%	1.4%	2.1%	-5.1%	-4.4%	
Restrepo	20	-5.4%	0.9%	1.6%	1.4%	3.0%	0.9%	5.6%	0.7%	6.1%	
Restrepo	25	2.2%	2.0%	1.7%	1.7%	1.2%	0.5%	-2.1%	-2.1%	17.2%	
Restrepo	30	-12.3%	1.4%	2.7%	2.7%	1.5%	2.5%	1.5%	0.9%	6.4%	
Restrepo	35	1.9%	2.6%	1.6%	1.3%	1.1%	2.2%	0.9%	0.0%	4.6%	
Restrepo	40	1.9%	2.4%	2.7%	1.4%	-0.3%	4.7%	0.3%	16.0%	5.1%	
Restrepo	45	1.6%	1.6%	2.0%	1.5%	1.5%	1.6%	-0.4%	-1.1%	18.1%	
Restrepo	50	1.8%	0.7%	2.5%	1.7%	1.8%	1.6%	5.9%	5.9%	3.7%	
Restrepo	55	2.4%	5.7%	3.4%	2.1%	1.8%	0.3%	0.3%	-2.0%	-7.6%	
Restrepo	60	2.3%	1.8%	1.0%	0.9%	3.2%	-6.0%	-1.9%	7.1%	-28.8%	
Restrepo	65	2.9%	5.4%	3.7%	1.4%	0.9%	-0.5%	15.0%	-5.1%	4.7%	
Restrepo	70	0.8%	0.8%	0.9%	-0.2%	-4.7%	-1.9%	-9.6%	-7.1%	-19.4%	
Restrepo	75	1.1%	1.6%	0.5%	1.5%	0.5%	2.0%	-1.4%	-2.3%	-25.4%	

Diferencia porcentual entre promedio (golpe 1 y 2) y golpe 3										
0	20	30	45	60	90	120	150	180		
-2%	-1%	0%	-1%	-1%	0%	-1%	-5%	7%		
7%	5%	6%	6%	5%	3%	-3%	0%	-2%		
4%	13%	12%	9%	2%	10%	-4%	23%	-25%		
6%	8%	5%	5%	4%	-5%	0%	4%	-3%		
3%	9%	7%	6%	5%	2%	-2%	-1%	-6%		
7%	9%	6%	5%	3%	3%	0%	2%	7%		
13%	8%	6%	5%	4%	-2%	-3%	0%	-2%		
5%	9%	5%	4%	1%	4%	0%	-1%	5%		
5%	7%	5%	3%	1%	4%	-4%	1%	2%		
5%	0%	6%	5%	4%	3%	-2%	0%	-20%		
6%	7%	5%	4%	1%	0%	-5%	-15%	-27%		
6%	6%	7%	7%	6%	6%	3%	8%	7%		
5%	8%	8%	5%	6%	5%	0%	5%	13%		
6%	9%	7%	7%	7%	3%	10%	-4%	15%		
4%	6%	6%	4%	2%	2%	-1%	-2%	-9%		
2%	7%	2%	1%	-1%	0%	-5%	-1%	-23%		

Diferencias entre Golpes aplicados tramo Puente Aranda

Tramo	Abscisa	Diferencia porcentual entre golpe 1 y 2 (40 kN)								
		0	20	30	45	60	90	120	150	180
Puente Aranda	0	2.4%	-3.3%	3.1%	1.3%	0.4%	-1.5%	0.6%	-0.7%	10.3%
Puente Aranda	1	1.5%	1.8%	3.2%	0.8%	0.3%	-2.7%	-2.2%	-2.2%	4.5%
Puente Aranda	5	2.8%	1.7%	2.1%	2.3%	1.3%	1.0%	0.8%	-0.5%	-2.2%
Puente Aranda	10	1.0%	-1.9%	1.2%	1.4%	0.5%	-3.7%	1.6%	-0.6%	3.8%
Puente Aranda	15	2.0%	2.4%	1.6%	1.1%	0.8%	-0.6%	-0.2%	0.8%	0.6%
Puente Aranda	20	0.9%	4.8%	2.8%	0.8%	0.2%	3.0%	-4.3%	-0.2%	12.7%
Puente Aranda	25	2.4%	0.0%	1.9%	1.4%	1.6%	0.1%	-0.4%	2.6%	0.8%
Puente Aranda	30	1.6%	-0.2%	1.6%	0.8%	0.8%	1.0%	0.3%	2.3%	5.0%
Puente Aranda	35	2.0%	1.6%	1.0%	2.3%	1.6%	0.8%	2.2%	3.5%	0.6%
Puente Aranda	40	2.3%	3.7%	0.5%	0.3%	-0.4%	-0.5%	-0.8%	-2.6%	-8.7%
Puente Aranda	45	1.4%	1.7%	1.1%	0.4%	0.9%	-3.3%	-2.0%	-0.5%	-4.4%
Puente Aranda	50	2.2%	2.6%	2.3%	1.4%	2.7%	1.2%	0.7%	0.1%	3.2%
Puente Aranda	55	1.4%	0.3%	0.6%	0.4%	1.1%	-0.9%	0.2%	-3.7%	1.8%
Puente Aranda	60	3.0%	2.5%	2.6%	1.8%	1.1%	-0.8%	0.0%	-5.7%	-3.3%
Puente Aranda	65	2.0%	-1.3%	2.6%	1.5%	0.6%	-0.5%	0.1%	-0.4%	-9.3%
Puente Aranda	70	1.7%	-0.1%	1.9%	1.5%	0.1%	-0.5%	-0.8%	-7.2%	0.4%
Puente Aranda	75	2.1%	3.0%	1.8%	0.9%	0.3%	0.5%	-2.4%	2.1%	6.0%
Puente Aranda	80	2.2%	1.5%	1.8%	0.9%	0.1%	-0.3%	-0.7%	-1.7%	-3.2%
Puente Aranda	85	0.8%	1.1%	0.4%	-0.4%	-0.6%	0.2%	-1.6%	-0.9%	-1.7%
Puente Aranda	90	1.9%	2.4%	0.0%	0.9%	-3.2%	0.3%	-6.9%	1.0%	-10.0%
Puente Aranda	95	2.3%	1.4%	2.1%	1.0%	1.0%	2.3%	0.7%	2.9%	5.6%
Puente Aranda	100	1.1%	1.5%	1.0%	1.2%	0.5%	-0.3%	2.1%	2.0%	5.8%
Puente Aranda	105	2.2%	1.5%	1.5%	0.4%	0.0%	1.2%	0.6%	-0.9%	-7.7%
Puente Aranda	110	2.2%	1.3%	1.5%	0.8%	0.5%	0.0%	0.5%	2.1%	3.5%
Puente Aranda	115	2.3%	0.3%	1.9%	1.7%	2.0%	1.1%	-0.1%	2.0%	-5.6%
Puente Aranda	120	2.5%	2.3%	0.9%	1.0%	0.3%	0.9%	0.1%	-0.4%	-0.8%
Puente Aranda	125	1.5%	0.8%	0.9%	0.9%	0.7%	-0.1%	-1.6%	-0.8%	-2.6%
Puente Aranda	130	1.8%	1.0%	1.8%	1.6%	1.2%	0.1%	-0.5%	-0.1%	-0.5%

Diferencia porcentual entre promedio (golpe 1 y 2) y golpe 3									
0	20	30	45	60	90	120	150	180	
5%	4%	5%	3%	4%	-6%	-3%	-4%	0%	
4%	4%	5%	3%	4%	4%	3%	-1%	23%	
5%	8%	5%	4%	4%	-1%	-4%	-3%	1%	
3%	5%	2%	2%	1%	-5%	-7%	-3%	-7%	
7%	6%	7%	4%	6%	-1%	-1%	2%	-10%	
4%	8%	5%	3%	1%	2%	10%	4%	10%	
6%	4%	5%	3%	3%	2%	0%	3%	6%	
4%	3%	3%	2%	0%	-1%	1%	5%	9%	
4%	7%	4%	3%	3%	1%	3%	7%	9%	
6%	7%	4%	3%	4%	-2%	-3%	-7%	-15%	
4%	6%	3%	2%	2%	-4%	-2%	-2%	-2%	
6%	6%	5%	4%	7%	-1%	-1%	0%	6%	
5%	11%	4%	4%	4%	1%	2%	-5%	13%	
6%	7%	6%	4%	1%	-4%	-5%	-16%	-3%	
7%	3%	8%	7%	5%	1%	0%	2%	1%	
5%	3%	5%	4%	2%	-1%	-2%	-7%	1%	
5%	7%	5%	4%	3%	1%	-1%	2%	4%	
6%	7%	6%	4%	6%	-1%	-5%	3%	-2%	
5%	7%	5%	4%	4%	0%	-1%	-2%	-3%	
6%	8%	6%	3%	0%	0%	-5%	-1%	-6%	
7%	7%	6%	5%	4%	3%	0%	1%	-4%	
2%	4%	3%	2%	2%	-1%	1%	5%	6%	
7%	8%	5%	4%	2%	0%	0%	-3%	-7%	
7%	10%	7%	5%	3%	0%	5%	4%	3%	
8%	8%	6%	6%	6%	3%	0%	2%	-1%	
8%	9%	6%	4%	3%	1%	-3%	-3%	0%	
6%	7%	5%	4%	3%	1%	0%	-1%	-2%	
6%	6%	5%	4%	2%	1%	1%	-2%	4%	

Diferencias entre Golpes aplicados tramo Cundinamarca

Tramo	Abscisa	Diferencia porcentual entre golpe 1 y 2 (40 kN)									
		0	20	30	45	60	90	120	150	180	
Cundinamarca	0	1.5%	1.6%	3.1%	1.8%	1.0%	1.8%	-2.6%	-0.7%	2.0%	
Cundinamarca	5	0.7%	1.0%	0.6%	1.0%	0.3%	-0.7%	-1.3%	-1.5%	1.8%	
Cundinamarca	10	0.6%	0.9%	0.8%	0.3%	0.2%	-0.2%	-0.5%	-0.5%	-1.6%	
Cundinamarca	15	0.5%	2.1%	0.8%	0.5%	0.8%	1.0%	-1.8%	4.2%	-2.0%	
Cundinamarca	20	0.9%	2.0%	-0.1%	0.6%	0.8%	-0.4%	-1.1%	4.0%	-4.2%	
Cundinamarca	25	5.3%	2.8%	0.9%	0.9%	0.0%	0.9%	13.2%	2.3%	-8.5%	
Cundinamarca	30	1.0%	2.0%	1.3%	0.7%	1.7%	5.6%	3.4%	0.3%	1.0%	
Cundinamarca	35	1.0%	0.4%	1.2%	0.9%	0.8%	-2.4%	0.5%	3.5%	-14.1%	
Cundinamarca	40	4.3%	0.1%	0.8%	0.4%	0.8%	-0.3%	3.2%	10.2%	1.0%	
Cundinamarca	45	1.0%	2.4%	1.0%	1.0%	0.9%	0.5%	-3.8%	1.4%	7.3%	
Cundinamarca	50	0.0%	-1.4%	-0.4%	0.1%	-0.1%	-2.0%	-0.3%	-6.0%	-6.7%	
Cundinamarca	55	0.8%	3.6%	1.5%	1.5%	0.5%	1.5%	4.6%	0.3%	-2.1%	
Cundinamarca	59	1.1%	1.2%	0.7%	0.5%	0.2%	-0.2%	0.7%	-0.8%	-2.3%	
Cundinamarca	65	1.3%	2.3%	1.6%	1.0%	1.1%	0.6%	0.4%	-0.7%	2.7%	
Cundinamarca	70	1.5%	-1.3%	1.4%	1.0%	0.9%	-0.5%	-1.8%	-1.1%	-2.1%	
Cundinamarca	75	1.0%	1.3%	1.8%	1.9%	1.1%	-0.2%	-0.5%	-1.9%	-1.9%	
Cundinamarca	80	1.6%	1.1%	1.6%	1.1%	0.8%	-0.6%	1.3%	-1.3%	-1.1%	
Cundinamarca	85	1.2%	2.7%	0.9%	1.2%	0.8%	-0.4%	-0.9%	0.0%	-1.4%	
Cundinamarca	90	1.9%	2.5%	2.2%	1.7%	1.5%	0.2%	2.9%	-5.0%	-12.8%	
Cundinamarca	95	1.3%	4.7%	1.6%	1.1%	-3.4%	0.5%	4.5%	-22.0%	15.3%	
Cundinamarca	100	2.2%	2.2%	2.0%	1.5%	1.3%	1.6%	-0.3%	3.9%	0.3%	

Diferencia porcentual entre promedio (golpe 1 y 2) y golpe 3										
0	20	30	45	60	90	120	150	180		
3%	5%	4%	3%	2%	2%	1%	-4%	0%		
1%	7%	1%	0%	0%	-1%	-1%	1%	-2%		
1%	1%	0%	0%	0%	-2%	-1%	-1%	-1%		
0%	-3%	2%	0%	-1%	-2%	1%	-3%	-3%		
-1%	0%	0%	0%	-1%	-2%	-1%	0%	1%		
0%	0%	0%	0%	-2%	-1%	-8%	-3%	-2%		
3%	3%	2%	0%	1%	2%	1%	-1%	-3%		
1%	-2%	0%	-1%	0%	5%	-1%	2%	-11%		
-1%	-1%	-1%	-1%	-3%	-1%	-3%	6%	11%		
-1%	1%	-2%	-2%	-1%	-2%	-4%	2%	-2%		
1%	0%	1%	1%	1%	0%	-1%	5%	4%		
2%	4%	1%	1%	-1%	-2%	-8%	4%	-26%		
4%	5%	2%	1%	0%	-1%	-3%	-1%	0%		
4%	4%	3%	1%	1%	-3%	-3%	1%	-9%		
3%	-2%	2%	0%	-1%	-3%	-3%	0%	-2%		
3%	4%	3%	2%	1%	1%	-2%	6%	-22%		
4%	6%	3%	2%	1%	-4%	-2%	-3%	-7%		
4%	5%	4%	3%	2%	-1%	-1%	5%	5%		
6%	6%	5%	3%	2%	-2%	2%	-4%	-35%		
4%	10%	4%	2%	-1%	2%	-21%	6%	6%		
6%	8%	4%	3%	2%	0%	-3%	0%	-1%		

Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

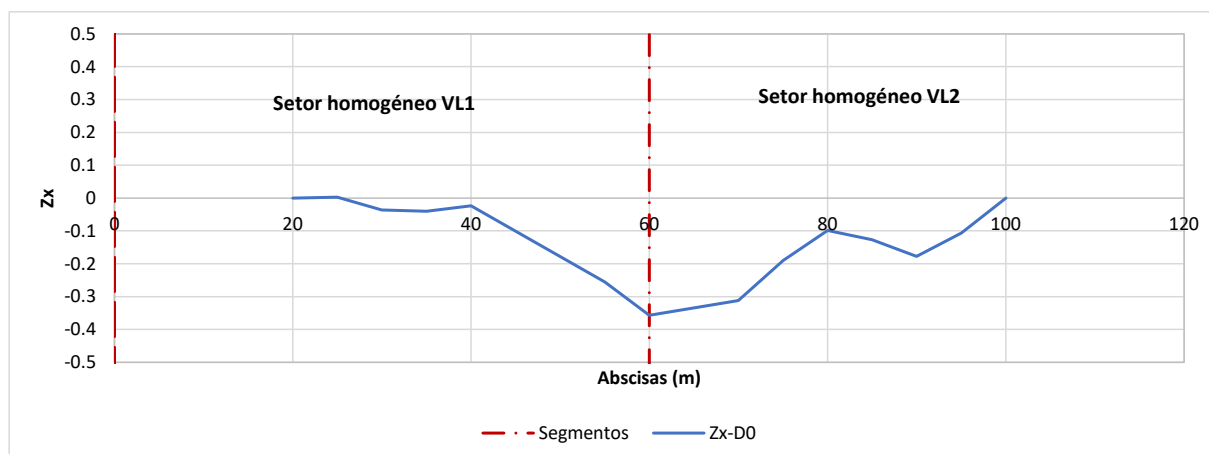
La sectorización por diferencias acumuladas se realizó empleando los valores tomados con carga de 40kN descontando singularidades.

Diferencias acumuladas geófono 0 tramo Villa Luz								
Abscisa	Deflexión	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	274	1	0.00	0.00	274.10	0.00	0.00	0.00
0+025	271	2	0.005	0.01	272.35	1.36	1.36	0.00
0+030	257	3	0.01	0.01	263.85	1.32	2.68	-0.04
0+035	285	4	0.01	0.02	271.05	1.36	4.04	-0.04
0+040	265	5	0.01	0.02	275.00	1.38	5.41	-0.02
0+055	248	6	0.02	0.04	256.35	3.85	9.26	-0.26
0+060	255	7	0.01	0.04	251.55	1.26	10.51	-0.36
0+070	297	8	0.01	0.05	276.20	2.76	13.28	-0.31
0+075	295	9	0.01	0.06	296.15	1.48	14.76	-0.19
0+080	285	10	0.01	0.06	290.15	1.45	16.21	-0.10
0+085	247	11	0.01	0.07	266.05	1.33	17.54	-0.13
0+090	276	12	0.01	0.07	261.55	1.31	18.85	-0.18
0+095	296	13	0.01	0.08	286.10	1.43	20.28	-0.11
0+100	290	14	0.01	0.08	293.00	1.47	21.74	0.00

A_t	21.74
-------	-------

F	271.77
---	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones centrales



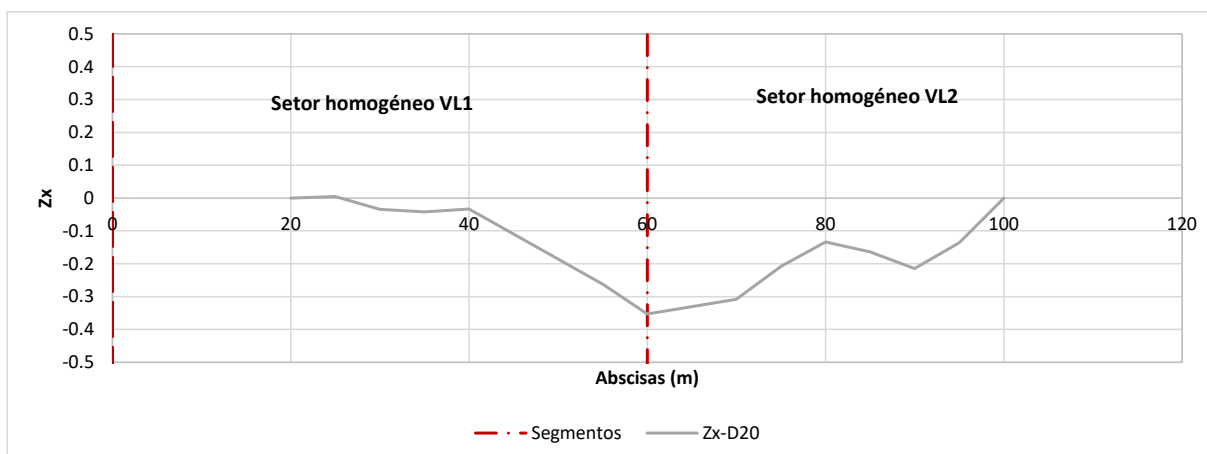
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 20cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz

Abscisa	D20	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	246	1	0.00	0.00	245.50	0.00	0.00	0.00
0+025	240	2	0.005	0.01	242.55	1.21	1.21	0.01
0+030	228	3	0.01	0.01	233.60	1.17	2.38	-0.03
0+035	252	4	0.01	0.02	239.95	1.20	3.58	-0.04
0+040	234	5	0.01	0.02	243.35	1.22	4.80	-0.03
0+055	218	6	0.02	0.04	226.20	3.39	8.19	-0.26
0+060	229	7	0.01	0.04	223.55	1.12	9.31	-0.35
0+070	263	8	0.01	0.05	245.90	2.46	11.77	-0.31
0+075	261	9	0.01	0.06	261.65	1.31	13.08	-0.21
0+080	252	10	0.01	0.06	256.40	1.28	14.36	-0.13
0+085	219	11	0.01	0.07	235.45	1.18	15.53	-0.16
0+090	244	12	0.01	0.07	231.40	1.16	16.69	-0.21
0+095	271	13	0.01	0.08	257.35	1.29	17.98	-0.14
0+100	267	14	0.01	0.08	268.55	1.34	19.32	0.00

A_t	19.32
F	241.51

Sectores Homogéneos Deflexiones a 20 cm del punto de aplicación de la carga



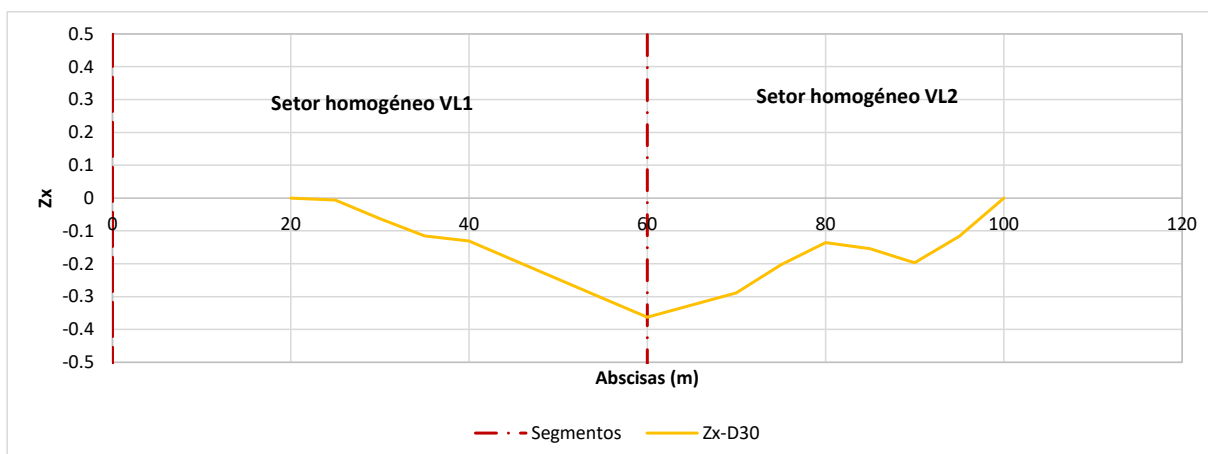
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 30cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D30	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	218	1	0.00	0.00	218.10	0.00	0.00	0.00
0+025	220	2	0.005	0.01	218.95	1.09	1.09	-0.01
0+030	198	3	0.01	0.01	208.90	1.04	2.14	-0.06
0+035	221	4	0.01	0.02	209.45	1.05	3.19	-0.12
0+040	213	5	0.01	0.02	217.05	1.09	4.27	-0.13
0+055	204	6	0.02	0.04	208.55	3.13	7.40	-0.30
0+060	214	7	0.01	0.04	208.75	1.04	8.44	-0.36
0+070	241	8	0.01	0.05	227.50	2.28	10.72	-0.29
0+075	233	9	0.01	0.06	237.30	1.19	11.91	-0.20
0+080	234	10	0.01	0.06	233.55	1.17	13.07	-0.14
0+085	199	11	0.01	0.07	216.30	1.08	14.15	-0.15
0+090	225	12	0.01	0.07	211.65	1.06	15.21	-0.20
0+095	248	13	0.01	0.08	236.30	1.18	16.39	-0.12
0+100	239	14	0.01	0.08	243.40	1.22	17.61	0.00

A_t	17.61
-------	-------

F	220.14
---	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 30 cm del punto de aplicación de la carga



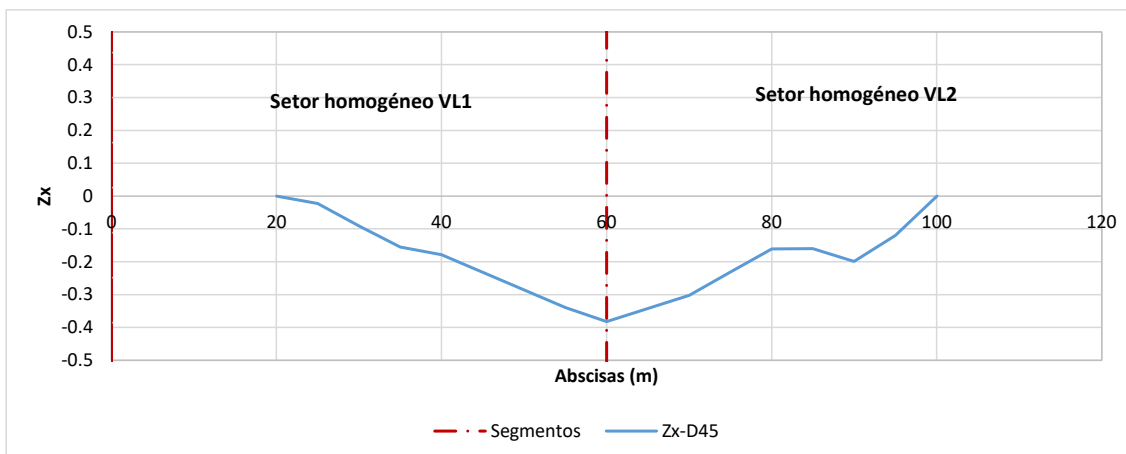
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 45cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D45	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	182	1	0.00	0.00	181.50	0.00	0.00	0.00
0+025	179	2	0.005	0.01	180.35	0.90	0.90	-0.02
0+030	164	3	0.01	0.01	171.40	0.86	1.76	-0.09
0+035	180	4	0.01	0.02	172.00	0.86	2.62	-0.16
0+040	180	5	0.01	0.02	180.15	0.90	3.52	-0.18
0+055	169	6	0.02	0.04	174.25	2.61	6.13	-0.34
0+060	184	7	0.01	0.04	176.40	0.88	7.02	-0.38
0+070	202	8	0.01	0.05	192.85	1.93	8.94	-0.30
0+075	197	9	0.01	0.06	199.20	1.00	9.94	-0.23
0+080	201	10	0.01	0.06	198.90	0.99	10.93	-0.16
0+085	169	11	0.01	0.07	185.00	0.93	11.86	-0.16
0+090	186	12	0.01	0.07	177.30	0.89	12.75	-0.20
0+095	216	13	0.01	0.08	200.60	1.00	13.75	-0.12
0+100	202	14	0.01	0.08	208.95	1.04	14.79	0.00

A_t	14.79
-------	-------

F	184.92
---	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 45 cm del punto de aplicación de la carga



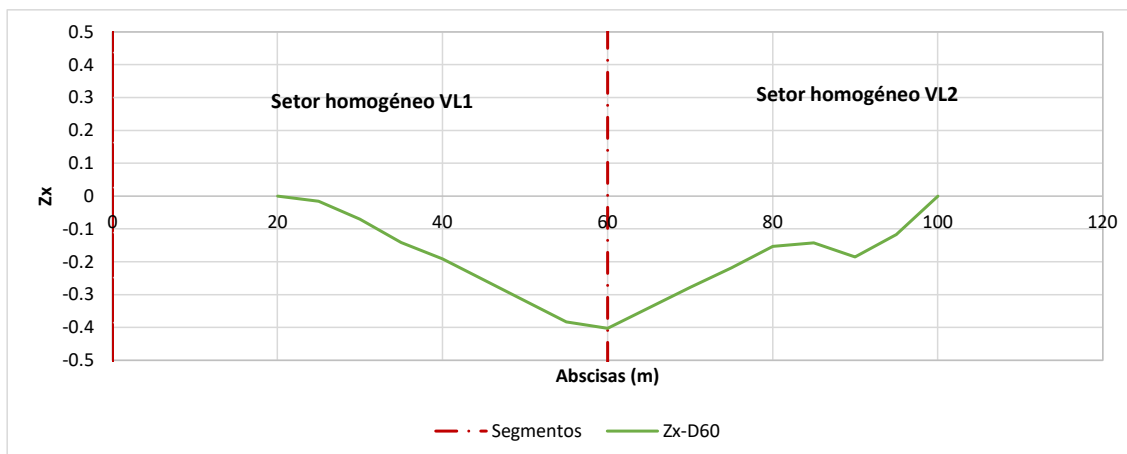
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 60cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D60	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	154	1	0.00	0.00	154.00	0.00	0.00	0.00
0+025	152	2	0.005	0.01	152.95	0.76	0.76	-0.02
0+030	139	3	0.01	0.01	145.30	0.73	1.49	-0.07
0+035	145	4	0.01	0.02	141.90	0.71	2.20	-0.14
0+040	147	5	0.01	0.02	146.15	0.73	2.93	-0.19
0+055	140	6	0.02	0.04	143.35	2.15	5.08	-0.38
0+060	165	7	0.01	0.04	152.20	0.76	5.84	-0.40
0+070	172	8	0.01	0.05	168.65	1.69	7.53	-0.28
0+075	164	9	0.01	0.06	168.00	0.84	8.37	-0.22
0+080	175	10	0.01	0.06	169.10	0.85	9.21	-0.15
0+085	142	11	0.01	0.07	158.35	0.79	10.01	-0.14
0+090	153	12	0.01	0.07	147.45	0.74	10.74	-0.19
0+095	187	13	0.01	0.08	169.90	0.85	11.59	-0.12
0+100	172	14	0.01	0.08	179.50	0.90	12.49	0.00

A_t	12.49
-------	-------

F	156.13
---	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 60 cm del punto de aplicación de la carga



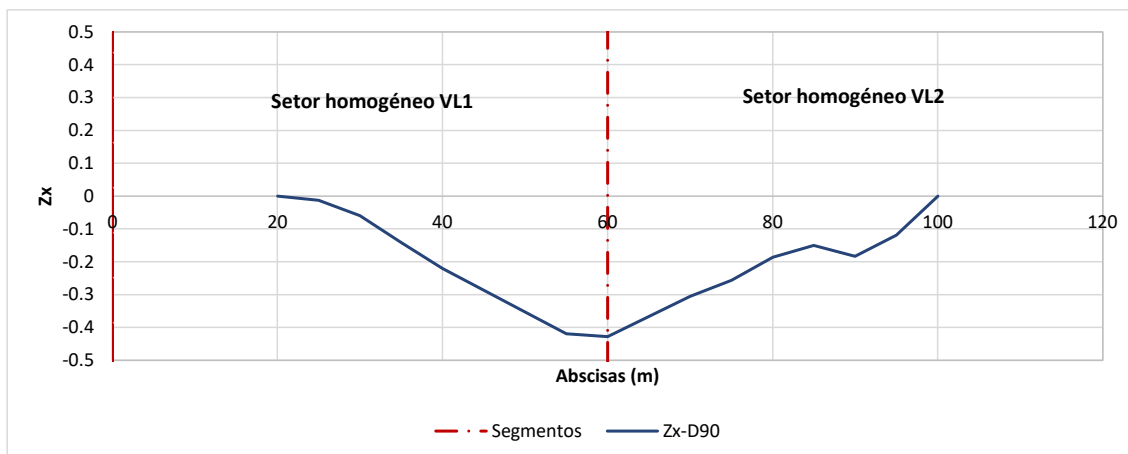
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 90cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D90	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	113	1	0.00	0.00	113.40	0.00	0.00	0.00
0+025	107	2	0.005	0.01	110.20	0.55	0.55	-0.01
0+030	100	3	0.01	0.01	103.35	0.52	1.07	-0.06
0+035	93	4	0.01	0.02	96.25	0.48	1.55	-0.14
0+040	101	5	0.01	0.02	96.95	0.48	2.03	-0.22
0+055	98	6	0.02	0.04	99.45	1.49	3.53	-0.42
0+060	124	7	0.01	0.04	110.95	0.55	4.08	-0.43
0+070	126	8	0.01	0.05	124.90	1.25	5.33	-0.31
0+075	120	9	0.01	0.06	122.60	0.61	5.94	-0.26
0+080	134	10	0.01	0.06	126.70	0.63	6.58	-0.19
0+085	106	11	0.01	0.07	119.90	0.60	7.18	-0.15
0+090	106	12	0.01	0.07	106.05	0.53	7.71	-0.18
0+095	145	13	0.01	0.08	125.60	0.63	8.33	-0.12
0+100	128	14	0.01	0.08	136.45	0.68	9.02	0.00

A_t	9.02
-------	------

F	112.70
-----	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 90 cm del punto de aplicación de la carga



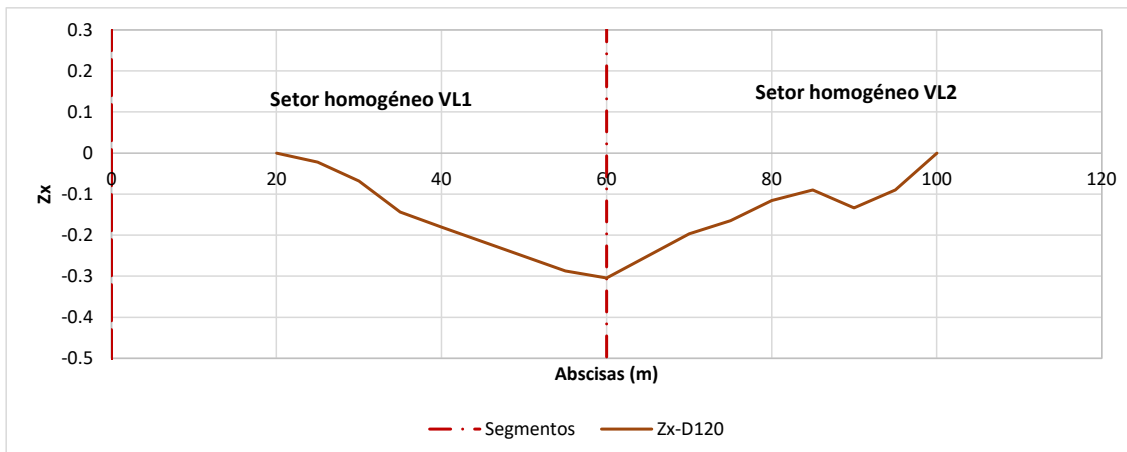
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 120cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D120	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	83	1	0.00	0.00	82.60	0.00	0.00	0.00
0+025	81	2	0.005	0.01	81.70	0.41	0.41	-0.02
0+030	73	3	0.01	0.01	77.05	0.39	0.79	-0.07
0+035	69	4	0.01	0.02	71.05	0.36	1.15	-0.14
0+040	89	5	0.01	0.02	78.85	0.39	1.54	-0.18
0+055	69	6	0.02	0.04	79.05	1.19	2.73	-0.29
0+060	96	7	0.01	0.04	82.75	0.41	3.14	-0.30
0+070	98	8	0.01	0.05	96.90	0.97	4.11	-0.20
0+075	88	9	0.01	0.06	92.50	0.46	4.57	-0.17
0+080	104	10	0.01	0.06	95.95	0.48	5.05	-0.12
0+085	78	11	0.01	0.07	91.35	0.46	5.51	-0.09
0+090	77	12	0.01	0.07	77.40	0.39	5.90	-0.13
0+095	113	13	0.01	0.08	94.90	0.47	6.37	-0.09
0+100	95	14	0.01	0.08	104.25	0.52	6.89	0.00

A_t	6.89
-------	------

F	86.17
---	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 120 cm del punto de aplicación de la carga



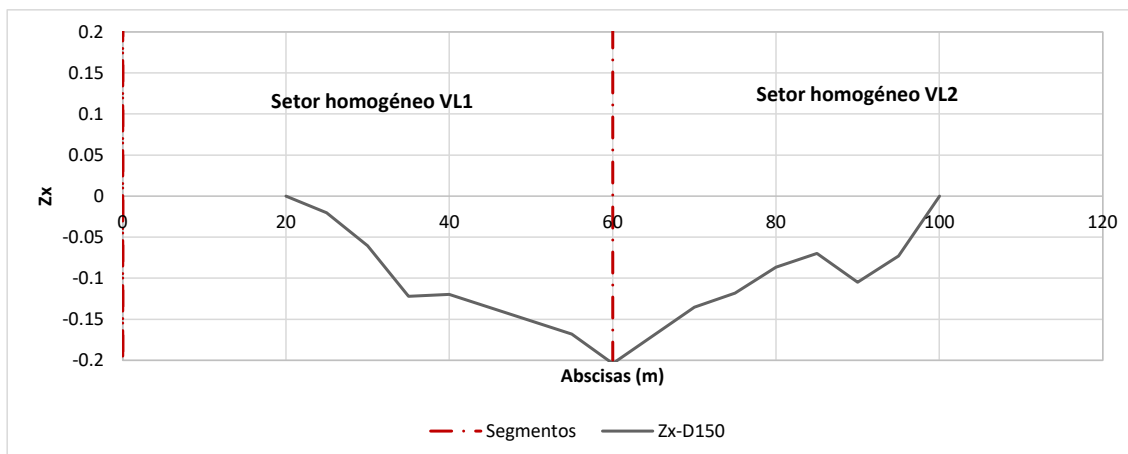
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 150cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D150	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	67	1	0.00	0.00	66.90	0.00	0.00	0.00
0+025	66	2	0.005	0.01	66.50	0.33	0.33	-0.02
0+030	59	3	0.01	0.01	62.50	0.31	0.65	-0.06
0+035	58	4	0.01	0.02	58.25	0.29	0.94	-0.12
0+040	85	5	0.01	0.02	71.05	0.36	1.29	-0.12
0+055	50	6	0.02	0.04	67.35	1.01	2.30	-0.17
0+060	77	7	0.01	0.04	63.45	0.32	2.62	-0.20
0+070	78	8	0.01	0.05	77.40	0.77	3.39	-0.14
0+075	70	9	0.01	0.06	73.95	0.37	3.76	-0.12
0+080	84	10	0.01	0.06	76.95	0.38	4.15	-0.09
0+085	64	11	0.01	0.07	73.85	0.37	4.52	-0.07
0+090	64	12	0.01	0.07	63.60	0.32	4.83	-0.10
0+095	90	13	0.01	0.08	76.95	0.38	5.22	-0.07
0+100	80	14	0.01	0.08	85.15	0.43	5.65	0.00

A_t	5.65
-------	------

F	70.57
---	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 150 cm del punto de aplicación de la carga



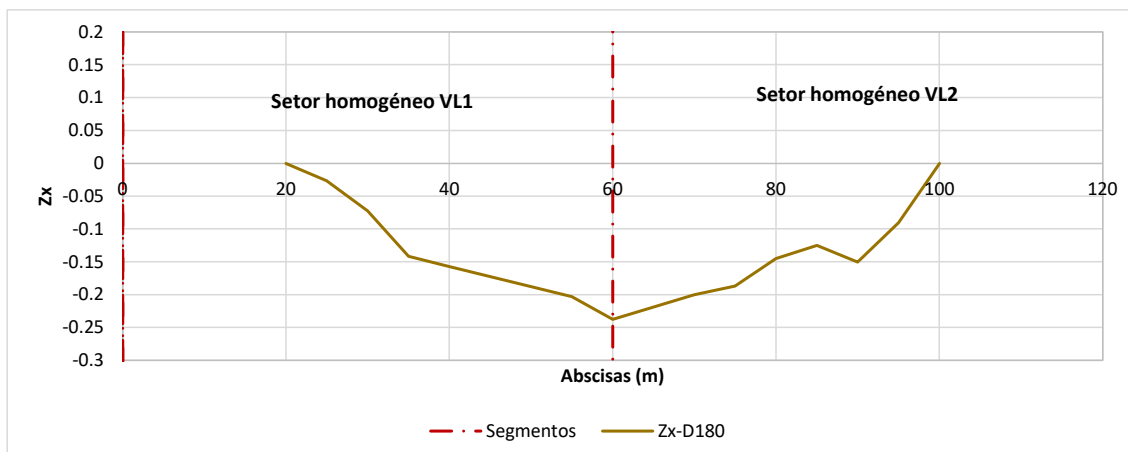
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Diferencias acumuladas geófono a 180cm de la aplicación de carga tramo Villa Luz								
Abscisa	D180	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+020	63	1	0.00	0.00	62.90	0.00	0.00	0.00
0+025	53	2	0.005	0.01	57.85	0.29	0.29	-0.03
0+030	55	3	0.01	0.01	53.95	0.27	0.56	-0.07
0+035	44	4	0.01	0.02	49.35	0.25	0.81	-0.14
0+040	77	5	0.01	0.02	60.05	0.30	1.11	-0.16
0+055	44	6	0.02	0.04	60.15	0.90	2.01	-0.20
0+060	69	7	0.01	0.04	56.25	0.28	2.29	-0.24
0+070	65	8	0.01	0.05	66.90	0.67	2.96	-0.20
0+075	67	9	0.01	0.06	65.85	0.33	3.29	-0.19
0+080	76	10	0.01	0.06	71.50	0.36	3.65	-0.15
0+085	58	11	0.01	0.07	67.20	0.34	3.98	-0.13
0+090	58	12	0.01	0.07	58.15	0.29	4.27	-0.15
0+095	92	13	0.01	0.08	75.15	0.38	4.65	-0.09
0+100	71	14	0.01	0.08	81.25	0.41	5.05	0.00

A_t	5.05
-------	------

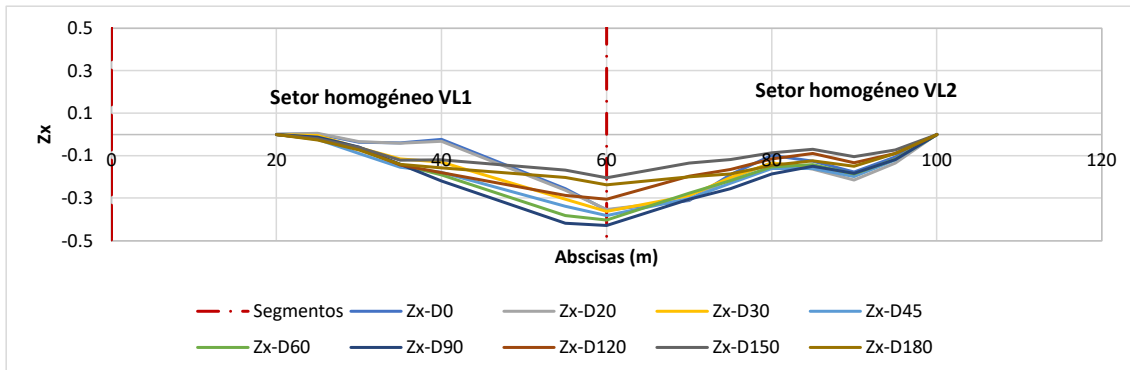
F	63.17
---	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 180 cm del punto de aplicación de la carga



Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Villa Luz

Sectores Homogéneos todos los geófonos



Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

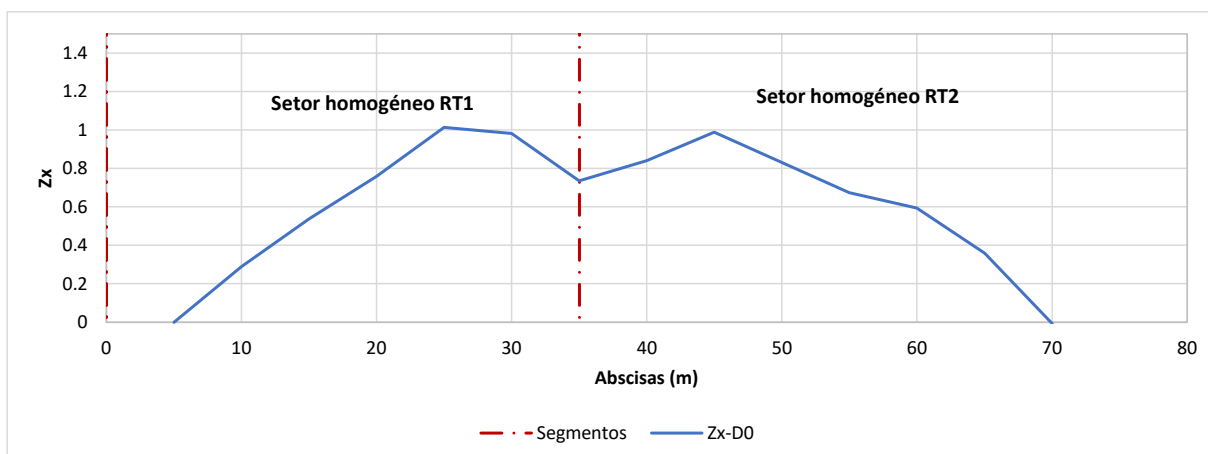
La sectorización por diferencias acumuladas se realizó empleando los valores tomados con carga de 40kN descontando singularidades.

Diferencias acumuladas geófono 0 tramo Restrepo								
Abscisa	Deflexión	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	391	1	0.00	0.00	390.70	0.00	0.00	0.00
0+010	511	2	0.005	0.01	450.60	2.25	2.25	0.29
0+015	374	3	0.01	0.01	442.25	2.21	4.46	0.54
0+020	500	4	0.01	0.02	436.85	2.18	6.65	0.76
0+025	388	5	0.01	0.02	443.85	2.22	8.87	1.01
0+030	385	6	0.01	0.03	386.25	1.93	10.80	0.98
0+035	302	7	0.01	0.03	343.45	1.72	12.52	0.74
0+040	524	8	0.01	0.04	413.35	2.07	14.58	0.84
0+045	320	9	0.01	0.04	422.30	2.11	16.69	0.99
0+055	402	10	0.01	0.05	361.35	3.61	20.31	0.67
0+060	350	11	0.01	0.06	376.40	1.88	22.19	0.59
0+065	341	12	0.01	0.06	345.90	1.73	23.92	0.36
0+070	298	13	0.01	0.07	319.55	1.60	25.52	-0.01
0+075	490	14	0.01	0.07	394.00	1.97	27.49	0.00

A_t	27.49
----------------------	-------

F	392.67
----------	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones centrales



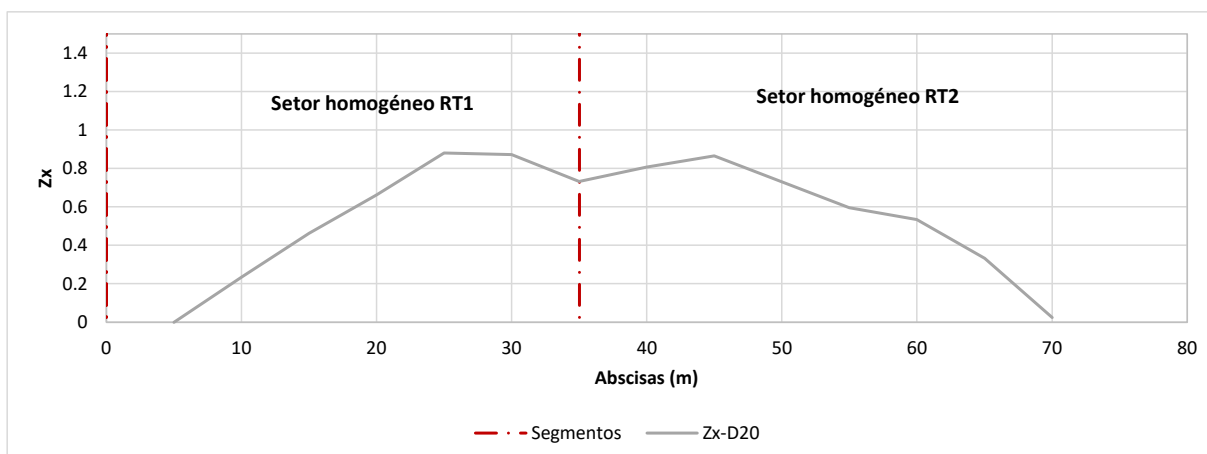
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 20cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D20	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	316	1	0.00	0.00	316.00	0.00	0.00	0.00
0+010	441	2	0.005	0.01	378.50	1.89	1.89	0.23
0+015	313	3	0.01	0.01	377.15	1.89	3.78	0.46
0+020	430	4	0.01	0.02	371.65	1.86	5.64	0.66
0+025	321	5	0.01	0.02	375.45	1.88	7.51	0.88
0+030	339	6	0.01	0.03	330.05	1.65	9.16	0.87
0+035	268	7	0.01	0.03	303.65	1.52	10.68	0.73
0+040	425	8	0.01	0.04	346.75	1.73	12.42	0.81
0+045	261	9	0.01	0.04	343.10	1.72	14.13	0.86
0+055	349	10	0.01	0.05	304.65	3.05	17.18	0.59
0+060	290	11	0.01	0.06	319.45	1.60	18.78	0.53
0+065	292	12	0.01	0.06	291.30	1.46	20.23	0.33
0+070	248	13	0.01	0.07	270.25	1.35	21.58	0.02
0+075	405	14	0.01	0.07	326.75	1.63	23.22	0.00

A_t	23.22
----------------------	-------

F	331.67
----------	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 20 cm del punto de aplicación de la carga



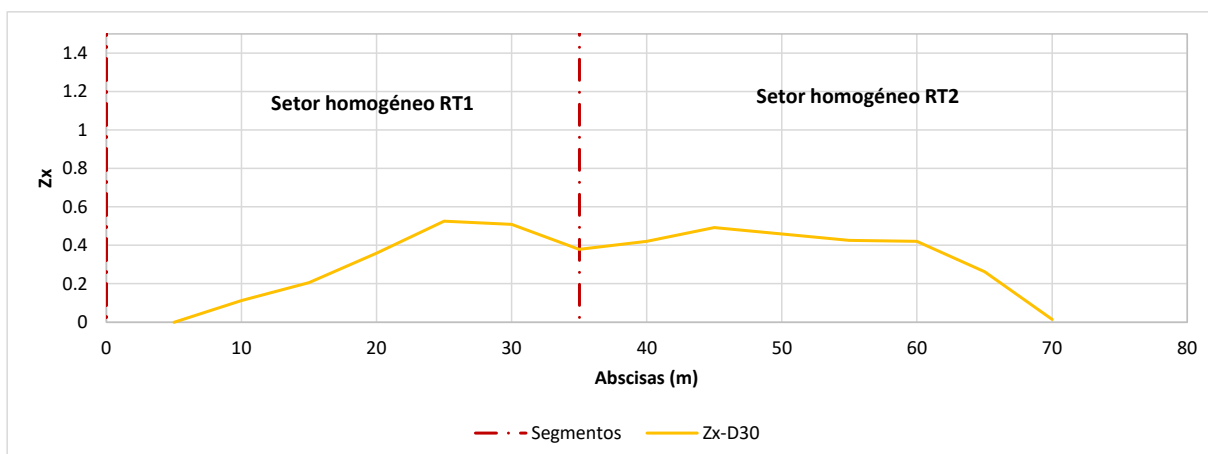
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 30cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D30	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	275	1	0.00	0.00	275.40	0.00	0.00	0.00
0+010	343	2	0.005	0.01	309.00	1.55	1.55	0.11
0+015	268	3	0.01	0.01	305.40	1.53	3.07	0.21
0+020	366	4	0.01	0.02	317.20	1.59	4.66	0.36
0+025	274	5	0.01	0.02	320.15	1.60	6.26	0.53
0+030	292	6	0.01	0.03	283.15	1.42	7.67	0.51
0+035	230	7	0.01	0.03	260.90	1.30	8.98	0.38
0+040	360	8	0.01	0.04	294.70	1.47	10.45	0.42
0+045	243	9	0.01	0.04	301.15	1.51	11.96	0.49
0+055	318	10	0.01	0.05	280.05	2.80	14.76	0.43
0+060	253	11	0.01	0.06	285.45	1.43	16.19	0.42
0+065	257	12	0.01	0.06	255.20	1.28	17.46	0.26
0+070	217	13	0.01	0.07	236.95	1.18	18.65	0.01
0+075	351	14	0.01	0.07	283.75	1.42	20.07	0.00

A_t	20.07
----------------------	-------

F	286.65
----------	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 30 cm del punto de aplicación de la carga



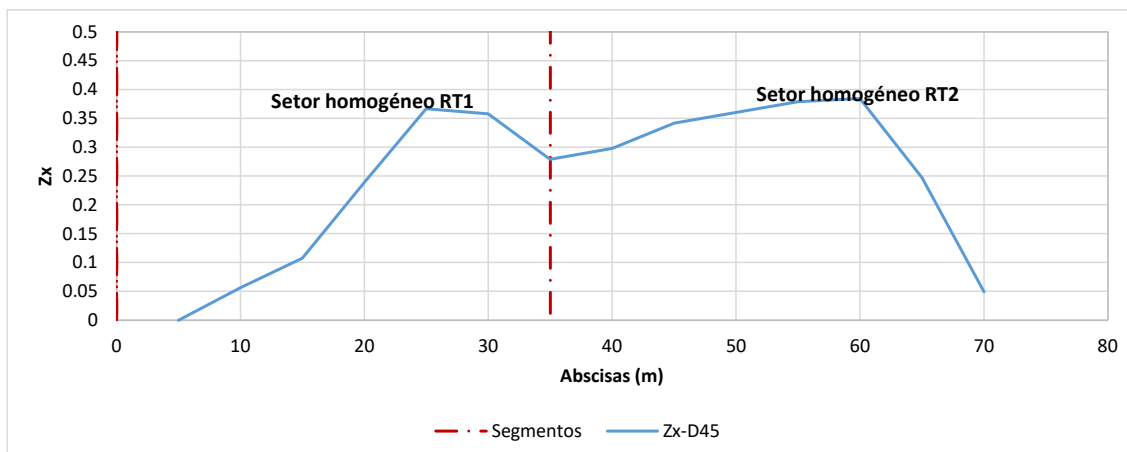
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 45cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D45	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	213	1	0.00	0.00	213.00	0.00	0.00	0.00
0+010	247	2	0.005	0.01	230.20	1.15	1.15	0.06
0+015	211	3	0.01	0.01	229.15	1.15	2.30	0.11
0+020	280	4	0.01	0.02	245.30	1.23	3.52	0.24
0+025	209	5	0.01	0.02	244.40	1.22	4.75	0.37
0+030	225	6	0.01	0.03	217.15	1.09	5.83	0.36
0+035	181	7	0.01	0.03	203.25	1.02	6.85	0.28
0+040	264	8	0.01	0.04	222.65	1.11	7.96	0.30
0+045	191	9	0.01	0.04	227.70	1.14	9.10	0.34
0+055	254	10	0.01	0.05	222.70	2.23	11.33	0.38
0+060	186	11	0.01	0.06	220.10	1.10	12.43	0.38
0+065	197	12	0.01	0.06	191.45	0.96	13.38	0.25
0+070	162	13	0.01	0.07	179.25	0.90	14.28	0.05
0+075	257	14	0.01	0.07	209.15	1.05	15.33	0.00

A_t	15.33
-------	-------

F	218.94
---	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 45 cm del punto de aplicación de la carga



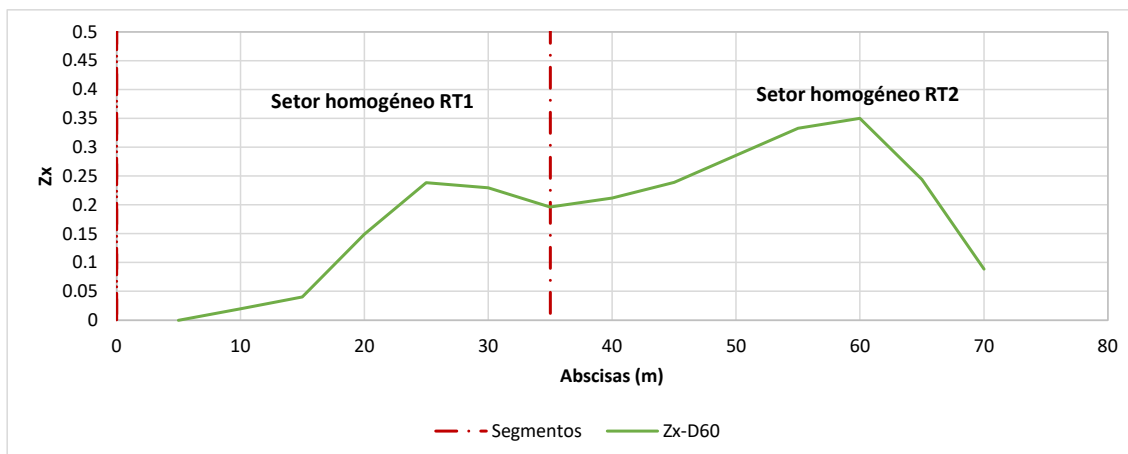
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 60cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D60	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	160	1	0.00	0.00	159.60	0.00	0.00	0.00
0+010	174	2	0.005	0.01	166.70	0.83	0.83	0.02
0+015	160	3	0.01	0.01	166.80	0.83	1.67	0.04
0+020	209	4	0.01	0.02	184.45	0.92	2.59	0.15
0+025	152	5	0.01	0.02	180.60	0.90	3.49	0.24
0+030	170	6	0.01	0.03	161.00	0.81	4.30	0.23
0+035	142	7	0.01	0.03	156.10	0.78	5.08	0.20
0+040	189	8	0.01	0.04	165.80	0.83	5.91	0.21
0+045	147	9	0.01	0.04	168.15	0.84	6.75	0.24
0+055	197	10	0.01	0.05	172.10	1.72	8.47	0.33
0+060	135	11	0.01	0.06	166.30	0.83	9.30	0.35
0+065	147	12	0.01	0.06	141.40	0.71	10.01	0.24
0+070	116	13	0.01	0.07	131.70	0.66	10.67	0.09
0+075	174	14	0.01	0.07	145.00	0.73	11.39	0.00

A_t	11.39
-------	-------

F	162.73
---	--------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 60 cm del punto de aplicación de la carga



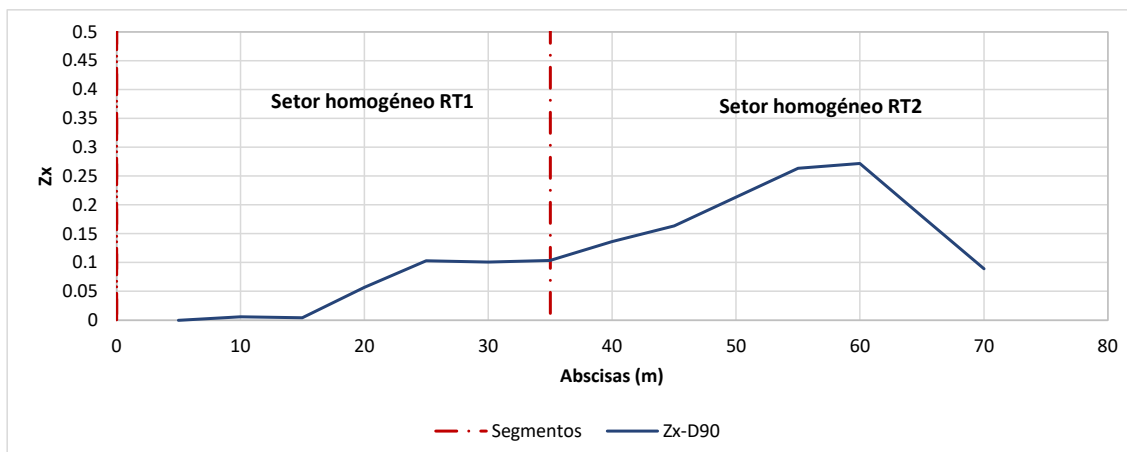
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 90cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D90	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	91	1	0.00	0.00	91.30	0.00	0.00	0.00
0+010	97	2	0.005	0.01	93.95	0.47	0.47	0.01
0+015	89	3	0.01	0.01	92.55	0.46	0.93	0.00
0+020	118	4	0.01	0.02	103.30	0.52	1.45	0.06
0+025	86	5	0.01	0.02	102.00	0.51	1.96	0.10
0+030	99	6	0.01	0.03	92.45	0.46	2.42	0.10
0+035	88	7	0.01	0.03	93.35	0.47	2.89	0.10
0+040	111	8	0.01	0.04	99.35	0.50	3.38	0.14
0+045	85	9	0.01	0.04	98.20	0.49	3.88	0.16
0+055	120	10	0.01	0.05	102.80	1.03	4.90	0.26
0+060	69	11	0.01	0.06	94.55	0.47	5.38	0.27
0+065	80	12	0.01	0.06	74.50	0.37	5.75	0.18
0+070	69	13	0.01	0.07	74.60	0.37	6.12	0.09
0+075	81	14	0.01	0.07	74.95	0.37	6.50	0.00

A_t	6.50
----------------------	------

F	92.81
----------	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 90 cm del punto de aplicación de la carga



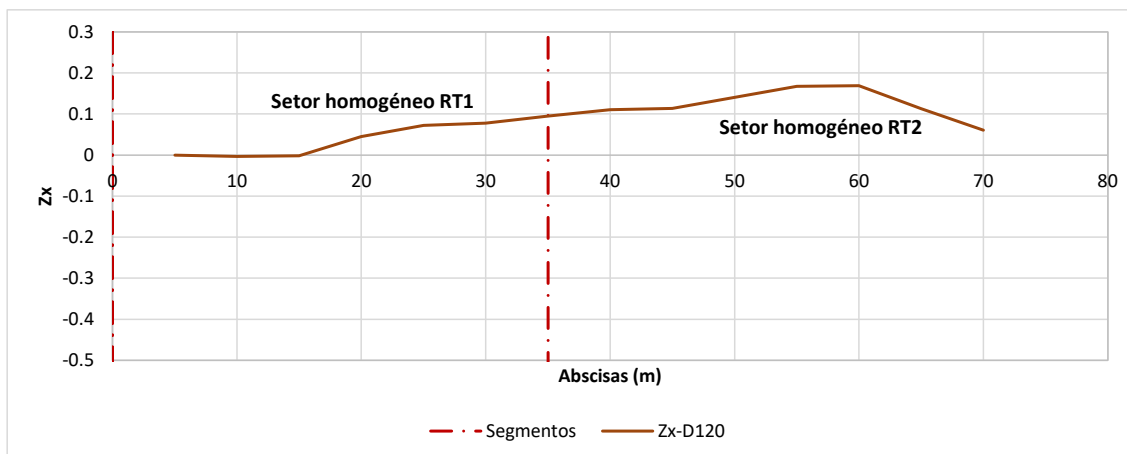
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 120cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D120	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	54	1	0.00	0.00	54.30	0.00	0.00	0.00
0+010	50	2	0.005	0.01	52.20	0.26	0.26	0.00
0+015	56	3	0.01	0.01	53.15	0.27	0.53	0.00
0+020	68	4	0.01	0.02	62.10	0.31	0.84	0.04
0+025	49	5	0.01	0.02	58.35	0.29	1.13	0.07
0+030	59	6	0.01	0.03	54.05	0.27	1.40	0.08
0+035	53	7	0.01	0.03	56.20	0.28	1.68	0.09
0+040	59	8	0.01	0.04	56.00	0.28	1.96	0.11
0+045	48	9	0.01	0.04	53.40	0.27	2.23	0.11
0+055	69	10	0.01	0.05	58.25	0.58	2.81	0.17
0+060	38	11	0.01	0.06	53.25	0.27	3.08	0.17
0+065	45	12	0.01	0.06	41.60	0.21	3.28	0.11
0+070	40	13	0.01	0.07	42.45	0.21	3.50	0.06
0+075	42	14	0.01	0.07	40.70	0.20	3.70	0.00

A_t	3.70
-------	------

F	52.85
---	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 120 cm del punto de aplicación de la carga



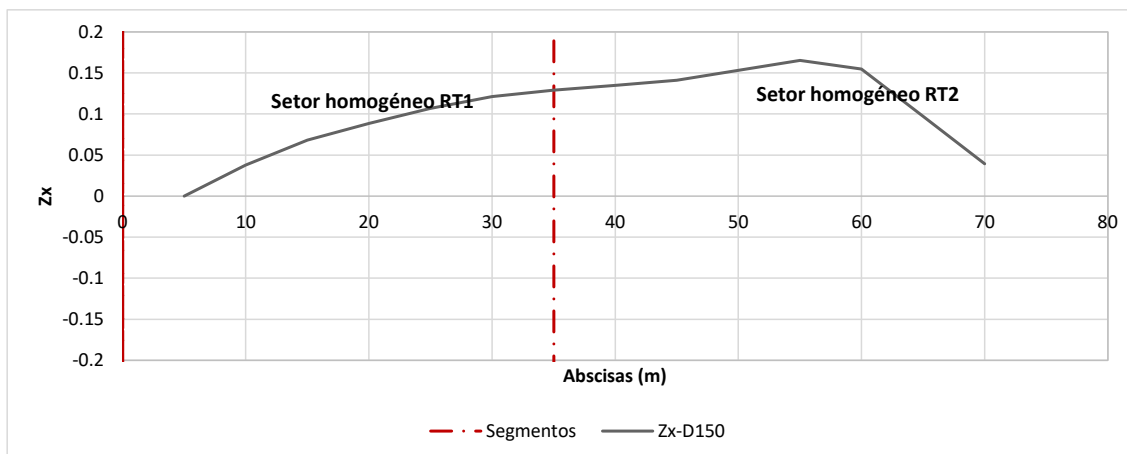
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 150cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D150	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	42	1	0.00	0.00	42.30	0.00	0.00	0.00
0+010	50	2	0.005	0.01	46.15	0.23	0.23	0.04
0+015	39	3	0.01	0.01	44.65	0.22	0.45	0.07
0+020	46	4	0.01	0.02	42.65	0.21	0.67	0.09
0+025	38	5	0.01	0.02	42.20	0.21	0.88	0.11
0+030	45	6	0.01	0.03	41.50	0.21	1.09	0.12
0+035	36	7	0.01	0.03	40.15	0.20	1.29	0.13
0+040	44	8	0.01	0.04	39.75	0.20	1.49	0.13
0+045	36	9	0.01	0.04	39.85	0.20	1.68	0.14
0+055	46	10	0.01	0.05	41.00	0.41	2.09	0.17
0+060	27	11	0.01	0.06	36.45	0.18	2.28	0.15
0+065	27	12	0.01	0.06	27.05	0.14	2.41	0.10
0+070	27	13	0.01	0.07	27.05	0.14	2.55	0.04
0+075	35	14	0.01	0.07	30.75	0.15	2.70	0.00

A_t	2.70
----------------------	------

F	38.59
----------	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 150 cm del punto de aplicación de la carga



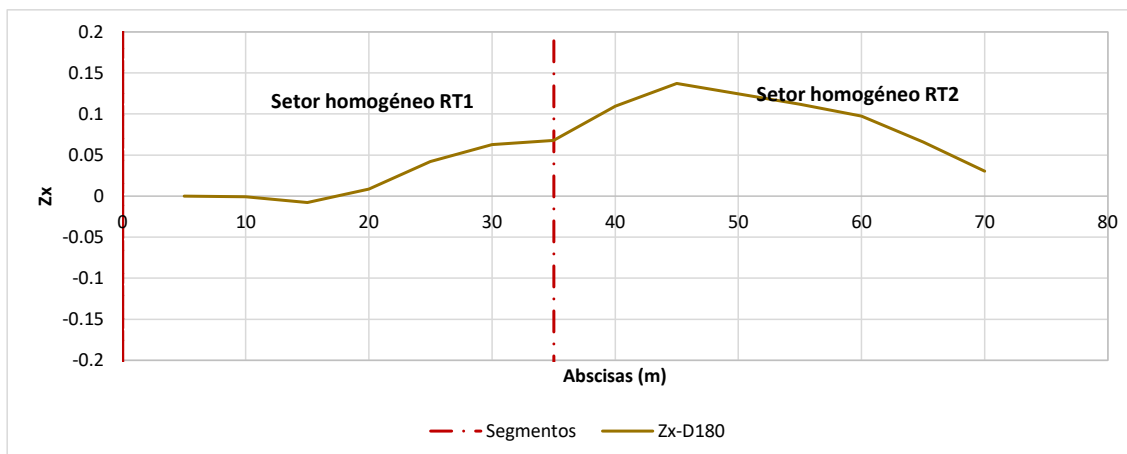
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Diferencias acumuladas geófono a 180cm de la aplicación de carga tramo Restrepo								
Abscisa	D180	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+005	32	1	0.00	0.00	32.30	0.00	0.00	0.00
0+010	32	2	0.005	0.01	32.05	0.16	0.16	0.00
0+015	30	3	0.01	0.01	30.80	0.15	0.31	-0.01
0+020	41	4	0.01	0.02	35.45	0.18	0.49	0.01
0+025	37	5	0.01	0.02	38.90	0.19	0.69	0.04
0+030	36	6	0.01	0.03	36.30	0.18	0.87	0.06
0+035	31	7	0.01	0.03	33.20	0.17	1.03	0.07
0+040	51	8	0.01	0.04	40.55	0.20	1.24	0.11
0+045	25	9	0.01	0.04	37.75	0.19	1.42	0.14
0+055	34	10	0.01	0.05	29.65	0.30	1.72	0.11
0+060	24	11	0.01	0.06	29.35	0.15	1.87	0.10
0+065	28	12	0.01	0.06	25.90	0.13	2.00	0.07
0+070	23	13	0.01	0.07	25.10	0.13	2.12	0.03
0+075	30	14	0.01	0.07	26.10	0.13	2.25	0.00

A_t	2.25
-------	------

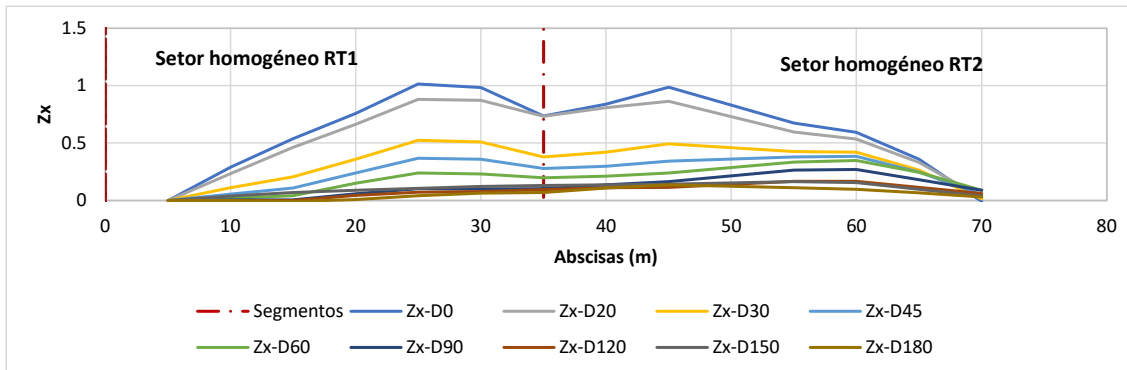
F	32.20
---	-------

Sectores Homogéneos Deflexiones a 180 cm del punto de aplicación de la carga



Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Restrepo

Sectores Homogéneos todos los geófonos



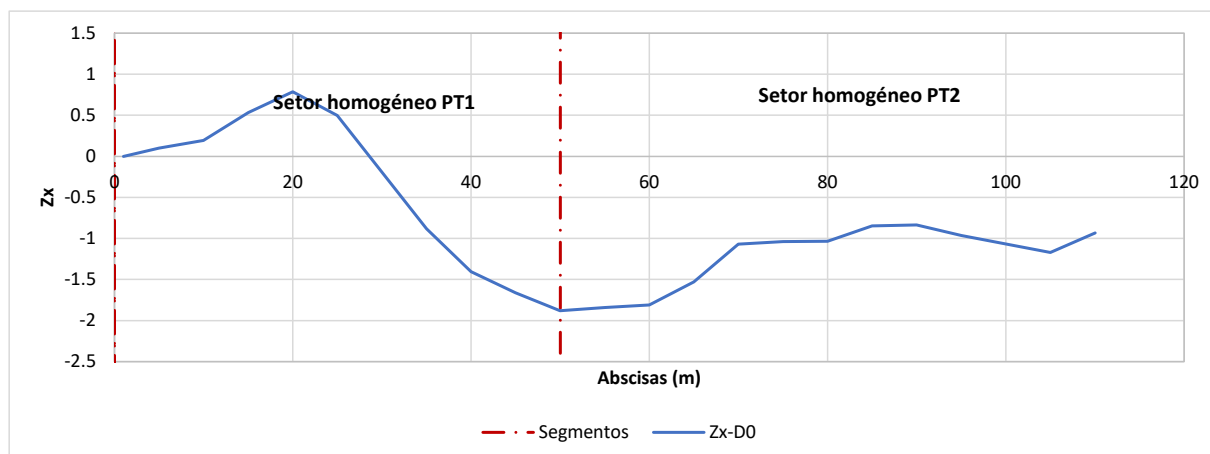
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

La sectorización por diferencias acumuladas se realizó empleando los valores tomados con carga de 40kN descontando singularidades.

Diferencias acumuladas geófono 0 tramo Puente Aranda								
Abscisa	Deflexión	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	611	1	0.00	0.00	611.30	0.00	0.00	0.00
0+005	625	2	0.004	0.00	618.10	2.47	2.47	0.10
0+010	599	3	0.01	0.01	611.95	3.06	5.53	0.19
0+015	725	4	0.01	0.01	661.95	3.31	8.84	0.53
0+020	564	5	0.01	0.02	644.20	3.22	12.06	0.79
0+025	507	6	0.01	0.02	535.25	2.68	14.74	0.50
0+035	404	7	0.01	0.03	455.35	4.55	19.29	-0.88
0+040	574	8	0.01	0.04	489.00	2.45	21.74	-1.41
0+045	509	9	0.01	0.04	541.85	2.71	24.45	-1.66
0+050	592	10	0.01	0.05	550.60	2.75	27.20	-1.88
0+055	610	11	0.01	0.05	600.95	3.00	30.20	-1.84
0+060	589	12	0.01	0.06	599.30	3.00	33.20	-1.81
0+065	710	13	0.01	0.06	649.35	3.25	36.45	-1.53
0+070	662	14	0.01	0.07	685.90	3.43	39.88	-1.07
0+075	537	15	0.01	0.07	599.40	3.00	42.87	-1.04
0+080	651	16	0.01	0.08	594.00	2.97	45.84	-1.04
0+085	611	17	0.01	0.08	631.10	3.16	49.00	-0.85
0+090	580	18	0.01	0.09	595.45	2.98	51.98	-0.84
0+095	556	19	0.01	0.09	567.75	2.84	54.82	-0.97
0+105	590	20	0.01	0.10	572.90	5.73	60.54	-1.17
0+110	692	21	0.01	0.11	640.70	3.20	63.75	-0.94
0+115	607	22	0.01	0.11	649.15	3.25	66.99	-0.66
0+120	720	23	0.01	0.12	663.55	3.32	70.31	-0.31
0+125	589	24	0.01	0.12	654.60	3.27	73.58	0.00

A_t	73.58
F	593.43

Sectores Homogéneos Deflexiones centrales

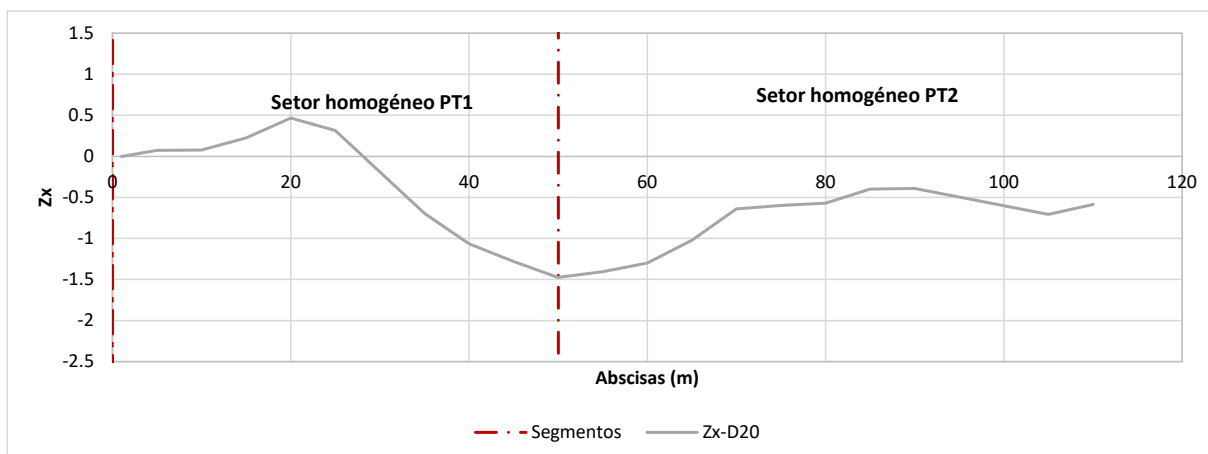


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 20cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D20	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	467	1	0.00	0.00	466.60	0.00	0.00	0.00
0+005	507	2	0.004	0.00	486.80	1.95	1.95	0.07
0+010	433	3	0.01	0.01	469.95	2.35	4.30	0.08
0+015	564	4	0.01	0.01	498.60	2.49	6.79	0.22
0+020	473	5	0.01	0.02	518.40	2.59	9.38	0.47
0+025	403	6	0.01	0.02	437.95	2.19	11.57	0.31
0+035	333	7	0.01	0.03	368.15	3.68	15.25	-0.70
0+040	457	8	0.01	0.04	395.00	1.98	17.23	-1.07
0+045	395	9	0.01	0.04	426.10	2.13	19.36	-1.28
0+050	466	10	0.01	0.05	430.45	2.15	21.51	-1.47
0+055	500	11	0.01	0.05	483.10	2.42	23.93	-1.40
0+060	481	12	0.01	0.06	490.45	2.45	26.38	-1.30
0+065	567	13	0.01	0.06	523.85	2.62	29.00	-1.02
0+070	525	14	0.01	0.07	546.10	2.73	31.73	-0.64
0+075	430	15	0.01	0.07	477.35	2.39	34.12	-0.60
0+080	520	16	0.01	0.08	474.60	2.37	36.49	-0.57
0+085	488	17	0.01	0.08	503.70	2.52	39.01	-0.40
0+090	453	18	0.01	0.09	470.55	2.35	41.36	-0.39
0+095	443	19	0.01	0.09	448.15	2.24	43.60	-0.50
0+105	453	20	0.01	0.10	447.85	4.48	48.08	-0.71
0+110	535	21	0.01	0.11	493.60	2.47	50.55	-0.59
0+115	479	21	0.01	0.11	506.75	2.53	53.08	-0.40
0+120	535	21	0.01	0.12	507.10	2.54	55.62	-0.21
0+125	486	21	0.01	0.12	510.50	2.55	58.17	0.00

A_t	58.17
F	469.10

Sectores Homogéneos Deflexiones a 20 cm del punto de aplicación de la carga

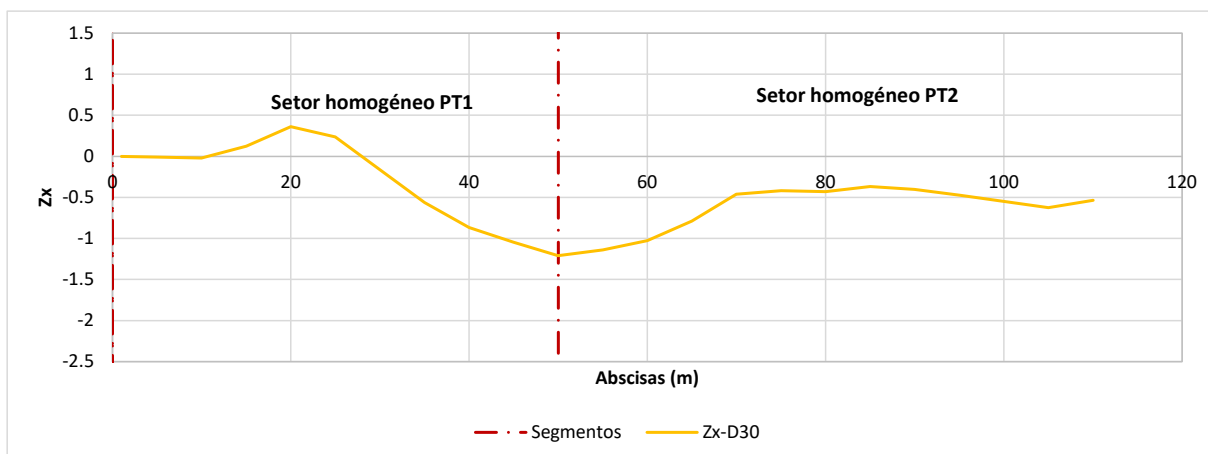


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 30cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D30	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	359	1	0.00	0.00	359.20	0.00	0.00	0.00
0+005	431	2	0.004	0.00	395.05	1.58	1.58	-0.01
0+010	359	3	0.01	0.01	395.05	1.98	3.56	-0.02
0+015	495	4	0.01	0.01	426.90	2.13	5.69	0.12
0+020	396	5	0.01	0.02	445.35	2.23	7.92	0.36
0+025	349	6	0.01	0.02	372.30	1.86	9.78	0.24
0+035	287	7	0.01	0.03	317.60	3.18	12.95	-0.56
0+040	387	8	0.01	0.04	336.75	1.68	14.64	-0.87
0+045	337	9	0.01	0.04	361.80	1.81	16.45	-1.05
0+050	393	10	0.01	0.05	364.75	1.82	18.27	-1.21
0+055	431	11	0.01	0.05	411.65	2.06	20.33	-1.14
0+060	409	12	0.01	0.06	419.55	2.10	22.43	-1.03
0+065	482	13	0.01	0.06	445.25	2.23	24.65	-0.79
0+070	444	14	0.01	0.07	463.10	2.32	26.97	-0.46
0+075	368	15	0.01	0.07	406.30	2.03	29.00	-0.42
0+080	422	16	0.01	0.08	394.95	1.97	30.97	-0.43
0+085	400	17	0.01	0.08	410.55	2.05	33.03	-0.37
0+090	381	18	0.01	0.09	390.40	1.95	34.98	-0.40
0+095	385	19	0.01	0.09	383.25	1.92	36.90	-0.47
0+105	379	20	0.01	0.10	382.25	3.82	40.72	-0.63
0+110	452	21	0.01	0.11	415.80	2.08	42.80	-0.54
0+115	404	21	0.01	0.11	428.25	2.14	44.94	-0.38
0+120	459	21	0.01	0.12	431.30	2.16	47.09	-0.21
0+125	422	21	0.01	0.12	440.35	2.20	49.30	0.00

A_t	49.30
F	397.55

Sectores Homogéneos Deflexiones a 30 cm del punto de aplicación de la carga

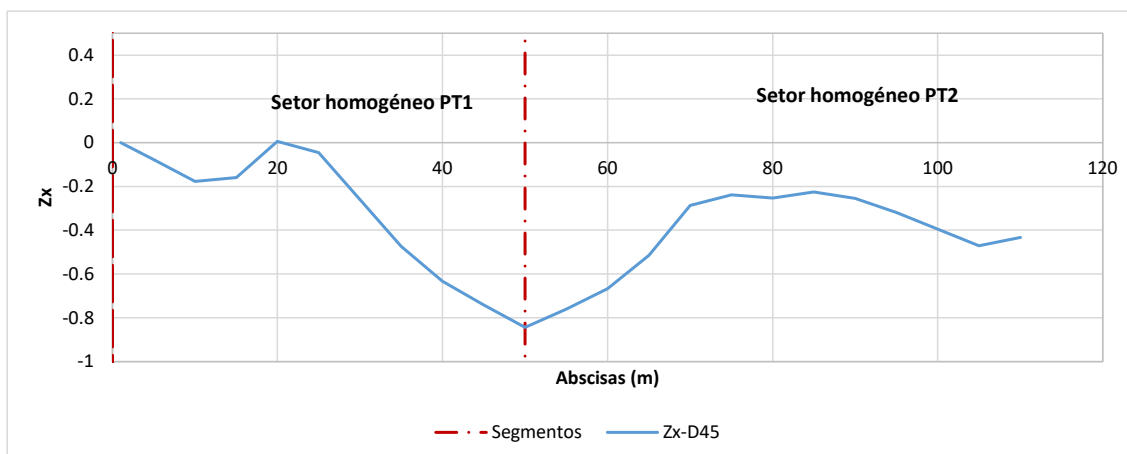


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 45cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D45	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	239	1	0.00	0.00	238.90	0.00	0.00	0.00
0+005	310	2	0.004	0.00	274.45	1.10	1.10	-0.08
0+010	238	3	0.01	0.01	274.00	1.37	2.47	-0.18
0+015	356	4	0.01	0.01	297.20	1.49	3.95	-0.16
0+020	298	5	0.01	0.02	327.10	1.64	5.59	0.01
0+025	269	6	0.01	0.02	283.45	1.42	7.01	-0.05
0+035	233	7	0.01	0.03	251.00	2.51	9.52	-0.47
0+040	292	8	0.01	0.04	262.20	1.31	10.83	-0.63
0+045	253	9	0.01	0.04	272.05	1.36	12.19	-0.74
0+050	295	10	0.01	0.05	273.70	1.37	13.56	-0.84
0+055	326	11	0.01	0.05	310.35	1.55	15.11	-0.76
0+060	299	12	0.01	0.06	312.50	1.56	16.67	-0.67
0+065	349	13	0.01	0.06	324.25	1.62	18.29	-0.52
0+070	330	14	0.01	0.07	339.45	1.70	19.99	-0.29
0+075	278	15	0.01	0.07	303.55	1.52	21.51	-0.24
0+080	304	16	0.01	0.08	291.00	1.46	22.96	-0.25
0+085	295	17	0.01	0.08	299.50	1.50	24.46	-0.22
0+090	281	18	0.01	0.09	287.85	1.44	25.90	-0.25
0+095	281	19	0.01	0.09	280.95	1.40	27.30	-0.32
0+105	277	20	0.01	0.10	278.70	2.79	30.09	-0.47
0+110	327	21	0.01	0.11	301.55	1.51	31.60	-0.43
0+115	302	21	0.01	0.11	314.05	1.57	33.17	-0.33
0+120	339	21	0.01	0.12	320.10	1.60	34.77	-0.20
0+125	329	21	0.01	0.12	333.95	1.67	36.44	0.00

A_t	36.44
F	293.86

Sectores Homogéneos Deflexiones a 45 cm del punto de aplicación de la carga

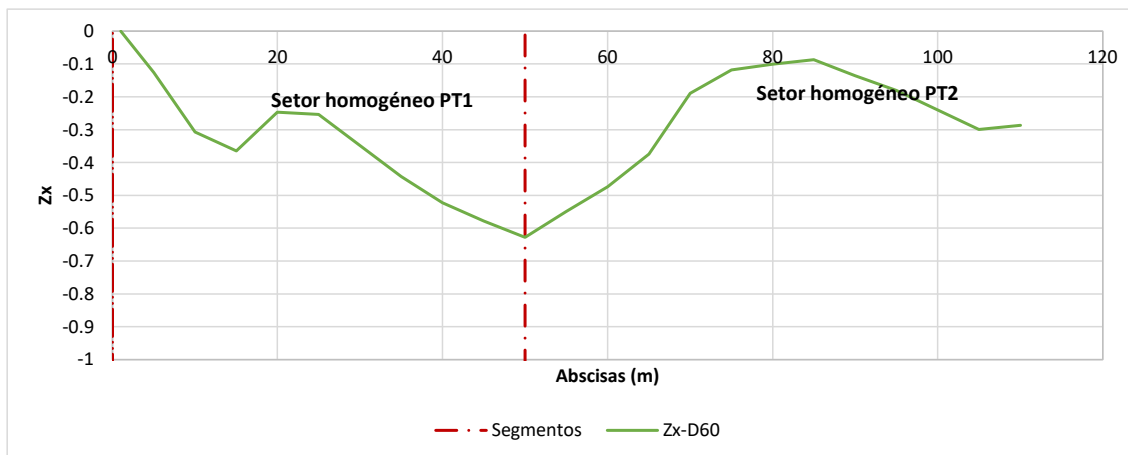


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 60cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D60	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	160	1	0.00	0.00	159.60	0.00	0.00	0.00
0+005	213	2	0.004	0.00	186.05	0.74	0.74	-0.13
0+010	150	3	0.01	0.01	181.45	0.91	1.65	-0.31
0+015	262	4	0.01	0.01	206.05	1.03	2.68	-0.36
0+020	221	5	0.01	0.02	241.10	1.21	3.89	-0.25
0+025	212	6	0.01	0.02	216.25	1.08	4.97	-0.25
0+035	186	7	0.01	0.03	198.75	1.99	6.96	-0.44
0+040	218	8	0.01	0.04	201.70	1.01	7.96	-0.52
0+045	195	9	0.01	0.04	206.35	1.03	9.00	-0.58
0+050	221	10	0.01	0.05	207.75	1.04	10.03	-0.63
0+055	246	11	0.01	0.05	233.45	1.17	11.20	-0.55
0+060	219	12	0.01	0.06	232.50	1.16	12.36	-0.47
0+065	256	13	0.01	0.06	237.50	1.19	13.55	-0.37
0+070	253	14	0.01	0.07	254.65	1.27	14.83	-0.19
0+075	211	15	0.01	0.07	231.90	1.16	15.98	-0.12
0+080	232	16	0.01	0.08	221.15	1.11	17.09	-0.10
0+085	209	17	0.01	0.08	220.25	1.10	18.19	-0.09
0+090	207	18	0.01	0.09	207.90	1.04	19.23	-0.14
0+095	210	19	0.01	0.09	208.65	1.04	20.27	-0.18
0+105	201	20	0.01	0.10	205.70	2.06	22.33	-0.30
0+110	239	21	0.01	0.11	220.10	1.10	23.43	-0.29
0+115	217	21	0.01	0.11	228.10	1.14	24.57	-0.23
0+120	250	21	0.01	0.12	233.70	1.17	25.74	-0.15
0+125	246	21	0.01	0.12	248.40	1.24	26.98	0.00

A_t	26.98
F	217.61

Sectores Homogéneos Deflexiones a 60 cm del punto de aplicación de la carga

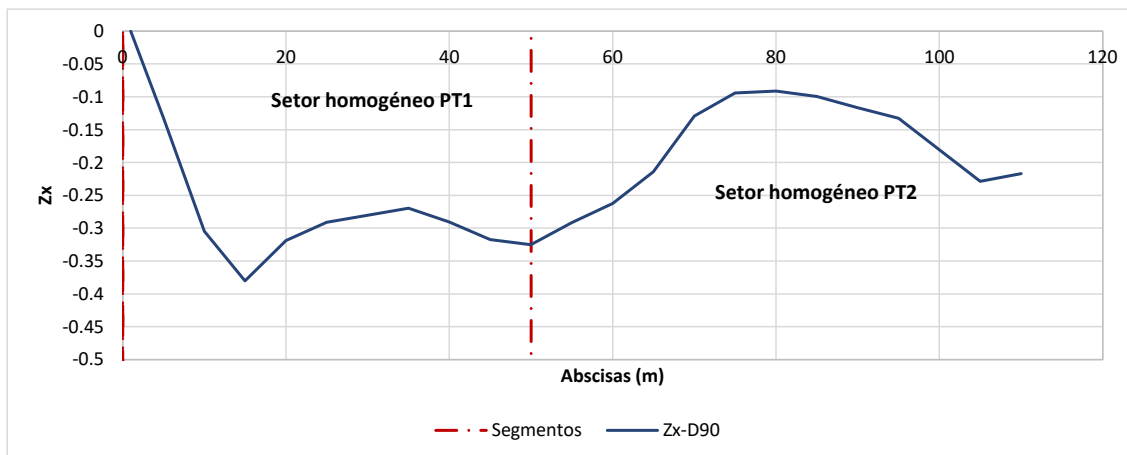


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 90cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D90	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	87	1	0.00	0.00	86.60	0.00	0.00	0.00
0+005	118	2	0.004	0.00	102.05	0.41	0.41	-0.13
0+010	83	3	0.01	0.01	100.30	0.50	0.91	-0.30
0+015	157	4	0.01	0.01	119.85	0.60	1.51	-0.38
0+020	138	5	0.01	0.02	147.20	0.74	2.24	-0.32
0+025	143	6	0.01	0.02	140.45	0.70	2.95	-0.29
0+035	131	7	0.01	0.03	137.05	1.37	4.32	-0.27
0+040	131	8	0.01	0.04	130.75	0.65	4.97	-0.29
0+045	129	9	0.01	0.04	129.55	0.65	5.62	-0.32
0+050	138	10	0.01	0.05	133.35	0.67	6.29	-0.33
0+055	145	11	0.01	0.05	141.65	0.71	6.99	-0.29
0+060	137	12	0.01	0.06	140.85	0.70	7.70	-0.26
0+065	153	13	0.01	0.06	144.55	0.72	8.42	-0.21
0+070	151	14	0.01	0.07	151.90	0.76	9.18	-0.13
0+075	133	15	0.01	0.07	141.95	0.71	9.89	-0.09
0+080	138	16	0.01	0.08	135.50	0.68	10.57	-0.09
0+085	128	17	0.01	0.08	133.25	0.67	11.23	-0.10
0+090	135	18	0.01	0.09	131.50	0.66	11.89	-0.12
0+095	129	19	0.01	0.09	131.70	0.66	12.55	-0.13
0+105	122	20	0.01	0.10	125.35	1.25	13.80	-0.23
0+110	152	21	0.01	0.11	137.20	0.69	14.49	-0.22
0+115	138	21	0.01	0.11	145.10	0.73	15.22	-0.17
0+120	157	21	0.01	0.12	147.25	0.74	15.95	-0.10
0+125	155	21	0.01	0.12	155.85	0.78	16.73	0.00

A_t	16.73
F	134.93

Sectores Homogéneos Deflexiones a 90 cm del punto de aplicación de la carga

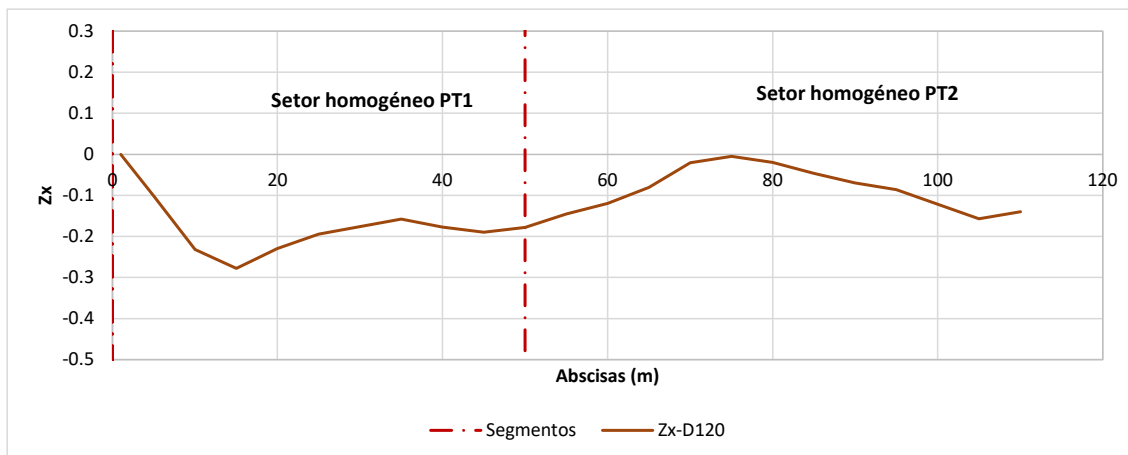


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 120cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D120	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	64	1	0.00	0.00	64.30	0.00	0.00	0.00
0+005	76	2	0.004	0.00	70.30	0.28	0.28	-0.10
0+010	63	3	0.01	0.01	69.45	0.35	0.63	-0.23
0+015	111	4	0.01	0.01	86.60	0.43	1.06	-0.28
0+020	100	5	0.01	0.02	105.20	0.53	1.59	-0.23
0+025	106	6	0.01	0.02	102.70	0.51	2.10	-0.19
0+035	93	7	0.01	0.03	99.30	0.99	3.09	-0.16
0+040	91	8	0.01	0.04	91.75	0.46	3.55	-0.18
0+045	96	9	0.01	0.04	93.15	0.47	4.02	-0.19
0+050	100	10	0.01	0.05	98.00	0.49	4.51	-0.18
0+055	104	11	0.01	0.05	102.05	0.51	5.02	-0.15
0+060	98	12	0.01	0.06	100.85	0.50	5.52	-0.12
0+065	109	13	0.01	0.06	103.35	0.52	6.04	-0.08
0+070	107	14	0.01	0.07	107.70	0.54	6.58	-0.02
0+075	91	15	0.01	0.07	98.80	0.49	7.07	0.00
0+080	94	16	0.01	0.08	92.60	0.46	7.54	-0.02
0+085	87	17	0.01	0.08	90.40	0.45	7.99	-0.05
0+090	95	18	0.01	0.09	90.95	0.45	8.44	-0.07
0+095	89	19	0.01	0.09	92.30	0.46	8.90	-0.09
0+105	88	20	0.01	0.10	88.60	0.89	9.79	-0.16
0+110	110	21	0.01	0.11	99.00	0.50	10.28	-0.14
0+115	95	21	0.01	0.11	102.60	0.51	10.80	-0.11
0+120	112	21	0.01	0.12	103.30	0.52	11.31	-0.07
0+125	106	21	0.01	0.12	109.00	0.55	11.86	0.00

A_t	11.86
F	95.64

Sectores Homogéneos Deflexiones a 120 cm del punto de aplicación de la carga

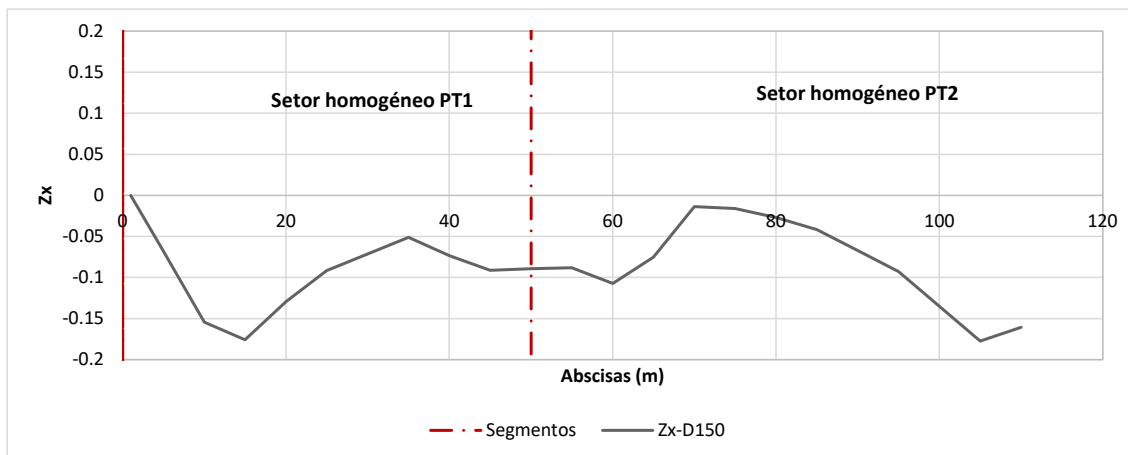


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 150cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D150	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	54	1	0.00	0.00	54.20	0.00	0.00	0.00
0+005	64	2	0.004	0.00	58.95	0.24	0.24	-0.07
0+010	54	3	0.01	0.01	58.65	0.29	0.53	-0.15
0+015	90	4	0.01	0.01	71.65	0.36	0.89	-0.18
0+020	81	5	0.01	0.02	85.20	0.43	1.31	-0.13
0+025	86	6	0.01	0.02	83.45	0.42	1.73	-0.09
0+035	74	7	0.01	0.03	80.00	0.80	2.53	-0.05
0+040	69	8	0.01	0.04	71.45	0.36	2.89	-0.07
0+045	76	9	0.01	0.04	72.35	0.36	3.25	-0.09
0+050	77	10	0.01	0.05	76.35	0.38	3.63	-0.09
0+055	75	11	0.01	0.05	76.15	0.38	4.01	-0.09
0+060	69	12	0.01	0.06	72.10	0.36	4.37	-0.11
0+065	96	13	0.01	0.06	82.35	0.41	4.78	-0.08
0+070	81	14	0.01	0.07	88.25	0.44	5.23	-0.01
0+075	70	15	0.01	0.07	75.40	0.38	5.60	-0.02
0+080	78	16	0.01	0.08	73.80	0.37	5.97	-0.03
0+085	68	17	0.01	0.08	72.95	0.36	6.34	-0.04
0+090	73	18	0.01	0.09	70.85	0.35	6.69	-0.07
0+095	68	19	0.01	0.09	70.80	0.35	7.04	-0.09
0+105	67	20	0.01	0.10	67.50	0.68	7.72	-0.18
0+110	92	21	0.01	0.11	79.20	0.40	8.12	-0.16
0+115	81	21	0.01	0.11	86.15	0.43	8.55	-0.11
0+120	92	21	0.01	0.12	86.20	0.43	8.98	-0.06
0+125	84	21	0.01	0.12	87.60	0.44	9.42	0.00

A_t	9.42
F	75.93

Sectores Homogéneos Deflexiones a 150 cm del punto de aplicación de la carga

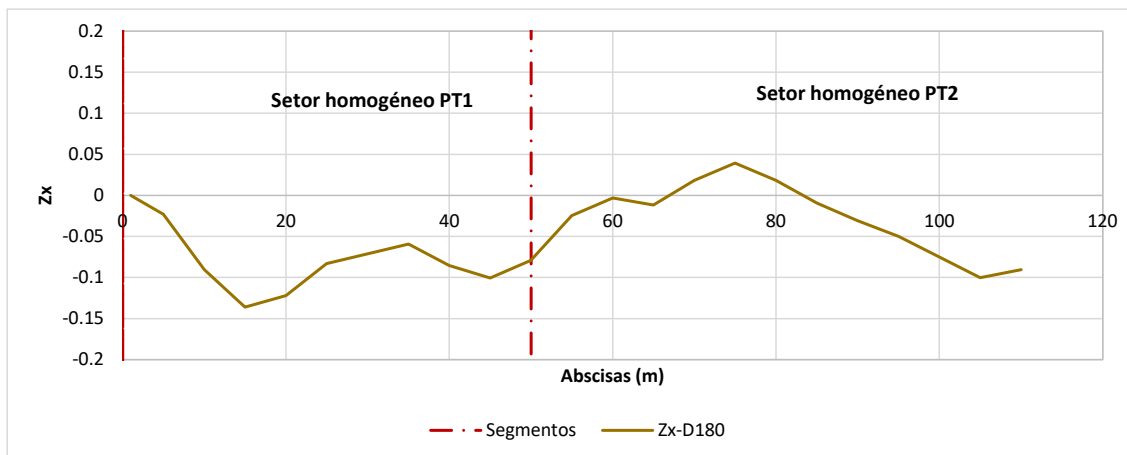


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Diferencias acumuladas geófono a 180cm de la aplicación de carga tramo Puente Aranda								
Abscisa	D180	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+001	68	1	0.00	0.00	68.40	0.00	0.00	0.00
0+005	59	2	0.004	0.00	63.80	0.26	0.26	-0.02
0+010	53	3	0.01	0.01	56.10	0.28	0.54	-0.09
0+015	68	4	0.01	0.01	60.55	0.30	0.84	-0.14
0+020	77	5	0.01	0.02	72.35	0.36	1.20	-0.12
0+025	78	6	0.01	0.02	77.35	0.39	1.59	-0.08
0+035	66	7	0.01	0.03	71.95	0.72	2.31	-0.06
0+040	63	8	0.01	0.04	64.40	0.32	2.63	-0.09
0+045	70	9	0.01	0.04	66.55	0.33	2.96	-0.10
0+050	78	10	0.01	0.05	73.90	0.37	3.33	-0.08
0+055	83	11	0.01	0.05	80.50	0.40	3.73	-0.02
0+060	64	12	0.01	0.06	73.85	0.37	4.10	0.00
0+065	71	13	0.01	0.06	67.85	0.34	4.44	-0.01
0+070	80	14	0.01	0.07	75.60	0.38	4.82	0.02
0+075	68	15	0.01	0.07	73.85	0.37	5.19	0.04
0+080	63	16	0.01	0.08	65.30	0.33	5.52	0.02
0+085	65	17	0.01	0.08	64.10	0.32	5.84	-0.01
0+090	65	18	0.01	0.09	65.25	0.33	6.16	-0.03
0+095	67	19	0.01	0.09	65.80	0.33	6.49	-0.05
0+105	63	20	0.01	0.10	64.55	0.65	7.14	-0.10
0+110	81	21	0.01	0.11	71.55	0.36	7.49	-0.09
0+115	71	21	0.01	0.11	75.90	0.38	7.87	-0.06
0+120	77	21	0.01	0.12	74.20	0.37	8.24	-0.04
0+125	76	21	0.01	0.12	76.75	0.38	8.63	0.00

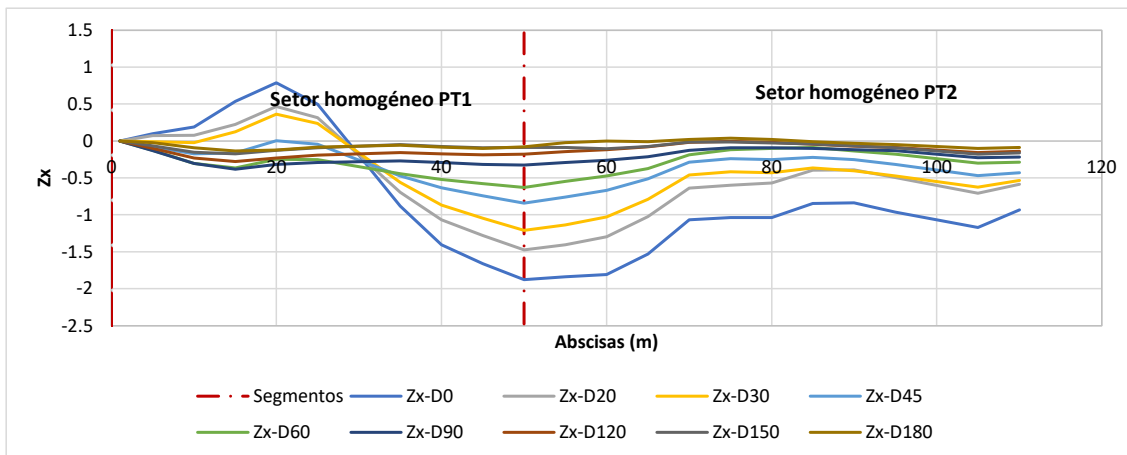
A_t	8.63
F	69.59

Sectores Homogéneos Deflexiones a 180 cm del punto de aplicación de la carga



Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Puente Aranda

Sectores Homogéneos todos los geófonos



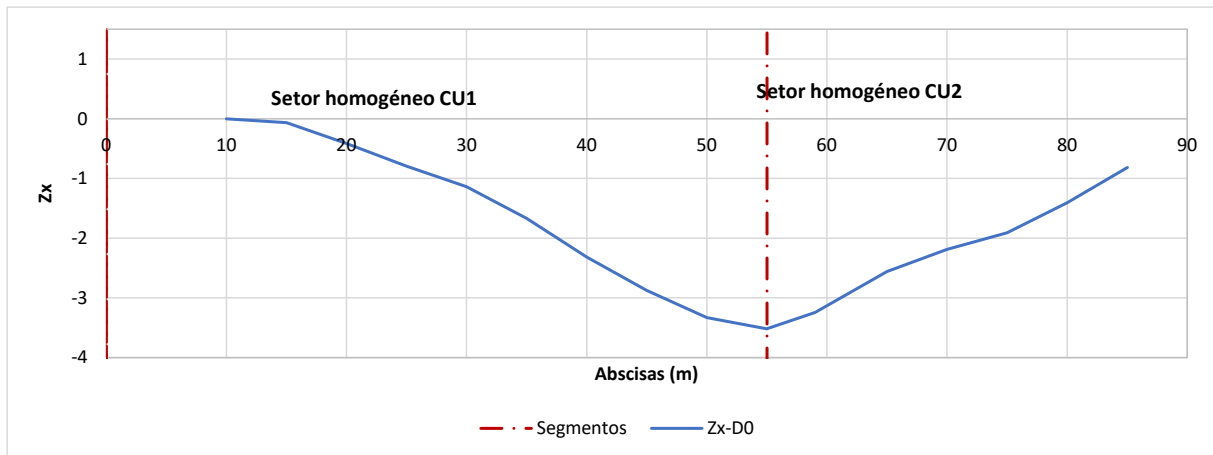
Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

La sectorización por diferencias acumuladas se realizó empleando los valores tomados con carga de 40kN descontando singularidades.

Diferencias acumuladas geófono 0 tramo Cundinamarca								
Abscisa	Deflexión	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	396	1	0.00	0.00	396.40	0.00	0.00	0.00
0+015	264	2	0.005	0.01	330.35	1.65	1.65	-0.07
0+020	285	3	0.01	0.01	274.45	1.37	3.02	-0.42
0+025	251	4	0.01	0.02	267.90	1.34	4.36	-0.80
0+030	300	5	0.01	0.02	275.75	1.38	5.74	-1.14
0+035	174	6	0.01	0.03	237.20	1.19	6.93	-1.67
0+040	255	7	0.01	0.03	214.30	1.07	8.00	-2.32
0+045	212	8	0.01	0.04	233.00	1.17	9.16	-2.87
0+050	294	9	0.01	0.04	252.80	1.26	10.43	-3.33
0+055	319	10	0.01	0.05	306.75	1.53	11.96	-3.52
0+059	503	11	0.00	0.05	411.30	1.65	13.61	-3.25
0+065	413	12	0.01	0.06	458.15	2.75	16.36	-2.56
0+070	424	13	0.01	0.06	418.45	2.09	18.45	-2.19
0+075	375	14	0.01	0.07	399.30	2.00	20.45	-1.91
0+080	516	15	0.01	0.07	445.30	2.23	22.67	-1.40
0+085	407	16	0.01	0.08	461.35	2.31	24.98	-0.82
0+090	608	17	0.01	0.08	507.40	2.54	27.52	0.00

A_t	27.52
F	343.94

Sectores Homogéneos Deflexiones centrales

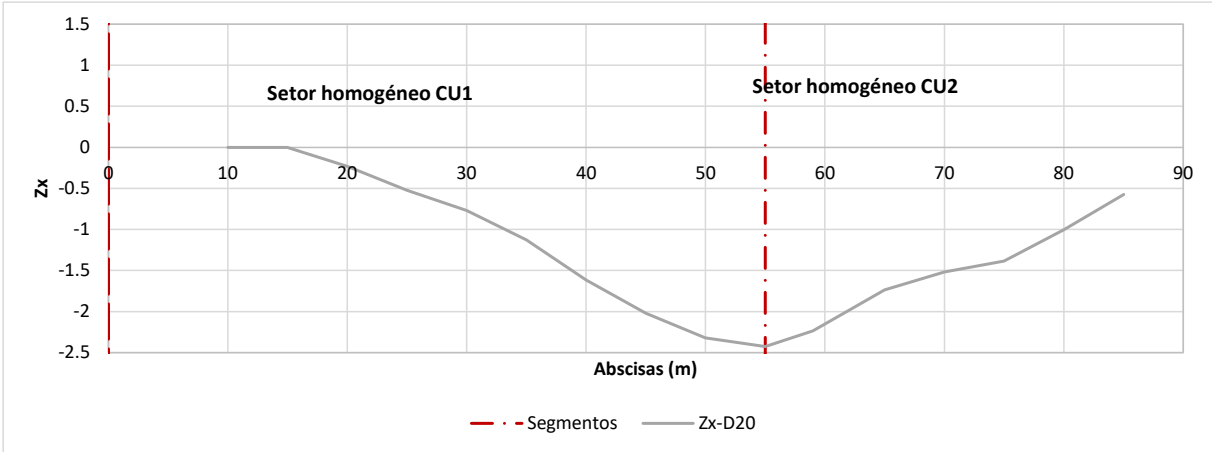


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 20cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D20	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	322	1	0.00	0.00	321.90	0.00	0.00	0.00
0+015	215	2	0.005	0.01	268.50	1.34	1.34	0.00
0+020	231	3	0.01	0.01	223.15	1.12	2.46	-0.23
0+025	191	4	0.01	0.02	210.85	1.05	3.51	-0.53
0+030	250	5	0.01	0.02	220.00	1.10	4.61	-0.77
0+035	146	6	0.01	0.03	197.65	0.99	5.60	-1.13
0+040	198	7	0.01	0.03	172.10	0.86	6.46	-1.61
0+045	177	8	0.01	0.04	187.75	0.94	7.40	-2.02
0+050	241	9	0.01	0.04	209.10	1.05	8.45	-2.32
0+055	256	10	0.01	0.05	248.45	1.24	9.69	-2.43
0+059	378	11	0.00	0.05	316.75	1.27	10.95	-2.24
0+065	327	12	0.01	0.06	352.20	2.11	13.07	-1.74
0+070	300	13	0.01	0.06	313.30	1.57	14.63	-1.52
0+075	290	14	0.01	0.07	295.15	1.48	16.11	-1.39
0+080	401	15	0.01	0.07	345.90	1.73	17.84	-1.00
0+085	309	16	0.01	0.08	355.30	1.78	19.62	-0.57
0+090	459	17	0.01	0.08	383.90	1.92	21.54	0.00

A_t	21.54
F	269.20

Sectores Homogéneos Deflexiones a 20 cm del punto de aplicación de la carga

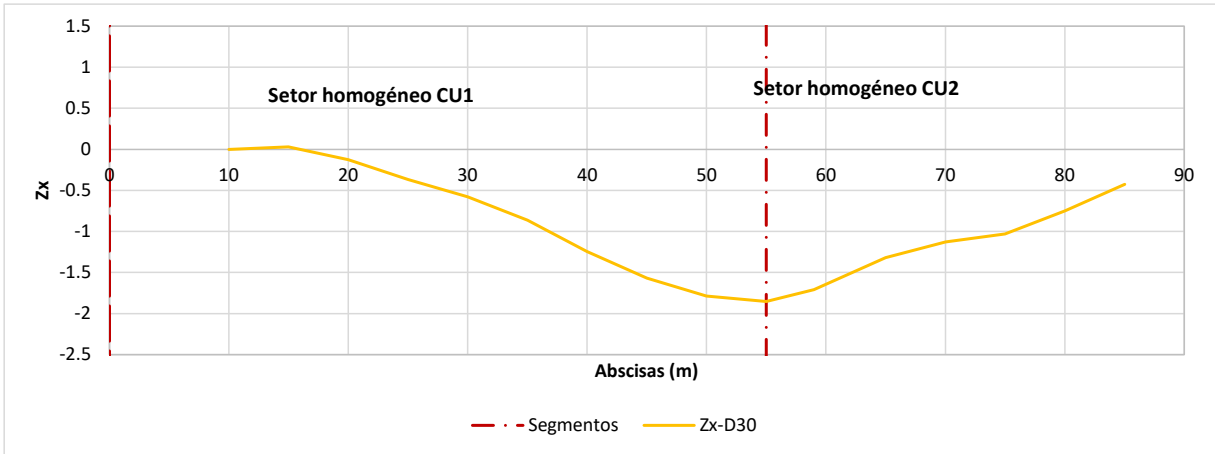


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 30cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D30	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	274	1	0.00	0.00	274.00	0.00	0.00	0.00
0+015	193	2	0.005	0.01	233.25	1.17	1.17	0.03
0+020	198	3	0.01	0.01	195.25	0.98	2.14	-0.13
0+025	159	4	0.01	0.02	178.40	0.89	3.03	-0.37
0+030	211	5	0.01	0.02	184.75	0.92	3.96	-0.58
0+035	129	6	0.01	0.03	169.85	0.85	4.81	-0.86
0+040	172	7	0.01	0.03	150.50	0.75	5.56	-1.25
0+045	153	8	0.01	0.04	162.25	0.81	6.37	-1.57
0+050	214	9	0.01	0.04	183.40	0.92	7.29	-1.79
0+055	213	10	0.01	0.05	213.50	1.07	8.36	-1.85
0+059	313	11	0.00	0.05	262.85	1.05	9.41	-1.71
0+065	271	12	0.01	0.06	291.75	1.75	11.16	-1.32
0+070	260	13	0.01	0.06	265.00	1.33	12.48	-1.13
0+075	234	14	0.01	0.07	246.60	1.23	13.72	-1.03
0+080	332	15	0.01	0.07	283.05	1.42	15.13	-0.75
0+085	251	16	0.01	0.08	291.45	1.46	16.59	-0.43
0+090	374	17	0.01	0.08	312.25	1.56	18.15	0.00

A_t	18.15
F	226.87

Sectores Homogéneos Deflexiones a 30 cm del punto de aplicación de la carga

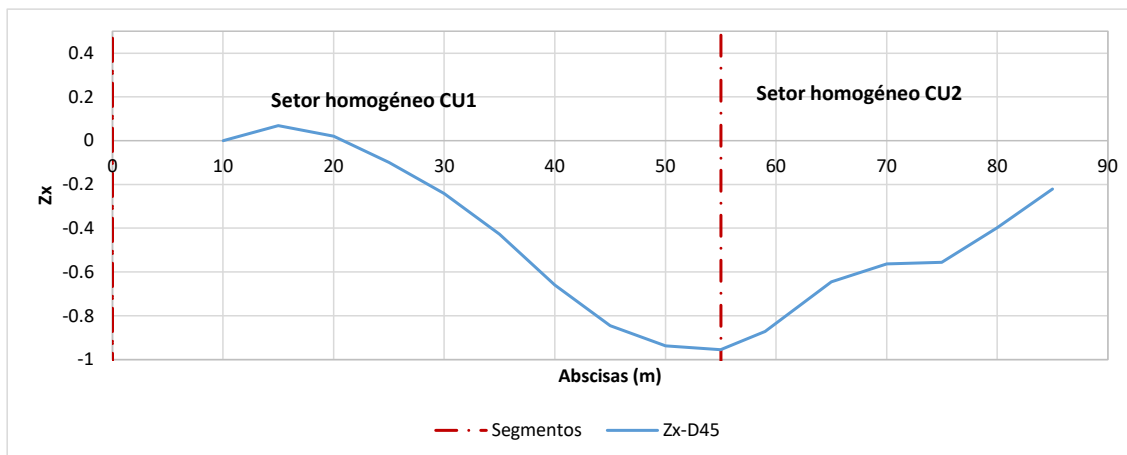


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 45cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D45	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	209	1	0.00	0.00	209.10	0.00	0.00	0.00
0+015	151	2	0.005	0.01	180.00	0.90	0.90	0.07
0+020	162	3	0.01	0.01	156.50	0.78	1.68	0.02
0+025	123	4	0.01	0.02	142.60	0.71	2.40	-0.10
0+030	152	5	0.01	0.02	137.70	0.69	3.08	-0.24
0+035	107	6	0.01	0.03	129.40	0.65	3.73	-0.43
0+040	133	7	0.01	0.03	119.70	0.60	4.33	-0.66
0+045	126	8	0.01	0.04	129.20	0.65	4.98	-0.85
0+050	171	9	0.01	0.04	148.05	0.74	5.72	-0.94
0+055	155	10	0.01	0.05	162.80	0.81	6.53	-0.95
0+059	219	11	0.00	0.05	187.00	0.75	7.28	-0.87
0+065	189	12	0.01	0.06	204.15	1.22	8.50	-0.64
0+070	176	13	0.01	0.06	182.60	0.91	9.42	-0.56
0+075	160	14	0.01	0.07	167.90	0.84	10.26	-0.56
0+080	235	15	0.01	0.07	197.65	0.99	11.24	-0.40
0+085	168	16	0.01	0.08	201.75	1.01	12.25	-0.22
0+090	253	17	0.01	0.08	210.60	1.05	13.31	0.00

A_t	13.31
F	166.31

Sectores Homogéneos Deflexiones a 45 cm del punto de aplicación de la carga

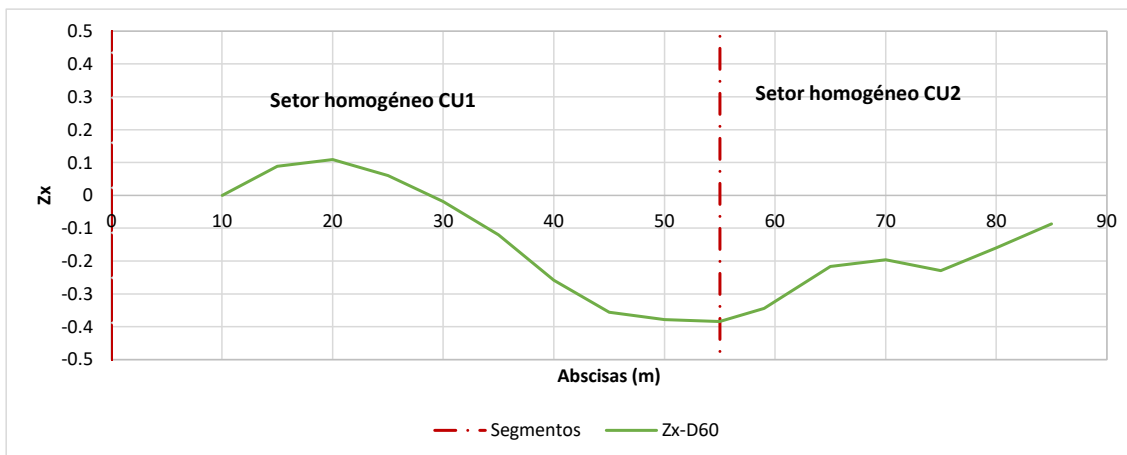


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 60cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D60	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	161	1	0.00	0.00	160.80	0.00	0.00	0.00
0+015	125	2	0.005	0.01	143.00	0.72	0.72	0.09
0+020	134	3	0.01	0.01	129.35	0.65	1.36	0.11
0+025	97	4	0.01	0.02	115.25	0.58	1.94	0.06
0+030	122	5	0.01	0.02	109.60	0.55	2.49	-0.02
0+035	88	6	0.01	0.03	104.85	0.52	3.01	-0.12
0+040	107	7	0.01	0.03	97.45	0.49	3.50	-0.26
0+045	104	8	0.01	0.04	105.85	0.53	4.03	-0.36
0+050	137	9	0.01	0.04	120.70	0.60	4.63	-0.38
0+055	111	10	0.01	0.05	124.10	0.62	5.25	-0.38
0+059	159	11	0.00	0.05	135.05	0.54	5.79	-0.34
0+065	134	12	0.01	0.06	146.55	0.88	6.67	-0.22
0+070	125	13	0.01	0.06	129.35	0.65	7.32	-0.20
0+075	113	14	0.01	0.07	118.55	0.59	7.91	-0.23
0+080	166	15	0.01	0.07	139.00	0.70	8.60	-0.16
0+085	114	16	0.01	0.08	139.85	0.70	9.30	-0.09
0+090	171	17	0.01	0.08	142.60	0.71	10.02	0.00

A_t	10.02
F	125.21

Sectores Homogéneos Deflexiones a 60 cm del punto de aplicación de la carga

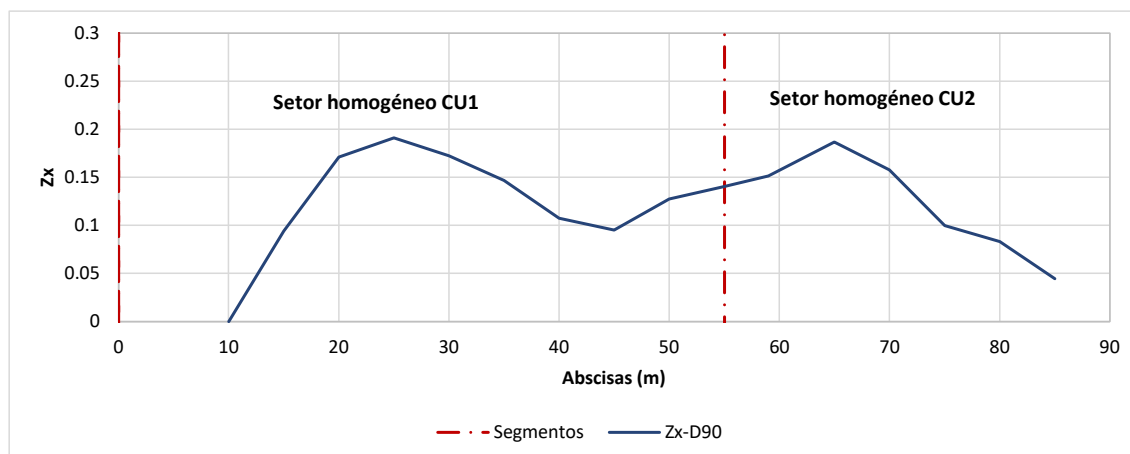


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 90cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D90	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	99	1	0.00	0.00	99.20	0.00	0.00	0.00
0+015	88	2	0.005	0.01	93.40	0.47	0.47	0.09
0+020	92	3	0.01	0.01	89.95	0.45	0.92	0.17
0+025	65	4	0.01	0.02	78.55	0.39	1.31	0.19
0+030	77	5	0.01	0.02	70.80	0.35	1.66	0.17
0+035	62	6	0.01	0.03	69.45	0.35	2.01	0.15
0+040	71	7	0.01	0.03	66.75	0.33	2.34	0.11
0+045	73	8	0.01	0.04	72.10	0.36	2.71	0.10
0+050	89	9	0.01	0.04	81.00	0.41	3.11	0.13
0+055	65	10	0.01	0.05	77.15	0.39	3.50	0.14
0+059	90	11	0.00	0.05	77.30	0.31	3.80	0.15
0+065	71	12	0.01	0.06	80.45	0.48	4.29	0.19
0+070	66	13	0.01	0.06	68.80	0.34	4.63	0.16
0+075	60	14	0.01	0.07	62.95	0.31	4.95	0.10
0+080	83	15	0.01	0.07	71.25	0.36	5.30	0.08
0+085	51	16	0.01	0.08	66.85	0.33	5.64	0.04
0+090	80	17	0.01	0.08	65.65	0.33	5.97	0.00

A_t	5.97
F	74.56

Sectores Homogéneos Deflexiones a 90 cm del punto de aplicación de la carga

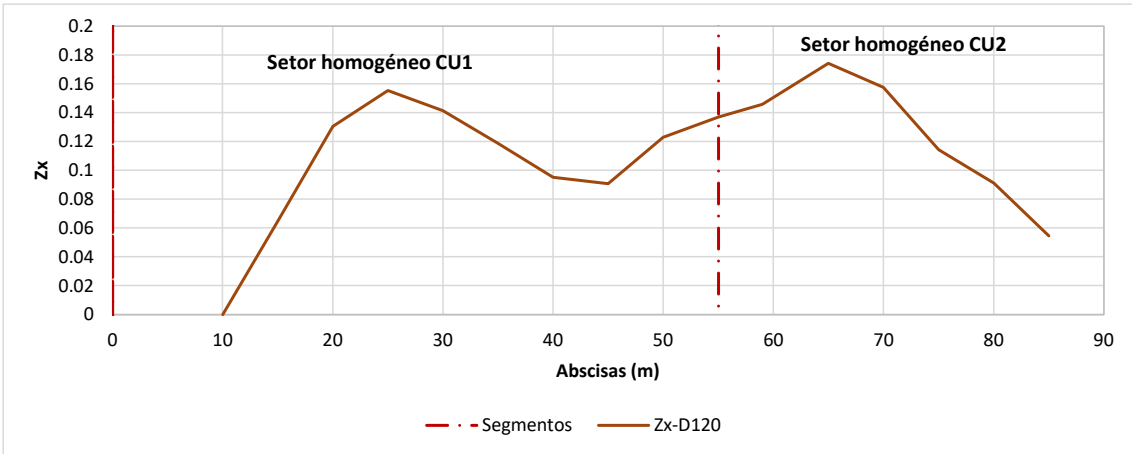


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 120cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D120	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	63	1	0.00	0.00	62.50	0.00	0.00	0.00
0+015	63	2	0.005	0.01	62.50	0.31	0.31	0.06
0+020	63	3	0.01	0.01	62.65	0.31	0.63	0.13
0+025	46	4	0.01	0.02	54.50	0.27	0.90	0.16
0+030	47	5	0.01	0.02	46.75	0.23	1.13	0.14
0+035	43	6	0.01	0.03	45.00	0.23	1.36	0.12
0+040	47	7	0.01	0.03	44.85	0.22	1.58	0.10
0+045	50	8	0.01	0.04	48.65	0.24	1.82	0.09
0+050	62	9	0.01	0.04	55.95	0.28	2.10	0.12
0+055	43	10	0.01	0.05	52.35	0.26	2.37	0.14
0+059	60	11	0.00	0.05	51.75	0.21	2.57	0.15
0+065	48	12	0.01	0.06	54.30	0.33	2.90	0.17
0+070	44	13	0.01	0.06	46.15	0.23	3.13	0.16
0+075	38	14	0.01	0.07	40.90	0.20	3.33	0.11
0+080	52	15	0.01	0.07	44.90	0.22	3.56	0.09
0+085	32	16	0.01	0.08	42.20	0.21	3.77	0.05
0+090	45	17	0.01	0.08	38.65	0.19	3.96	0.00

A_t	3.96
F	49.53

Sectores Homogéneos Deflexiones a 120 cm del punto de aplicación de la carga

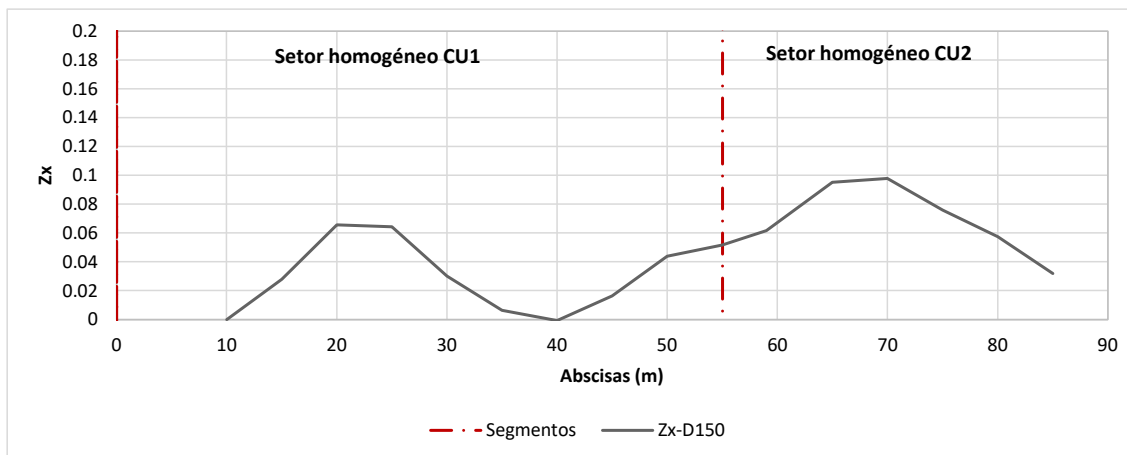


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 150cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D150	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	44	1	0.00	0.00	43.60	0.00	0.00	0.00
0+015	45	2	0.005	0.01	44.50	0.22	0.22	0.03
0+020	48	3	0.01	0.01	46.45	0.23	0.45	0.07
0+025	30	4	0.01	0.02	38.65	0.19	0.65	0.06
0+030	34	5	0.01	0.02	32.10	0.16	0.81	0.03
0+035	34	6	0.01	0.03	34.15	0.17	0.98	0.01
0+040	41	7	0.01	0.03	37.50	0.19	1.17	0.00
0+045	44	8	0.01	0.04	42.35	0.21	1.38	0.02
0+050	45	9	0.01	0.04	44.40	0.22	1.60	0.04
0+055	36	10	0.01	0.05	40.45	0.20	1.80	0.05
0+059	47	11	0.00	0.05	41.45	0.17	1.97	0.06
0+065	42	12	0.01	0.06	44.50	0.27	2.24	0.10
0+070	37	13	0.01	0.06	39.45	0.20	2.43	0.10
0+075	32	14	0.01	0.07	34.50	0.17	2.61	0.08
0+080	39	15	0.01	0.07	35.25	0.18	2.78	0.06
0+085	29	16	0.01	0.08	33.80	0.17	2.95	0.03
0+090	36	17	0.01	0.08	32.55	0.16	3.11	0.00

A_t	3.11
F	38.92

Sectores Homogéneos Deflexiones a 150 cm del punto de aplicación de la carga

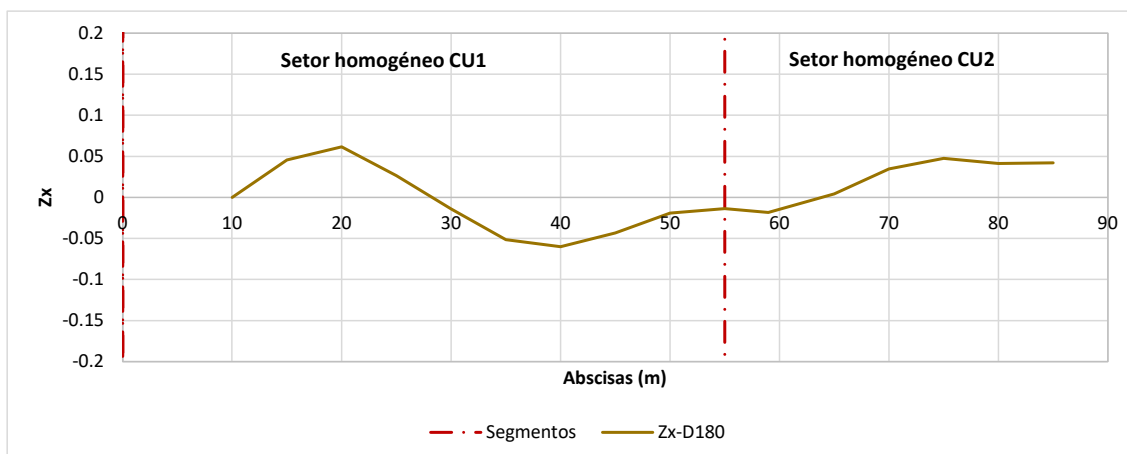


Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Diferencias acumuladas geófono a 180cm de la aplicación de carga tramo Cundinamarca								
Abscisa	D180	Numero de Intervalo	Distancia Intervalo (km)	Distancia Acumulada (km)	Promedio	Intervalo de Área Real	Área Acumulada	Zx
0+010	43	1	0.00	0.00	42.90	0.00	0.00	0.00
0+015	40	2	0.005	0.01	41.65	0.21	0.21	0.05
0+020	31	3	0.01	0.01	35.70	0.18	0.39	0.06
0+025	20	4	0.01	0.02	25.45	0.13	0.51	0.03
0+030	29	5	0.01	0.02	24.40	0.12	0.64	-0.01
0+035	21	6	0.01	0.03	25.10	0.13	0.76	-0.05
0+040	40	7	0.01	0.03	30.80	0.15	0.92	-0.06
0+045	31	8	0.01	0.04	35.80	0.18	1.09	-0.04
0+050	43	9	0.01	0.04	37.35	0.19	1.28	-0.02
0+055	24	10	0.01	0.05	33.60	0.17	1.45	-0.01
0+059	39	11	0.00	0.05	31.35	0.13	1.57	-0.02
0+065	34	12	0.01	0.06	36.30	0.22	1.79	0.00
0+070	44	13	0.01	0.06	38.60	0.19	1.99	0.03
0+075	27	14	0.01	0.07	35.10	0.18	2.16	0.05
0+080	36	15	0.01	0.07	31.25	0.16	2.32	0.04
0+085	30	16	0.01	0.08	32.65	0.16	2.48	0.04
0+090	19	17	0.01	0.08	24.15	0.12	2.60	0.00

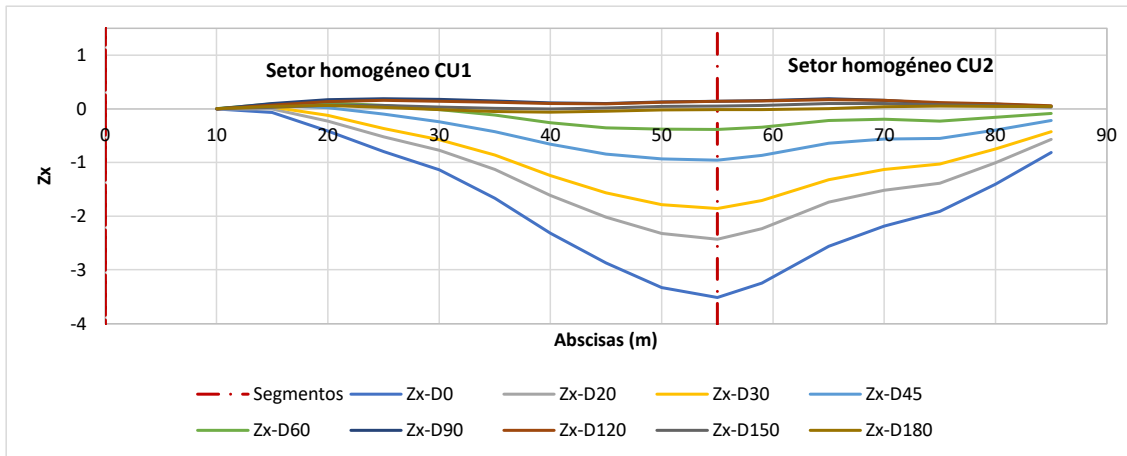
A_t	2.60
F	32.52

Sectores Homogéneos Deflexiones a 180 cm del punto de aplicación de la carga



Diferencias acumuladas por deflexiones tramo experimental Cundinamarca

Sectores Homogéneos todos los geófonos



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Villa Luz Sector VL1

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	26
Cantidad de datos descartados	8
% de datos descartados	31%

x x x

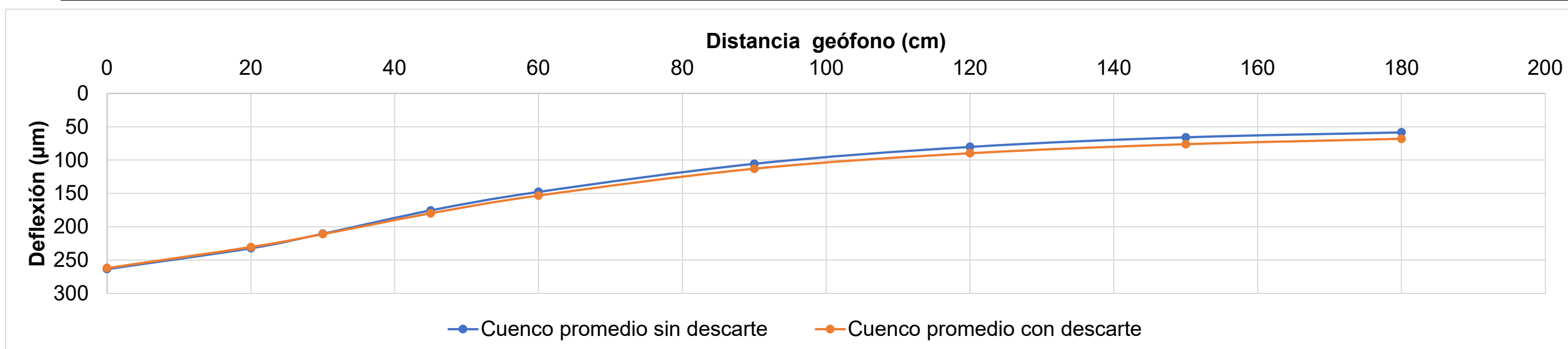
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Criterio Z									Datos descartados	Singularidades	
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180			
1	Villa Luz	0													0	0	0	0	0	0			x
1	Villa Luz	5													0	0	0	0	0	0			x
1	Villa Luz	11													0	0	0	0	0	0			x
1	Villa Luz	15													0	0	0	0	0	0			x
1	Villa Luz	20	274	246	218	182	154	113	83	67	63	0.893	1.263	0.889	0	0	0	0	0	0	X		
1	Villa Luz	25	271	240	220	179	152	107	81	66	53	0.602	0.707	1.084	0	0	0	0	0	0	X		
1	Villa Luz	30	257	228	198	164	139	100	73	59	55	0.522	0.424	1.413	0	0	0	0	0	0	X		
1	Villa Luz	35	285	252	221	180	145	93	69	58	44	1.801	1.904	1.210	0	0	0	0	0	0	X		
1	Villa Luz	40	265	234	213	180	147	101	89	85	77	0.136	0.217	0.328	0	0	0	0	0	0			
1	Villa Luz	45													0	0	0	0	0	0			x
1	Villa Luz	50													0	0	0	0	0	0			x
1	Villa Luz	55	248	218	204	169	140	98	69	50	44	1.305	1.329	0.737	0	0	0	0	0	0	X		
1	Villa Luz	60	255	229	214	184	165	124	96	77	69	0.664	0.283	0.374	0	0	0	0	0	0			
2	Villa Luz	0													0	0	0	0	0	0			x
2	Villa Luz	5													0	0	0	0	0	0			x
2	Villa Luz	11													0	0	0	0	0	0			x
2	Villa Luz	15													0	0	0	0	0	0			x
2	Villa Luz	20	269	233	212	177	151	111	82	69	61	0.477	0.057	0.214	0	0	0	0	0	0			
2	Villa Luz	25	266	229	206	177	149	114	83	65	54	0.194	0.254	0.497	0	0	0	0	0	0			
2	Villa Luz	30	254	221	194	162	138	99	73	59	54	0.822	1.093	1.894	0	0	0	0	0	0	X		
2	Villa Luz	35	282	246	223	177	143	95	70	55	52	1.576	1.338	1.405	0	0	0	0	0	0	X		
2	Villa Luz	40	262	230	212	178	146	101	90	83	77	0.106	0.245	0.179	0	0	0	0	0	0			
2	Villa Luz	45													0	0	0	0	0	0			x
2	Villa Luz	50													0	0	0	0	0	0			x
2	Villa Luz	55	246	218	202	166	138	96	66	50	45	1.422	1.357	0.920	0	0	0	0	0	0	X		
2	Villa Luz	60	253	227	208	183	160	127	99	79	71	0.839	0.500	0.222	0	0	0	0	0	0			

Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL1 sin descartes											
Media	281	248	225	188	158	112	83	67	60		
Desviación	35.2	30.6	28.9	22.2	18.5	15.0	11.8	10.8	9.8		
Coficiente de variación	13%	12%	13%	12%	12%	13%	14%	16%	16%		
Cantidad de datos	26										

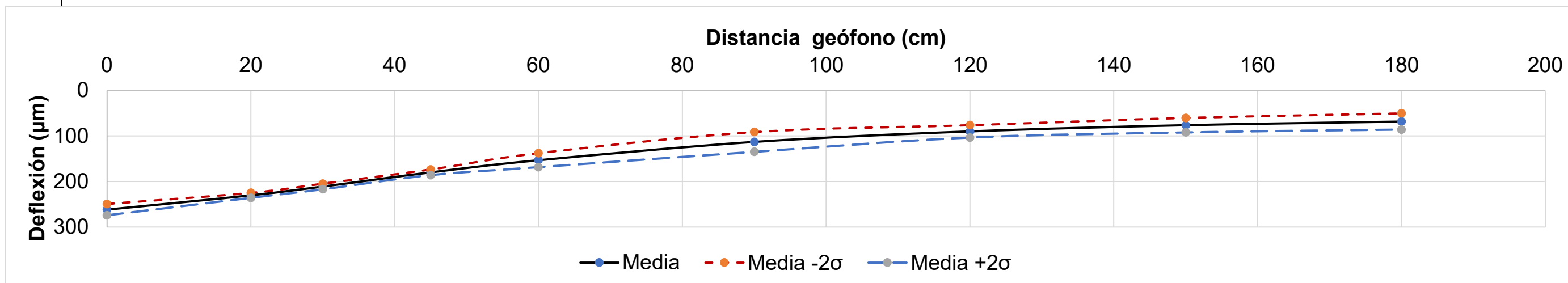
Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL1 Descartando singularidades									
Media	263	232	210	175	148	106	80	66	58
Desviación	12.0	10.6	8.7	7.3	8.4	10.7	10.5	11.5	11.4
Coefficiente de variación	5%	5%	4%	4%	6%	10%	13%	17%	19%
Cantidad de datos descartados	12								

Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL1 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	262	230	211	180	153	113	90	76	68
Desviación	6.2	2.7	3.0	3.1	7.7	10.9	6.8	7.9	8.9
Coefficiente de variación	2.4%	1.2%	1.4%	1.7%	5.0%	9.6%	7.6%	10.4%	13.1%
Cantidad de datos descartados	8								

Cuenco representativo de deflexiones



Cuenco de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Villa Luz Sector VL2

Método del módulo de superficie

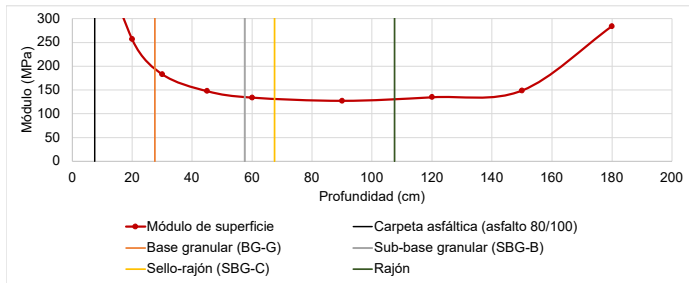
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)																	Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200	1500						
1	40	Villa Luz	0	287	252	231	191	159	109	77	56	51	520	222	161	130	117	114	121	133	242		x			
1	40	Villa Luz	5	248	218	197	170	146	104	79	61	63	601	257	189	146	128	119	118	123	197					
1	40	Villa Luz	11	280	269	249	211	177	127	92	75	66	532	208	149	118	105	98	101	100	189			x	X	
1	40	Villa Luz	15	281	241	214	178	157	109	81	56	59	530	232	174	139	119	114	115	133	210					
1	40	Villa Luz	20	274	246	218	182	154	113	83	67	63	543	228	171	137	121	109	113	111	197				X	X
1	40	Villa Luz	25	271	240	220	179	152	107	81	66	53	551	233	169	139	123	116	115	113	235					
1	40	Villa Luz	30	257	228	198	164	139	100	73	59	55	579	245	188	152	134	125	127	126	225		x			
1	40	Villa Luz	35	285	252	221	180	145	93	69	58	44	523	221	169	138	128	134	135	129	285			x	X	X
1	40	Villa Luz	40	265	234	213	180	147	101	89	85	77	562	238	175	138	127	123	105	88	162				X	X
1	40	Villa Luz	45	367	312	287	223	183	120	86	69	63	406	179	130	111	102	103	109	108	197			x		
1	40	Villa Luz	50	353	314	287	240	205	150	110	85	72	422	178	130	103	91	83	84	87	173				X	
1	40	Villa Luz	55	248	218	204	169	140	98	69	50	44	601	256	183	147	133	127	135	148	283			x	X	
1	40	Villa Luz	60	255	229	214	184	165	124	96	77	69	583	244	174	135	113	100	97	97	181					X
2	40	Villa Luz	0	287	250	226	189	158	109	75	57	55	519	224	165	132	118	113	124	130	227		x	x	X	
2	40	Villa Luz	5	242	214	195	167	143	102	79	60	58	616	261	191	148	130	122	117	125	213			x		
2	40	Villa Luz	11	316	267	245	207	174	127	90	72	64	471	210	152	120	107	98	104	103	193					
2	40	Villa Luz	15	276	237	203	176	155	106	77	68	47	540	236	184	141	120	118	121	110	262					
2	40	Villa Luz	20	269	233	212	177	151	111	82	69	61	554	240	176	140	123	112	114	108	205					
2	40	Villa Luz	25	266	229	206	177	149	114	83	65	54	561	244	181	141	125	109	113	115	229			x	X	
2	40	Villa Luz	30	254	221	194	162	138	99	73	59	54	588	253	192	153	135	126	128	126	229		x			X
2	40	Villa Luz	35	282	246	223	177	143	95	70	55	52	528	227	167	140	131	131	133	135	241			x	X	
2	40	Villa Luz	40	262	230	212	178	146	101	90	83	77	568	243	176	139	127	123	104	89	162					
2	40	Villa Luz	45	358	305	278	223	178	119	84	67	62	417	183	134	112	105	104	111	111	202					
2	40	Villa Luz	50	345	308	279	236	202	149	113	84	72	431	181	133	105	92	84	83	88	171				X	X
2	40	Villa Luz	55	246	218	202	166	138	96	66	50	45	605	257	184	149	135	130	140	148	275				X	
2	40	Villa Luz	60	253	227	208	183	160	127	99	79	71	588	246	179	136	116	98	95	95	175					

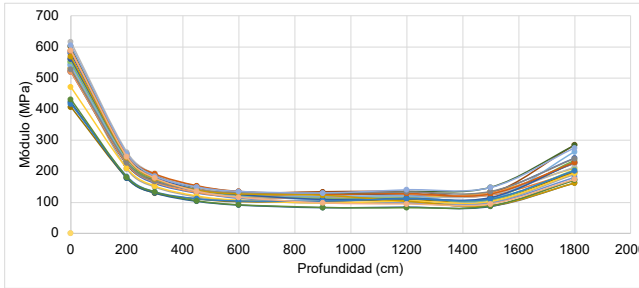
Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas										
Media	262	230	211	180	153	113	90	76	68	
Desviación	6.2	2.7	3.0	3.1	7.7	10.9	6.8	7.9	8.9	
Coefficiente de variación	2.4%	1.2%	1.4%	1.7%	5.0%	9.6%	7.6%	10.4%	13.1%	
Media -2σ	249	225	205	174	138	91	76	60	50	
Media +2σ	274	236	217	186	168	135	103	92	86	
Cantidad de datos descartados	8									

Ejemplo módulo de superficie	
ABSCISA	
0	601
20	256
30	183
45	147
60	133
90	127
120	135
150	148
180	283

Ejemplo módulo de superficie abscisa 55 Tramo Villa Luz Sector VL2



Módulos de superficie Tramo Villa Luz Sector VL2



Analisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Villa Luz Sector VL2

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	16
Cantidad de datos descartados	4
% de datos descartados	25%

x x x

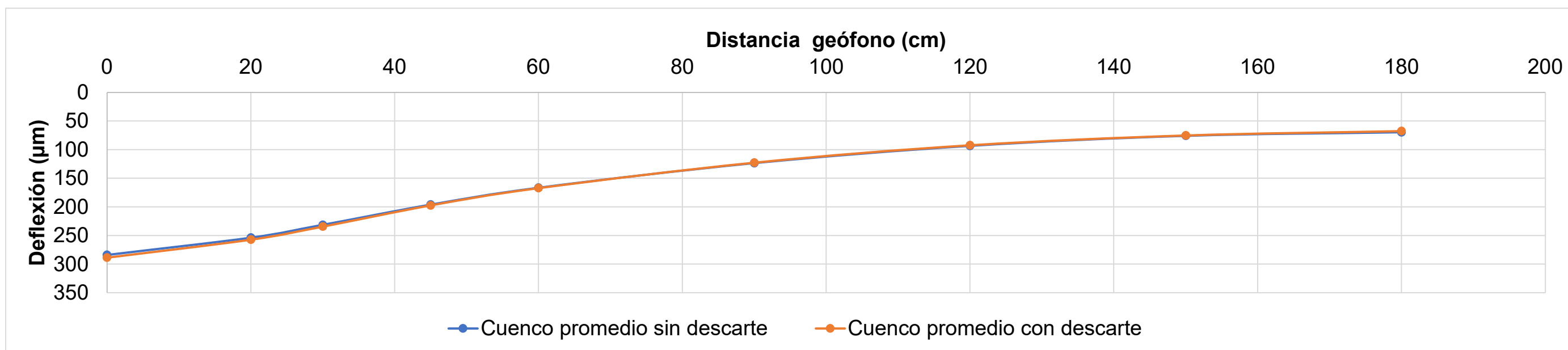
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Criterio Z									Datos descartados	Singularidades
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180		
1	Villa Luz	65													0	0	0	0	0	0		x
1	Villa Luz	70	297	263	241	202	172	126	98	78	65	0.773	0.531	0.658	0	0	0	0	0	0		
1	Villa Luz	75	295	261	233	197	164	120	88	70	67	0.673	0.408	0.127	0	0	0	0	0	0		
1	Villa Luz	80	285	252	234	201	175	134	104	84	76	0.072	0.084	0.173	0	0	0	0	0	0		
1	Villa Luz	85	247	219	199	169	142	106	78	64	58	2.142	2.044	2.103	0	0	0	0	0	0	X	
1	Villa Luz	90	276	244	225	186	153	106	77	64	58	0.454	0.558	0.429	0	0	0	0	0	0		
1	Villa Luz	95	296	271	248	216	187	145	113	90	92	0.726	0.993	1.084	0	0	0	0	0	0	X	
1	Villa Luz	100	290	267	239	202	172	128	95	80	71	0.352	0.753	0.489	0	0	0	0	0	0		
2	Villa Luz	65													0	0	0	0	0	0		x
2	Villa Luz	70	297	263	241	202	172	126	98	78	65	0.773	0.531	0.658	0	0	0	0	0	0		
2	Villa Luz	75	295	261	233	197	164	120	88	70	67	0.673	0.408	0.127	0	0	0	0	0	0		
2	Villa Luz	80	285	252	234	201	175	134	104	84	76	0.072	0.084	0.173	0	0	0	0	0	0		
2	Villa Luz	85	247	219	199	169	142	106	78	64	58	2.142	2.044	2.103	0	0	0	0	0	0	X	
2	Villa Luz	90	276	244	225	186	153	106	77	64	58	0.454	0.558	0.429	0	0	0	0	0	0		
2	Villa Luz	95	296	271	248	216	187	145	113	90	92	0.726	0.993	1.084	0	0	0	0	0	0	X	
2	Villa Luz	100	290	267	239	202	172	128	95	80	71	0.352	0.753	0.489	0	0	0	0	0	0		

Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL2 sin descartes									
Media	293	260	236	198	167	122	92	74	68
Desviación	30.8	24.0	19.3	14.7	13.6	13.4	12.9	10.5	11.4
Coefficiente de variación	11%	9%	8%	7%	8%	11%	14%	14%	17%
Cantidad de datos	16								

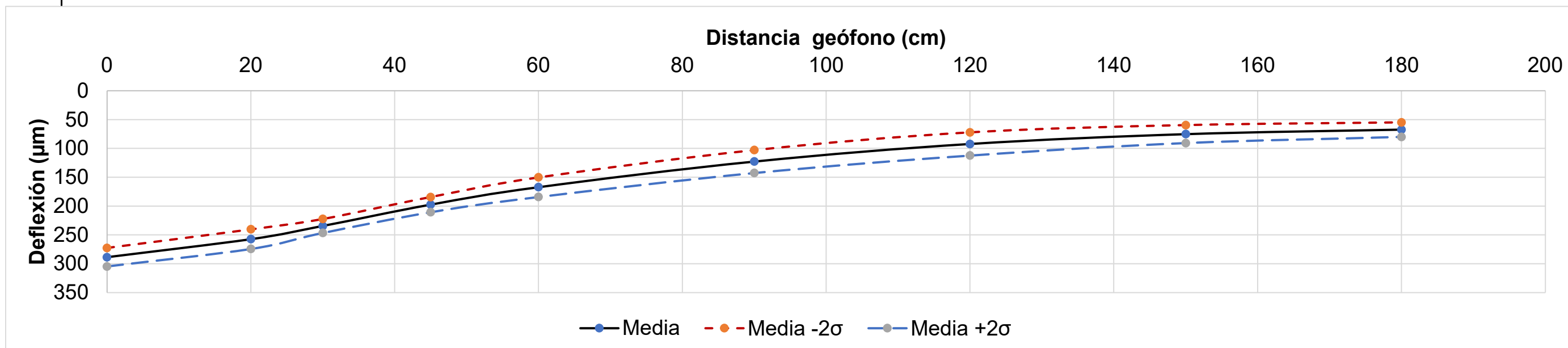
Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL2 Descartando singularidades									
Media	284	254	231	196	166	123	93	76	70
Desviación	17.1	17.1	15.5	14.2	14.4	13.7	12.9	9.9	11.4
Coefficiente de variación	6%	7%	7%	7%	9%	11%	14%	13%	16%
Cantidad de datos descartados	2								

Estadísticas Villa Luz zona homogénea VL2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	289	257	234	197	167	123	92	75	67
Desviación	8.0	8.5	6.1	6.6	8.5	9.9	10.0	7.8	6.3
Coefficiente de variación	2.8%	3.3%	2.6%	3.3%	5.1%	8.1%	10.9%	10.4%	9.4%
Cantidad de datos descartados	4								

Cuenco de deflexiones promedio



Cuenco de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Villa Luz Sector VL2

Método del módulo de superficie

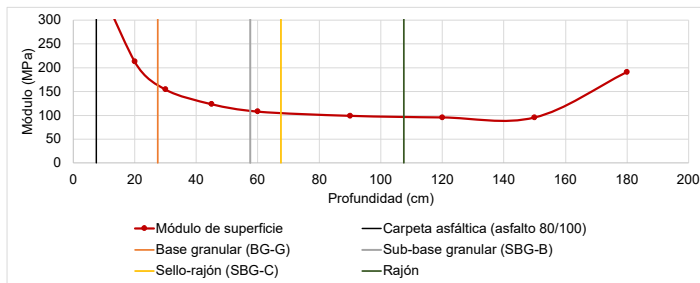
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)																Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z					
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200							1500	1800			
1	40	Villa Luz	65	361	306	269	215	173	112	80	61	57	413	182	139	116	108	111	116	122	217									
1	40	Villa Luz	70	297	263	241	202	172	126	98	78	65	502	213	154	123	108	99	95	95	191									
1	40	Villa Luz	75	295	261	233	197	164	120	88	70	67	504	214	160	126	114	104	106	107	186		x							
1	40	Villa Luz	80	285	252	234	201	175	134	104	84	76	523	222	159	124	107	93	89	89	162							X	X	
1	40	Villa Luz	85	247	219	199	169	142	106	78	64	58	603	255	187	147	131	117	119	117	214									
1	40	Villa Luz	90	276	244	225	186	153	106	77	64	58	540	229	166	134	122	117	122	117	213									
1	40	Villa Luz	95	296	271	248	216	187	145	113	90	92	503	206	150	115	100	86	82	82	135						X			
1	40	Villa Luz	100	290	267	239	202	172	128	95	80	71	514	210	156	123	108	97	98	93	176		x	x					X	
2	40	Villa Luz	65	354	302	264	211	170	112	79	61	60	421	185	141	118	109	111	118	122	209									X
2	40	Villa Luz	70	293	259	237	199	170	126	98	80	66	508	215	157	125	109	99	95	93	189			x						
2	40	Villa Luz	75	291	259	231	194	162	118	88	69	63	512	216	161	128	115	106	106	107	197									
2	40	Villa Luz	80	279	248	234	197	172	133	105	82	79	535	225	159	126	108	93	89	91	157			x						
2	40	Villa Luz	85	243	213	193	167	140	108	77	64	58	614	262	193	149	133	115	120	116	214						X		X	
2	40	Villa Luz	90	272	239	219	182	150	104	78	67	60	547	234	170	136	124	120	120	112	207			x						
2	40	Villa Luz	95	295	257	241	213	187	146	114	91	85	506	218	154	117	100	85	82	82	147			x		X				
2	40	Villa Luz	100	287	260	232	200	170	126	95	76	71	519	215	160	124	110	99	98	98	175			x						

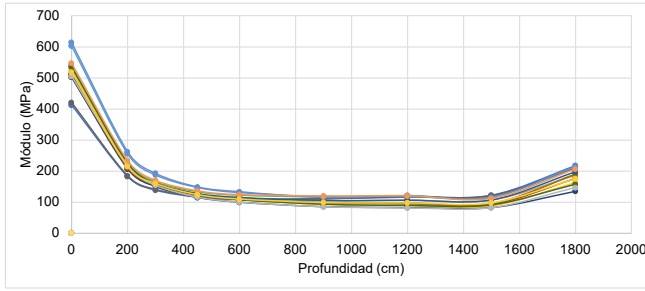
	289	257	234	197	167	123	92	75	67
Media	8	8	6	7	8	10	10	8	6
Desviación	2.8%	3.3%	2.6%	3.3%	5.1%	8.1%	10.9%	10.4%	9.4%
Coefficiente de variación	273	240	222	184	150	103	72	60	55
Media - σ	305	274	247	211	184	143	112	91	80
Media + σ	4								
Cantidad de datos descartados									

ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180
70	502	213	154	123	108	99	95	95	191

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Villa Luz Sector VL2



Módulos de superficie Tramo Villa Luz Sector VL2



Analisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Restrepo Sector PT2

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	16
Cantidad de datos descartados	6
% de datos descartados	38%

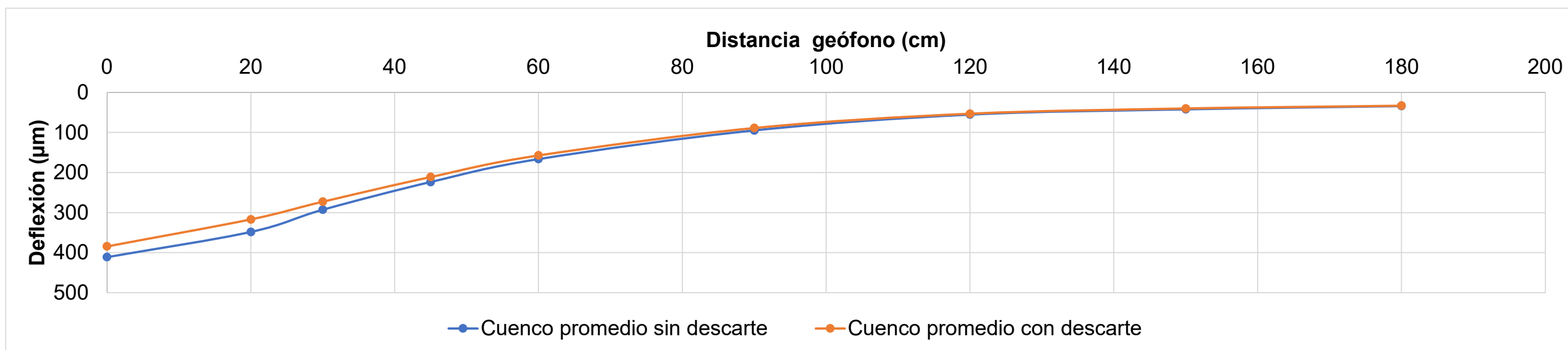
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Criterio Z									Datos descartados	Singularidades
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180		
1	Restrepo	0													0	0	0	0	0	0		x
1	Restrepo	5	391	316	275	213	160	91	54	42	32	0.265	0.481	0.354	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	10	511	441	343	247	174	97	50	50	32	1.309	1.384	1.022	0	0	0	0	0	0	X	
1	Restrepo	15	374	313	268	211	160	89	56	39	30	0.485	0.521	0.501	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	20	500	430	366	280	209	118	68	46	41	1.167	1.220	1.505	0	0	0	0	0	0	X	
1	Restrepo	25	388	321	274	209	152	86	49	38	37	0.301	0.407	0.380	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	30													0	0	0	0	0	0		x
1	Restrepo	35	302	268	230	181	142	88	53	36	31	1.425	1.195	1.292	0	0	0	0	0	0	X	
2	Restrepo	0													0	0	0	0	0	0		x
2	Restrepo	5	391	316	275	213	160	91	54	42	32	0.265	0.481	0.354	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	10	511	441	343	247	174	97	50	50	32	1.309	1.384	1.022	0	0	0	0	0	0	X	
2	Restrepo	15	374	313	268	211	160	89	56	39	30	0.485	0.521	0.501	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	20	500	430	366	280	209	118	68	46	41	1.167	1.220	1.505	0	0	0	0	0	0	X	
2	Restrepo	25	388	321	274	209	152	86	49	38	37	0.301	0.407	0.380	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	30													0	0	0	0	0	0		x
2	Restrepo	35	302	268	230	181	142	88	53	36	31	1.425	1.195	1.292	0	0	0	0	0	0	X	

Estadísticas Restrepo zona homogénea PT2 sin descartes									
Media	429	366	312	239	179	103	59	42	35
Desviación	88.1	76.8	66.5	50.5	38.8	22.8	10.3	4.4	3.9
Coefficiente de variación	21%	21%	21%	21%	22%	22%	17%	10%	11%
Cantidad de datos	16								

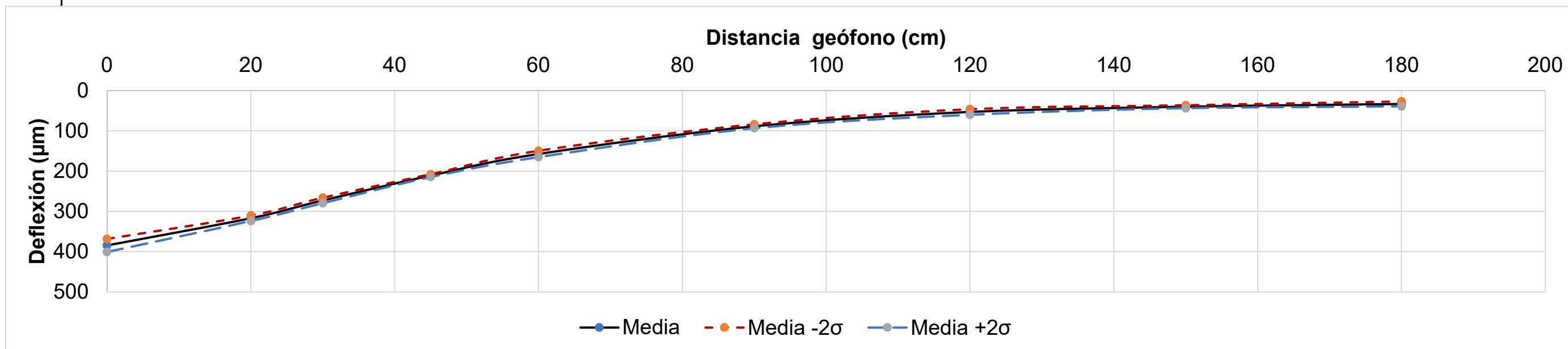
Estadísticas Restrepo zona homogénea PT2 Descartando singularidades									
Media	411	348	293	224	166	95	55	42	34
Desviación	76.1	67.0	48.8	33.0	22.4	11.5	6.6	5.0	4.2
Coefficiente de variación	19%	19%	17%	15%	13%	12%	12%	12%	12%
Cantidad de datos descartados	4								

Estadísticas Restrepo zona homogénea PT2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	384	317	273	211	157	89	53	40	33
Desviación	8.0	3.4	3.4	1.7	3.9	2.4	3.5	1.8	3.1
Coefficiente de variación	2.1%	1.1%	1.3%	0.8%	2.5%	2.7%	6.6%	4.6%	9.5%
Cantidad de datos descartados	6								

Cuenco de deflexiones promedio



Cuenco de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Restrepo Sector RT Método del módulo de superficie

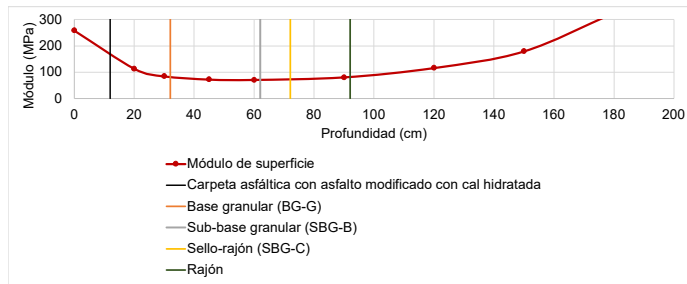
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)																Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z	
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200							1500
1	40	Restrepo	0	579	496	444	346	265	155	80	42	38	257	113	84	72	70	80	116	178	325		x			
1	40	Restrepo	5	391	316	275	213	160	91	54	42	32	381	177	135	117	117	136	171	176	384					
1	40	Restrepo	10	511	441	343	247	174	97	50	50	32	292	127	109	100	107	129	186	149	390			x	X	
1	40	Restrepo	15	374	313	268	211	160	89	56	39	30	398	178	139	118	117	140	166	190	417					
1	40	Restrepo	20	500	430	366	280	209	118	68	46	41	298	130	102	89	89	105	137	162	302				X	X
1	40	Restrepo	25	388	321	274	209	152	86	49	38	37	384	174	136	119	122	145	191	194	338					
1	40	Restrepo	30	385	339	292	225	170	99	59	45	36	387	165	127	110	110	125	157	167	346					
1	40	Restrepo	35	302	268	230	181	142	88	53	36	31	493	208	162	137	131	142	176	209	407			x	X	X
2	40	Restrepo	0	569	493	435	343	262	153	80	41	50	262	113	86	72	71	81	116	181	248		x			X
2	40	Restrepo	5	384	316	271	210	158	87	53	43	30	388	177	138	118	118	143	176	174	417			x		
2	40	Restrepo	10	507	421	336	243	172	98	50	51	30	294	133	111	102	109	127	187	146	410				X	
2	40	Restrepo	15	369	306	264	209	159	87	55	41	31	403	183	141	119	117	142	169	180	399			x		
2	40	Restrepo	20	527	426	360	276	203	117	64	46	39	283	131	103	90	92	106	145	163	322				X	X
2	40	Restrepo	25	379	315	270	206	150	86	50	39	30	393	178	138	121	124	145	187	190	408			x		
2	40	Restrepo	30	432	334	284	219	167	97	59	44	34	345	167	131	113	111	129	159	169	369			x		
2	40	Restrepo	35	297	261	226	179	141	86	53	36	29	502	214	165	139	132	145	177	209	427				X	

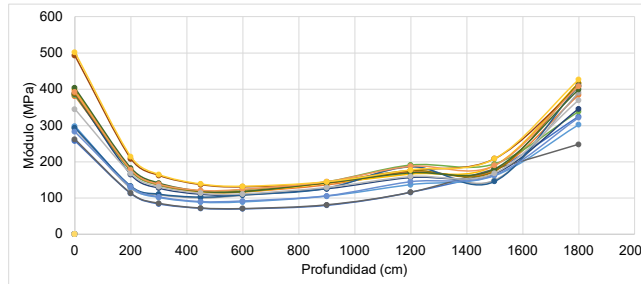
Estadísticas Restrepo zona homogénea RT Descartando singularidades y por desviaciones típicas										
Media	384	317	273	211	157	89	53	40	33	
Desviación	8	3	3	2	4	2	3	2	3	
Coefficiente de variación	2.1%	1.3%	1.3%	0.8%	2.5%	2.7%	6.6%	4.6%	9.5%	
Media -σ	368	310	266	208	149	84	46	36	27	
Media +σ	400	324	279	214	165	93	60	44	39	
Cantidad de datos descartados	6									

Ejemplo módulo de superficie										
ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180	
0	257	113	84	72	70	80	116	178	325	

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Restrepo Sector RT



Módulos de superficie Tramo Restrepo Sector RT



Analisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Restrepo Sector RT2

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	18
Cantidad de datos descartados	6
% de datos descartados	33%

x x x

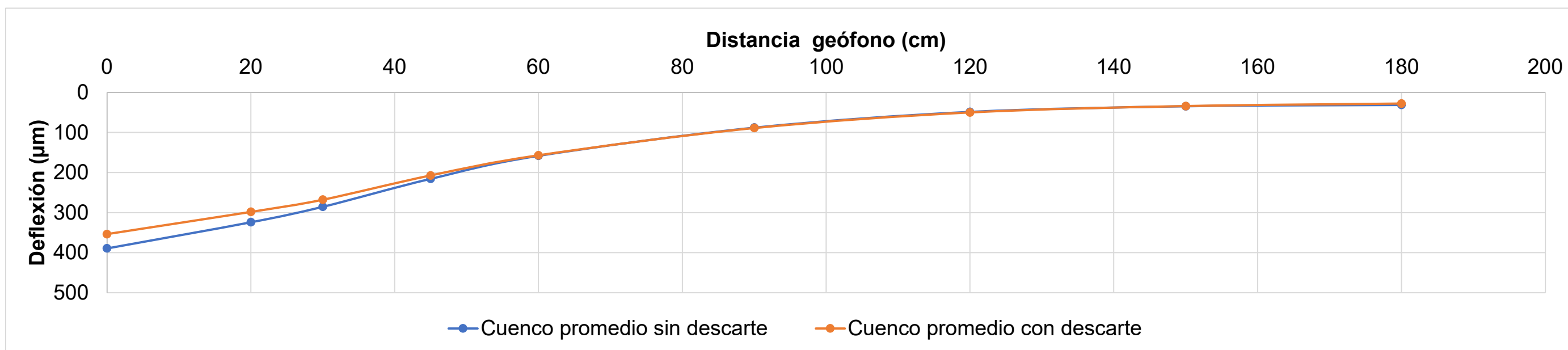
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Criterio Z									Datos descartados	Singularidades
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180		
1	Restrepo	40	524	425	360	264	189	111	59	44	51	1.624	1.523	1.375	0	0	0	0	0	0	X	
1	Restrepo	45	320	261	243	191	147	85	48	36	25	0.827	0.948	0.789	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	50													0	0	0	0	0	0		x
1	Restrepo	55	402	349	318	254	197	120	69	46	34	0.159	0.369	0.597	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	60	350	290	253	186	135	69	38	27	24	0.466	0.504	0.590	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	65	341	292	257	197	147	80	45	27	28	0.574	0.477	0.520	0	0	0	0	0	0		
1	Restrepo	70	298	248	217	162	116	69	40	27	23	1.099	1.136	1.263	0	0	0	0	0	0	X	
1	Restrepo	75	490	405	351	257	174	81	42	35	30	1.216	1.220	1.207	0	0	0	0	0	0	X	
1	Restrepo	80													0	0	0	0	0	0		x
2	Restrepo	40	524	425	360	264	189	111	59	44	51	1.624	1.523	1.375	0	0	0	0	0	0	X	
2	Restrepo	45	320	261	243	191	147	85	48	36	25	0.827	0.948	0.789	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	50													0	0	0	0	0	0		x
2	Restrepo	55	402	349	318	254	197	120	69	46	34	0.159	0.369	0.597	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	60	350	290	253	186	135	69	38	27	24	0.466	0.504	0.590	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	65	341	292	257	197	147	80	45	27	28	0.574	0.477	0.520	0	0	0	0	0	0		
2	Restrepo	70	298	248	217	162	116	69	40	27	23	1.099	1.136	1.263	0	0	0	0	0	0	X	
2	Restrepo	75	485	399	349	253	173	79	43	36	37	1.148	1.124	1.172	0	0	0	0	0	0	X	
2	Restrepo	80													0	0	0	0	0	0		x

Estadísticas Restrepo zona homogénea RT2 sin descartes									
Media	374	309	272	206	152	86	49	35	30
Desviación	97.4	82.7	70.0	51.2	36.0	20.3	10.2	7.6	8.9
Coefficiente de variación	26%	27%	26%	25%	24%	24%	21%	22%	30%
Cantidad de datos	18								

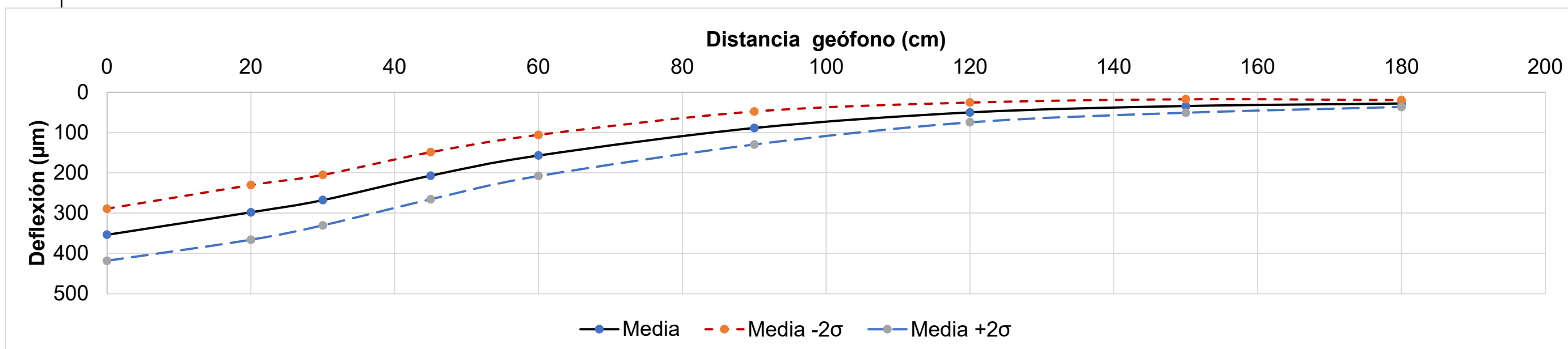
Estadísticas Restrepo zona homogénea RT2 Descartando singularidades									
Media	389	324	285	216	158	88	49	35	31
Desviación	83.2	66.6	54.2	39.3	28.5	19.3	10.8	7.8	9.4
Coefficiente de variación	21%	21%	19%	18%	18%	22%	22%	23%	30%
Cantidad de datos descartados	4								

Estadísticas Restrepo zona homogénea RT2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas										
Media	354	298	268	207	157	89	50	34	28	
Desviación	32.3	33.9	31.4	29.2	25.5	20.5	12.2	8.4	4.3	
Coefficiente de variación	9.1%	11.4%	11.7%	14.1%	16.3%	23.1%	24.5%	24.7%	15.4%	
Cantidad de datos descartados	6									

Cuenco de deflexiones promedio



Cuenco de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Restrepo Sector RT2 Método del módulo de superficie

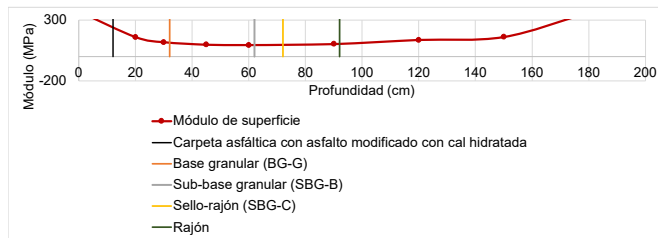
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)																	Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200	1500						
1	40	Restrepo	40	524	425	360	264	189	111	59	44	51	284	131	104	94	98	112	158	170	245				X	
1	40	Restrepo	45	320	261	243	191	147	85	48	36	25	465	214	154	130	127	145	195	207	499					
1	40	Restrepo	50	438	362	318	242	181	100	56	42	30	340	154	117	103	103	124	165	177	418	x	x			
1	40	Restrepo	55	402	349	318	254	197	120	69	46	34	370	160	117	98	94	103	136	162	361					X
1	40	Restrepo	60	350	290	253	186	135	69	38	27	24	425	192	147	133	138	180	246	278	511					
1	40	Restrepo	65	341	292	257	197	147	80	45	27	28	436	191	145	126	126	155	205	273	451					
1	40	Restrepo	70	298	248	217	162	116	69	40	27	23	500	225	172	153	161	180	236	278	547				X	
1	40	Restrepo	75	490	405	351	257	174	81	42	35	30	304	138	106	97	107	154	222	215	421		x	X	X	
1	40	Restrepo	80	204	153	135	105	84	57	42	29	20	731	365	276	236	222	217	223	260	621	x				X
2	40	Restrepo	40	514	415	350	260	190	106	59	37	48	290	134	106	95	98	117	158	202	259		x	X		
2	40	Restrepo	45	315	257	238	189	145	84	48	36	20	472	218	157	132	129	148	194	205	609					
2	40	Restrepo	50	430	359	310	238	177	99	53	40	29	346	156	120	104	105	126	176	188	434	x	x			
2	40	Restrepo	55	393	329	307	249	194	120	69	47	37	379	170	121	100	96	104	136	158	336					X
2	40	Restrepo	60	343	285	251	185	131	73	39	25	31	435	196	148	134	142	170	242	299	397		x			
2	40	Restrepo	65	331	277	248	194	146	81	39	29	26	450	202	150	128	128	154	241	260	474		x			
2	40	Restrepo	70	295	246	215	162	121	70	43	29	27	504	227	173	153	153	176	215	260	458				X	
2	40	Restrepo	75	485	399	349	253	173	79	43	36	37	307	140	107	98	108	157	219	210	336				X	
2	40	Restrepo	80	198	149	132	104	83	56	39	28	22	752	375	282	240	225	222	236	262	577	x				

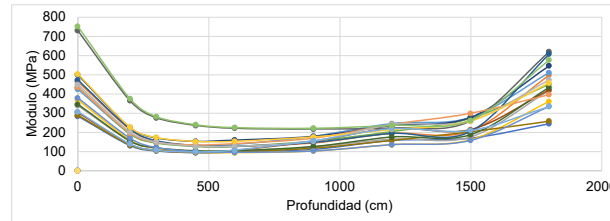
Estadísticas Restrepo zona homogénea RT2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas										
Media	354	298	268	207	157	89	50	34	28	
Desviación	32	34	31	29	25	20	12	8	4	
Coefficiente de variación	9.1%	11.4%	11.7%	14.1%	16.3%	23.1%	24.5%	24.7%	15.4%	
Media -σ	289	230	205	149	106	48	25	17	19	
Media +σ	418	366	330	266	208	130	74	51	36	
Cantidad de datos descartados	6									

Ejemplo módulo de superficie										
ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180	
55	370	160	117	98	94	103	136	162	361	

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Restrepo Sector RT2



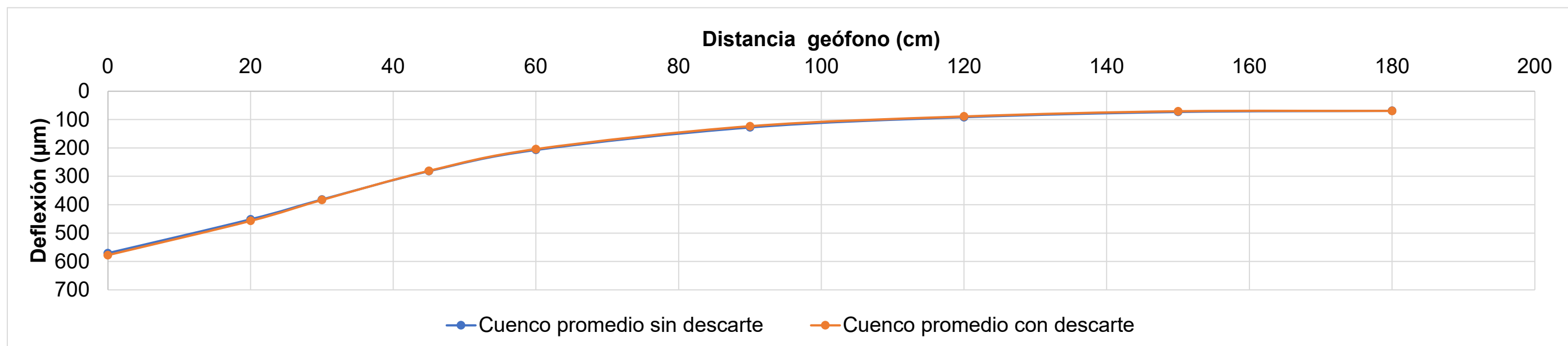
Módulos de superficie Tramo Restrepo Sector RT2



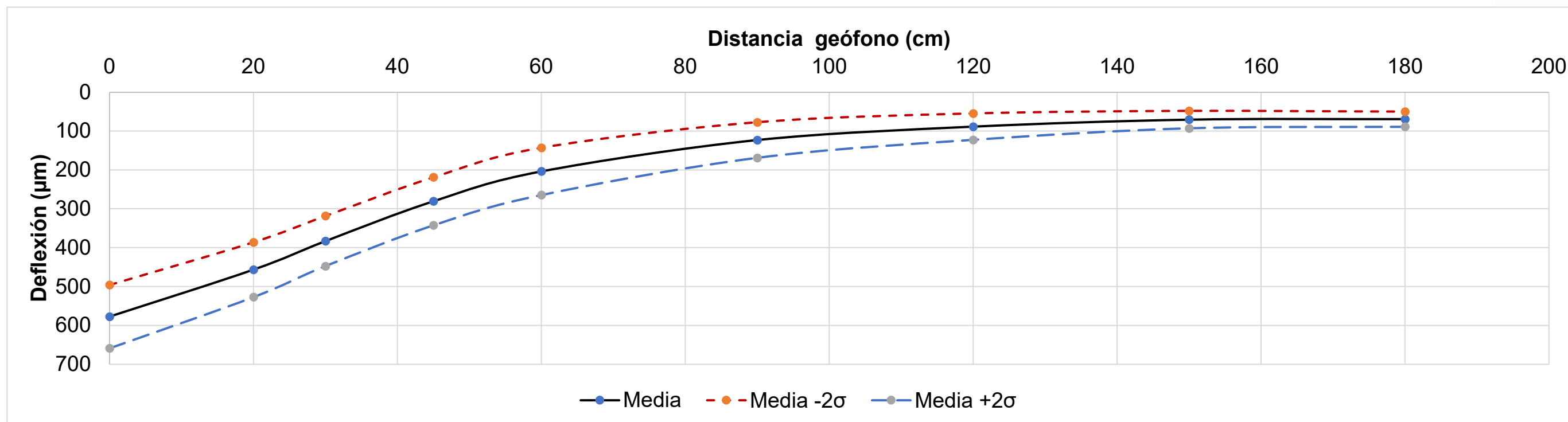
Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT1 Descartando singularidades									
Media	571	451	382	281	207	127	91	73	69
Desviación	79.8	60.3	54.1	39.1	32.3	22.4	16.3	11.3	8.6
Coefficiente de variación	14%	13%	14%	14%	16%	18%	18%	16%	12%
Cantidad de datos descartados	4								

Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT1 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	577	457	383	281	204	123	89	70	69
Desviación	40.8	35.3	32.3	30.9	30.4	22.9	17.0	11.2	9.7
Coefficiente de variación	7.1%	7.7%	8.4%	11.0%	14.9%	18.6%	19.2%	15.9%	14.0%
Cantidad de datos descartados	5								

Cuenco de deflexiones promedio



Cuenca de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Puente Aranda Sector PT1 Método del módulo de superficie

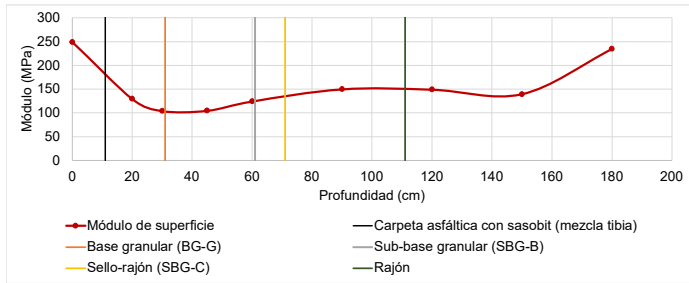
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Ábscisa	Distancia (cm)																Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z	
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200							1500
1	40	Puente Aranda	0	729	554	469	317	212	109	77	64	66	204	101	79	78	88	114	121	117	187		x			
1	40	Puente Aranda	1	611	467	359	239	160	87	64	54	68	244	120	104	104	117	143	145	137	181					
1	40	Puente Aranda	5	625	507	431	310	213	118	76	64	59	238	110	86	80	88	106	122	117	210			x	X	
1	40	Puente Aranda	10	599	433	359	238	150	83	63	54	53	249	129	104	104	124	149	149	139	234					
1	40	Puente Aranda	15	725	564	495	356	262	157	111	90	68	206	99	75	70	71	79	84	83	182				X	X
1	40	Puente Aranda	20	564	473	396	298	221	138	100	81	77	264	118	94	83	84	90	93	92	162					
1	40	Puente Aranda	25	507	403	349	269	212	143	106	86	78	294	138	107	92	88	87	88	86	159					
1	40	Puente Aranda	30	1049	745	588	388	264	143	98	86	82	142	75	63	64	71	87	95	87	151		x	x	X	X
1	40	Puente Aranda	35	404	333	287	233	186	131	93	74	66	369	168	130	107	100	95	100	101	189				X	X
1	40	Puente Aranda	40	574	457	387	292	218	131	91	69	63	259	122	96	85	85	95	103	108	197			x		
1	40	Puente Aranda	45	509	395	337	253	195	129	96	76	70	292	141	111	98	96	97	97	99	177				X	
1	40	Puente Aranda	50	592	466	393	295	221	138	100	77	78	252	120	95	84	84	90	93	97	160			x	X	
1	40	Puente Aranda	55	610	500	431	326	246	145	104	75	83	244	112	86	76	76	85	90	99	149					X
2	40	Puente Aranda	0	711	572	455	313	211	111	77	64	60	209	98	82	79	88	112	121	116	209		x	x	X	
2	40	Puente Aranda	1	602	458	348	237	159	89	66	55	65	247	122	107	105	117	140	142	134	190			x		
2	40	Puente Aranda	5	607	499	422	303	210	116	76	64	61	245	112	88	82	89	107	123	116	205					
2	40	Puente Aranda	10	593	441	355	235	150	86	62	54	51	251	127	105	106	124	144	151	138	243					
2	40	Puente Aranda	15	710	551	487	353	260	158	111	89	68	210	101	77	70	72	79	84	84	183					
2	40	Puente Aranda	20	559	450	385	295	220	134	104	81	67	267	124	97	84	85	93	89	92	186			x	X	
2	40	Puente Aranda	25	495	403	342	265	209	143	106	84	78	301	139	109	94	89	87	88	89	160					X
2	40	Puente Aranda	30	1031	747	579	385	262	142	98	84	78	144	75	64	65	71	87	95	89	159		x	x	X	
2	40	Puente Aranda	35	396	328	284	228	183	130	91	71	65	376	171	131	109	102	95	102	105	190					
2	40	Puente Aranda	40	561	440	385	291	219	131	91	71	69	265	127	97	85	85	95	102	105	181					
2	40	Puente Aranda	45	502	388	333	252	193	133	98	76	73	297	144	112	99	96	93	95	98	170				X	X
2	40	Puente Aranda	50	579	454	384	291	215	137	100	77	75	257	123	97	85	87	91	94	97	165				X	
2	40	Puente Aranda	55	601	499	428	325	244	147	104	78	82	248	112	87	77	76	85	90	95	152					

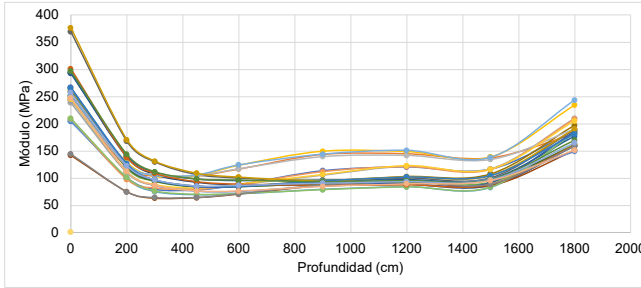
Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT1 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	577	457	383	281	204	123	89	70	69
Desviación	41	35	32	31	30	23	17	11	10
Coefficiente de variación	7%	8%	8%	11%	15%	19%	19%	16%	14%
Media - σ	496	386	318	219	143	77	55	48	50
Media + σ	659	527	447	342	264	169	123	93	89
Cantidad de datos descartados	5								

Ejemplo módulo de superficie										
ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180	
10	249	129	104	104	124	149	149	139	234	

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Puente Aranda Sector PT1



Módulos de superficie Tramo Puente Aranda Sector PT1



Analisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Puente Aranda Sector PT2

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	32
Cantidad de datos descartados	14
% de datos descartados	44%

X X X

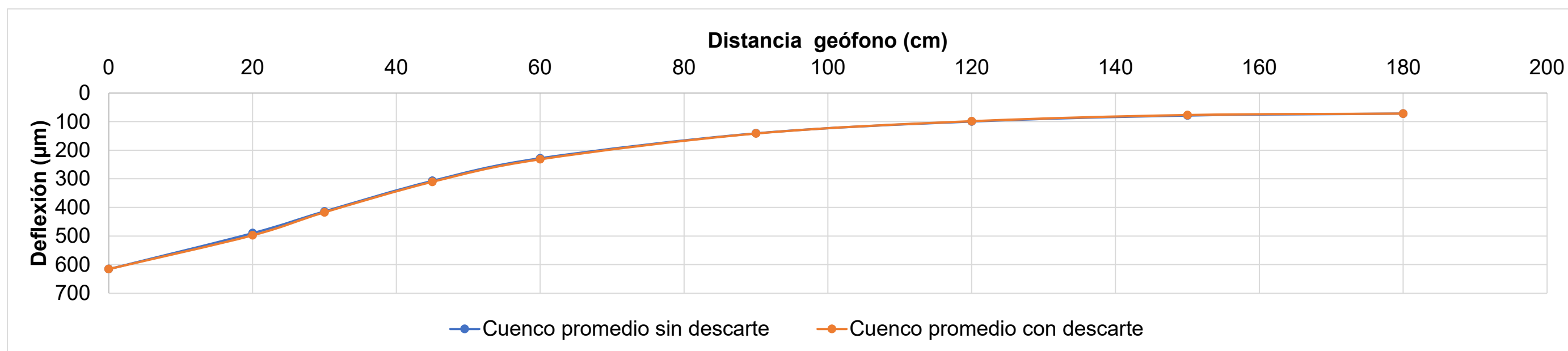
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Criterio Z									Datos descartados	Singularidades
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180		
1	Puente Aranda	55	610	500	431	326	246	145	104	75	83	0.094	0.264	0.510	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	60	589	481	409	299	219	137	98	69	64	0.484	0.220	0.165	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	65	710	567	482	349	256	153	109	96	71	1.714	1.890	2.082	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	70	662	525	444	330	253	151	107	81	80	0.836	0.863	0.926	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	75	537	430	368	278	211	133	91	70	68	1.411	1.457	1.392	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	80	651	520	422	304	232	138	94	78	63	0.641	0.729	0.232	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	85	611	488	400	295	209	128	87	68	65	0.071	0.040	0.438	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	90	580	453	381	281	207	135	95	73	65	0.647	0.885	1.000	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	95	556	443	385	281	210	129	89	68	67	1.071	1.131	0.875	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	100													0	0	0	0	0	0		x
1	Puente Aranda	105	590	453	379	277	201	122	88	67	63	0.461	0.900	1.061	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	110	692	535	452	327	239	152	110	92	81	1.378	1.096	1.177	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	115	607	479	404	302	217	138	95	81	71	0.156	0.259	0.300	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	120	720	535	459	339	250	157	112	92	77	1.898	1.113	1.364	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	125	589	486	422	329	246	155	106	84	76	0.479	0.094	0.253	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	130													0	0	0	0	0	0		x
2	Puente Aranda	55	601	499	428	325	244	147	104	78	82	0.253	0.230	0.434	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	60	571	469	398	294	217	138	98	73	67	0.808	0.508	0.493	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	65	696	574	469	344	255	153	109	96	78	1.452	2.065	1.694	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	70	650	525	436	325	253	152	107	87	80	0.632	0.872	0.663	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	75	526	417	362	275	210	132	93	69	64	1.615	1.768	1.591	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	80	637	512	414	302	231	139	95	79	65	0.386	0.541	0.003	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	85	606	482	398	296	210	128	88	69	67	0.161	0.174	0.480	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	90	568	442	381	279	214	134	102	73	72	0.849	1.153	0.997	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	95	543	437	377	278	208	126	89	66	63	1.303	1.277	1.117	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	100													0	0	0	0	0	0		x
2	Puente Aranda	105	577	446	374	276	201	121	87	67	67	0.698	1.063	1.233	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	110	677	528	446	324	238	152	110	90	78	1.107	0.928	0.966	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	115	593	478	396	296	213	136	95	79	75	0.410	0.291	0.539	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	120	702	523	455	335	250	155	112	92	78	1.569	0.816	1.241	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	125	580	482	419	327	245	155	108	84	78	0.642	0.189	0.140	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	130													0	0	0	0	0	0		x

Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 sin descartes									
Media	596	478	406	304	228	143	101	79	72
Desviación	87.7	63.3	49.2	32.4	21.8	12.7	9.2	9.3	6.8
Coefficiente de variación	15%	13%	12%	11%	10%	9%	9%	12%	9%
Cantidad de datos	32								

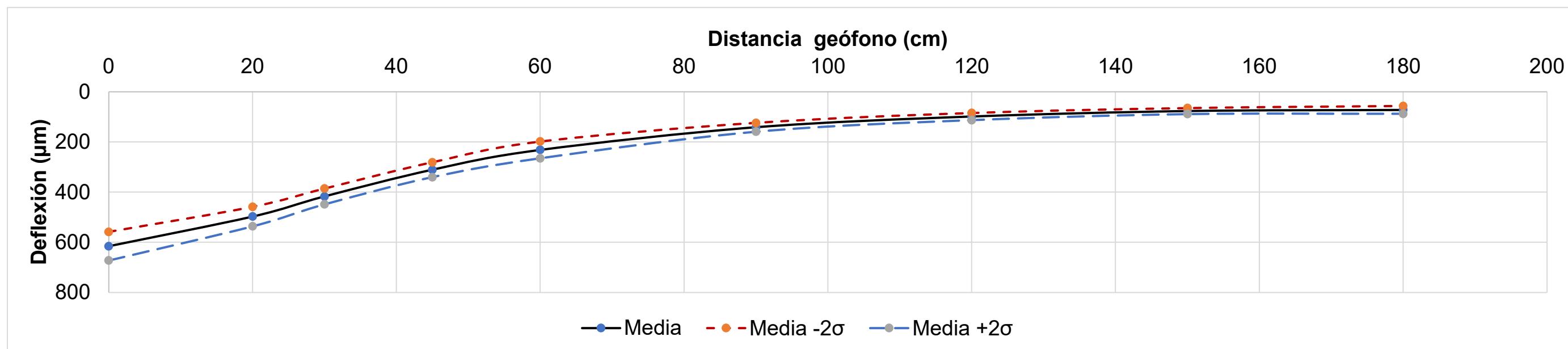
Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 Descartando singularidades									
Media	615	490	414	307	228	141	99	78	72
Desviación	55.4	41.1	32.7	24.0	19.1	11.3	8.6	9.6	6.9
Coefficiente de variación	9%	8%	8%	8%	8%	8%	9%	12%	10%
Cantidad de datos descartados	4								

Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	615	497	417	310	231	141	99	77	72
Desviación	28.4	19.4	15.7	14.9	16.7	8.8	7.1	6.0	7.8
Coefficiente de variación	4.6%	3.9%	3.8%	4.8%	7.2%	6.3%	7.2%	7.8%	10.8%
Cantidad de datos descartados	14								

Cuenca de deflexiones promedio



Cuenca de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar

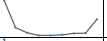
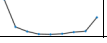


Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Puente Aranda Sector PT2

Método del módulo de superficie

a (mm)	150
μ	0.35

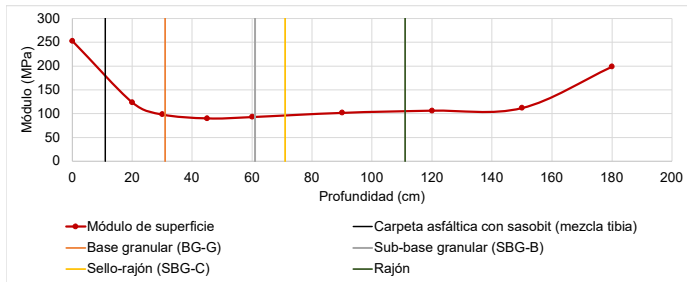
Golpe	P(KN)	Tramo	Abcisa	Distancia (m)																Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidad es	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z	
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200							1500
1	40	Puente Aranda	55	610	500	431	326	246	145	104	75	83	244	112	86	76	76	85	90	99	149					
1	40	Puente Aranda	60	589	481	409	299	219	137	98	69	64	253	116	91	83	85	91	95	108	193					
1	40	Puente Aranda	65	710	567	482	349	256	153	109	96	71	210	98	77	71	73	81	85	78	174			x	X	
1	40	Puente Aranda	70	662	525	444	330	253	151	107	81	80	225	106	84	75	74	82	87	92	155					
1	40	Puente Aranda	75	537	430	368	278	211	133	91	70	68	277	130	101	89	88	94	102	106	183				X	X
1	40	Puente Aranda	80	651	520	422	304	232	138	94	78	63	229	108	88	82	80	90	99	96	198					
1	40	Puente Aranda	85	611	488	400	295	209	128	87	68	65	244	114	93	84	89	97	107	109	190					
1	40	Puente Aranda	90	580	453	381	281	207	135	95	73	65	257	123	98	88	90	92	98	101	191			x	X	X
1	40	Puente Aranda	95	556	443	385	281	210	129	89	68	67	268	126	97	88	89	97	104	109	187				X	X
1	40	Puente Aranda	100	328	290	263	222	196	150	115	88	81	454	193	142	112	95	83	81	84	154		x	x		
1	40	Puente Aranda	105	590	453	379	277	201	122	88	67	63	253	123	98	90	93	102	106	112	198				X	
1	40	Puente Aranda	110	692	535	452	327	239	152	110	92	81	215	104	82	76	78	82	84	81	154			x	X	
1	40	Puente Aranda	115	607	479	404	302	217	138	95	81	71	246	117	92	82	86	90	98	92	174					X
1	40	Puente Aranda	120	720	535	459	339	250	157	112	92	77	207	104	81	73	74	79	83	81	161			x	X	
1	40	Puente Aranda	125	589	486	422	329	246	155	106	84	76	253	115	88	75	76	80	88	89	162			x		
1	40	Puente Aranda	130	606	514	446	346	267	169	112	85	78	246	109	83	72	70	73	83	88	159		X			
2	40	Puente Aranda	55	601	499	428	325	244	147	104	78	82	248	112	87	77	76	85	90	95	152					
2	40	Puente Aranda	60	571	469	398	294	217	138	98	73	67	261	119	94	85	86	90	95	102	187					
2	40	Puente Aranda	65	696	574	469	344	255	153	109	96	78	214	97	79	72	73	81	86	78	159			x	X	
2	40	Puente Aranda	70	650	525	436	325	253	152	107	87	80	229	106	85	76	74	82	87	86	156					X
2	40	Puente Aranda	75	526	417	362	275	210	132	93	69	64	283	134	103	90	89	94	100	109	195			x	X	
2	40	Puente Aranda	80	637	512	414	302	231	139	95	79	65	234	109	90	82	81	90	98	94	192					
2	40	Puente Aranda	85	606	482	398	296	210	128	88	69	67	246	116	94	84	89	97	106	108	187					
2	40	Puente Aranda	90	568	442	381	279	214	134	102	73	72	262	126	98	89	87	92	91	102	173				X	X
2	40	Puente Aranda	95	543	437	377	278	208	126	89	66	63	274	128	99	89	89	99	105	113	198				X	
2	40	Puente Aranda	100	325	285	260	220	195	150	112	86	76	459	196	143	113	96	83	83	86	164		x			
2	40	Puente Aranda	105	577	446	374	276	201	121	87	67	67	258	125	100	90	93	103	107	111	184				X	
2	40	Puente Aranda	110	677	528	446	324	238	152	110	90	78	220	106	84	77	78	82	85	83	160				X	
2	40	Puente Aranda	115	593	478	396	296	213	136	95	79	75	251	117	94	84	88	91	98	94	165					
2	40	Puente Aranda	120	702	523	455	335	250	155	112	92	78	212	107	82	74	75	80	84	81	160				X	

2	40	Puente Aranda	125	580	482	419	327	245	155	108	84	78	257	116	89	76	76	80	86	88	158					
2	40	Puente Aranda	130	596	509	438	340	264	169	113	85	79	250	110	85	73	71	74	83	88	158		X			

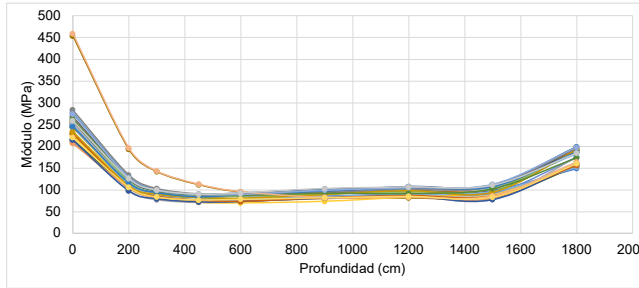
Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas												
Media	615	497	417	310	231	141	99	77	72			
Desviación	28	19	16	15	17	9	7	6	8			
Coefficiente de variación	4.6%	3.9%	3.8%	4.8%	7.2%	6.3%	7.2%	7.8%	10.8%			
Media -σ	558	458	386	281	198	124	84	65	56			
Media +σ	672	536	448	340	265	159	113	89	87			
Cantidad de datos descartados	14											

Ejemplo módulo de superficie										
ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180	
	105	253	123	98	90	93	102	106	112	198

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Puente Aranda Sector PT2



Módulos de superficie Tramo Puente Aranda Sector PT2



Analisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Cundinamarca Sector CU1

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	20
Cantidad de datos descartados	6
% de datos descartados	30%

X X X

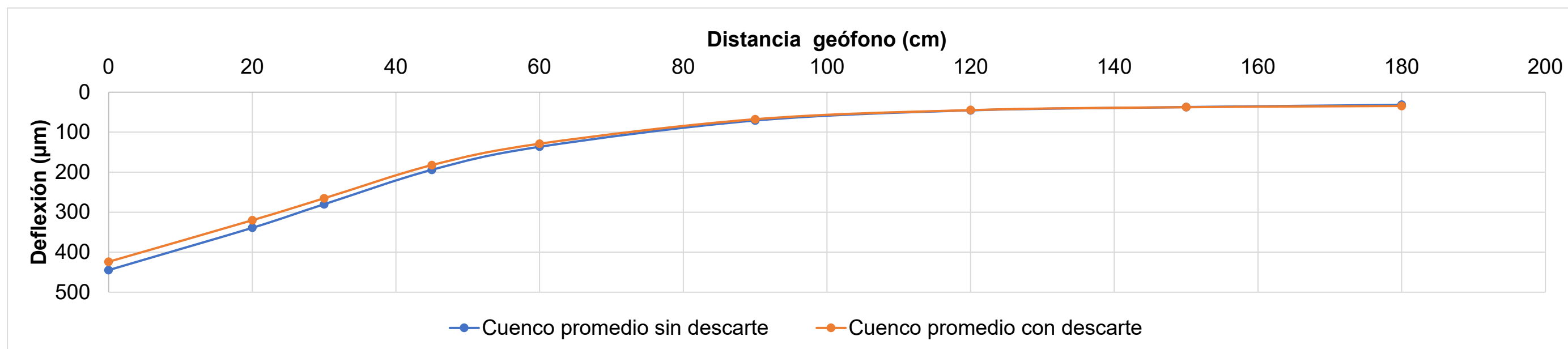
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)										Criterio Z										Datos descartados	Singularidades
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180				
1	Cundinamarca	55	319	256	213	155	111	65	43	36	24	1.437	1.300	1.304	0	0	0	0	0	0	0	X		
1	Cundinamarca	59	503	378	313	219	159	90	60	47	39	0.672	0.611	0.636	0	0	0	0	0	0	0			
1	Cundinamarca	65	413	327	271	189	134	71	48	42	34	0.361	0.189	0.186	0	0	0	0	0	0	0			
1	Cundinamarca	70	424	300	260	176	125	66	44	37	44	0.239	0.609	0.399	0	0	0	0	0	0	0			
1	Cundinamarca	75	375	290	234	160	113	60	38	32	27	0.801	0.758	0.898	0	0	0	0	0	0	0			
1	Cundinamarca	80	516	401	332	235	166	83	52	39	36	0.817	0.982	1.011	0	0	0	0	0	0	0	X		
1	Cundinamarca	85	407	309	251	168	114	51	32	29	30	0.433	0.463	0.573	0	0	0	0	0	0	0			
1	Cundinamarca	90	608	459	374	253	171	80	45	36	19	1.874	1.879	1.816	0	0	0	0	0	0	0	X		
1	Cundinamarca	95													0	0	0	0	0	0	0		x	
1	Cundinamarca	100													0	0	0	0	0	0	0		x	
2	Cundinamarca	55	319	256	213	155	111	65	43	36	24	1.437	1.300	1.304	0	0	0	0	0	0	0	X		
2	Cundinamarca	59	503	378	313	219	159	90	60	47	39	0.672	0.611	0.636	0	0	0	0	0	0	0			
2	Cundinamarca	65	413	327	271	189	134	71	48	42	34	0.361	0.189	0.186	0	0	0	0	0	0	0			
2	Cundinamarca	70	424	300	260	176	125	66	44	37	44	0.239	0.609	0.399	0	0	0	0	0	0	0			
2	Cundinamarca	75	375	290	234	160	113	60	38	32	27	0.801	0.758	0.898	0	0	0	0	0	0	0			
2	Cundinamarca	80	516	401	332	235	166	83	52	39	36	0.817	0.982	1.011	0	0	0	0	0	0	0	X		
2	Cundinamarca	85	402	301	248	166	113	51	33	29	30	0.488	0.593	0.616	0	0	0	0	0	0	0			
2	Cundinamarca	90	597	447	366	249	168	80	44	38	21	1.744	1.700	1.655	0	0	0	0	0	0	0	X		
2	Cundinamarca	95													0	0	0	0	0	0	0		x	
2	Cundinamarca	100													0	0	0	0	0	0	0		x	

Estadísticas Cundinamarca zona homogénea CU1 sin descartes									
Media	460	349	287	197	137	69	44	35	32
Desviación	84.0	60.5	48.1	31.9	21.4	11.5	8.1	6.2	7.2
Coefficiente de variación	18%	17%	17%	16%	16%	17%	18%	17%	22%
Cantidad de datos	20								

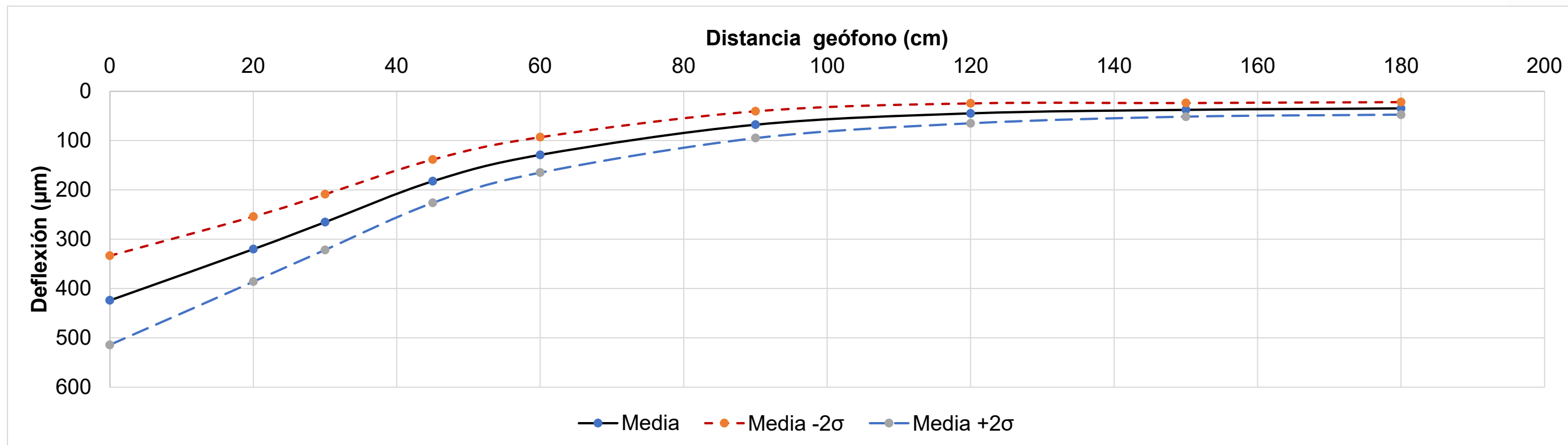
Estadísticas Cundinamarca zona homogénea CU1 Descartando singularidades									
Media	445	339	280	194	136	71	45	37	32
Desviación	87.2	63.8	51.7	35.3	24.0	12.4	8.3	5.4	7.7
Coefficiente de variación	20%	19%	18%	18%	18%	18%	18%	15%	24%
Cantidad de datos descartados	4								

Estadísticas Cundinamarca zona homogénea CU1 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	424	320	265	182	129	68	45	37	35
Desviación	45.2	33.0	28.2	22.0	18.0	13.6	10.1	6.9	6.4
Coefficiente de variación	10.7%	10.3%	10.6%	12.1%	13.9%	20.2%	22.6%	18.5%	18.6%
Cantidad de datos descartados	6								

Cuenco de deflexiones promedio



Cuenca de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Cundinamarca Sector CU1 Método del módulo de superficie

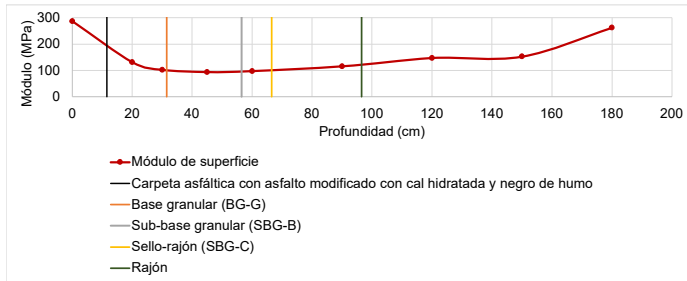
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)																	Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200	1500						
1	40	Cundinamarca	0	521	428	367	266	192	108	64	49	48	286	130	101	93	97	115	146	152	261		x		X	
1	40	Cundinamarca	5	379	299	249	185	140	85	55	41	46	393	187	150	134	133	146	168	182	272		x			
1	40	Cundinamarca	10	396	322	274	209	161	99	63	44	43	376	174	136	119	116	125	149	171	289			x		
1	40	Cundinamarca	15	264	215	193	151	125	88	63	45	40	564	260	193	165	149	142	149	164	307					
1	40	Cundinamarca	20	285	231	198	162	134	92	63	48	31	523	242	188	153	139	134	148	157	400					X
1	40	Cundinamarca	25	251	191	159	123	97	65	46	30	20	593	293	235	202	192	192	202	250	624				X	
1	40	Cundinamarca	30	300	250	211	152	122	77	47	34	29	496	224	177	163	152	162	197	217	430					
1	40	Cundinamarca	35	174	146	129	107	88	62	43	34	21	856	383	289	233	213	200	218	220	583			x	X	X
1	40	Cundinamarca	40	255	198	172	133	107	71	47	41	40	585	282	217	187	173	174	198	181	308					X
1	40	Cundinamarca	45	212	177	153	126	104	73	50	44	31	704	315	244	198	179	171	185	171	397			x		
1	40	Cundinamarca	50	294	241	214	171	137	89	62	45	43	507	232	174	146	136	139	151	165	286				X	
1	40	Cundinamarca	55	319	256	213	155	111	65	43	36	24	466	218	175	160	168	191	216	209	522			x		
2	40	Cundinamarca	0	513	421	356	261	190	106	65	49	47	291	133	105	95	98	117	143	151	266		x			X
2	40	Cundinamarca	5	377	296	247	183	140	86	56	42	45	396	189	151	136	133	145	166	179	276		x	x		
2	40	Cundinamarca	10	394	319	272	209	161	99	63	44	44	378	175	137	119	116	125	148	170	285			x		
2	40	Cundinamarca	15	263	211	191	150	124	87	64	44	41	566	265	195	165	150	143	146	171	301				X	
2	40	Cundinamarca	20	282	227	198	161	132	93	64	46	32	528	247	188	154	141	134	147	163	384					
2	40	Cundinamarca	25	238	185	157	122	97	64	40	29	22	626	302	237	204	192	193	232	256	575				X	
2	40	Cundinamarca	30	297	244	208	151	120	73	46	34	29	501	229	179	164	155	171	204	217	434			x		
2	40	Cundinamarca	35	172	145	127	106	87	64	43	33	24	865	385	292	235	215	195	219	228	511					X
2	40	Cundinamarca	40	244	198	171	132	107	72	46	37	40	612	282	218	188	175	173	205	202	311			x	#REF!	
2	40	Cundinamarca	45	209	173	151	124	103	72	52	43	29	711	323	247	200	180	171	178	173	428				#REF!	
2	40	Cundinamarca	50	294	245	215	170	137	91	62	48	46	507	228	173	146	136	136	151	156	268				#REF!	
2	40	Cundinamarca	55	317	247	210	153	111	64	41	36	24	470	227	178	163	168	194	227	209	511				#REF!	X

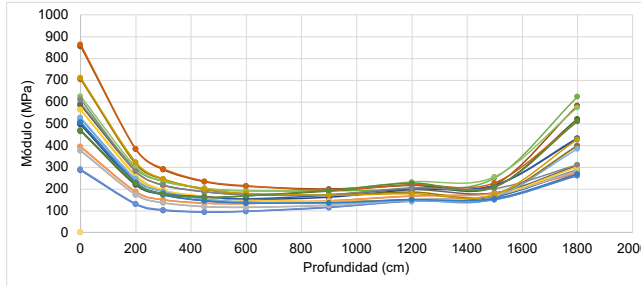
Estadísticas Cundinamarca zona homogénea CU1 Descartando singularidades y por desviaciones típicas										
Media	424	320	265	182	129	68	45	37	35	
Desviación	45	33	28	22	18	14	10	7	6	
Coefficiente de variación	10.7%	10.3%	10.6%	12.1%	13.9%	20.2%	22.6%	18.5%	18.6%	
Media -σ	333	254	209	138	93	40	24	24	22	
Media +σ	514	386	322	226	165	95	65	51	47	
Cantidad de datos descartados	6									

Ejemplo módulo de superficie									
ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180
0	286	130	101	93	97	115	146	152	261

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Cundinamarca Sector CU1



Módulos de superficie Tramo Cundinamarca Sector CU1



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Puente Aranda Sector PT2

Análisis por desviación típica Z para los 3 primeros geófonos

Cantidad de datos totales	32
Cantidad de datos descartados	14
% de datos descartados	44%

x x x

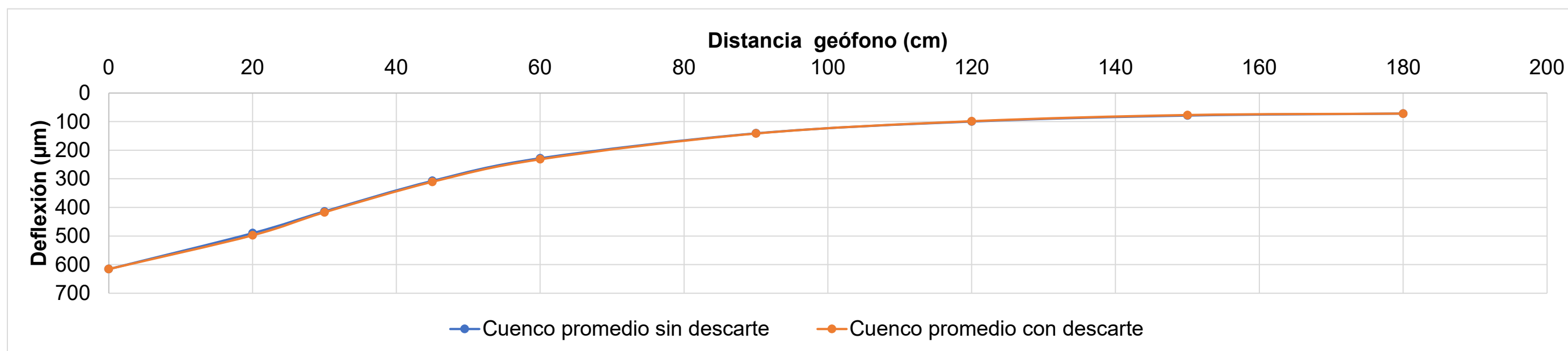
Golpe	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)									Criterio Z									Datos descartados	Singularidades
			0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	20	30	45	60	90	120	150	180		
1	Puente Aranda	55	610	500	431	326	246	145	104	75	83	0.094	0.264	0.510	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	60	589	481	409	299	219	137	98	69	64	0.484	0.220	0.165	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	65	710	567	482	349	256	153	109	96	71	1.714	1.890	2.082	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	70	662	525	444	330	253	151	107	81	80	0.836	0.863	0.926	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	75	537	430	368	278	211	133	91	70	68	1.411	1.457	1.392	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	80	651	520	422	304	232	138	94	78	63	0.641	0.729	0.232	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	85	611	488	400	295	209	128	87	68	65	0.071	0.040	0.438	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	90	580	453	381	281	207	135	95	73	65	0.647	0.885	1.000	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	95	556	443	385	281	210	129	89	68	67	1.071	1.131	0.875	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	100													0	0	0	0	0	0		x
1	Puente Aranda	105	590	453	379	277	201	122	88	67	63	0.461	0.900	1.061	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	110	692	535	452	327	239	152	110	92	81	1.378	1.096	1.177	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	115	607	479	404	302	217	138	95	81	71	0.156	0.259	0.300	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	120	720	535	459	339	250	157	112	92	77	1.898	1.113	1.364	0	0	0	0	0	0	X	
1	Puente Aranda	125	589	486	422	329	246	155	106	84	76	0.479	0.094	0.253	0	0	0	0	0	0		
1	Puente Aranda	130													0	0	0	0	0	0		x
2	Puente Aranda	55	601	499	428	325	244	147	104	78	82	0.253	0.230	0.434	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	60	571	469	398	294	217	138	98	73	67	0.808	0.508	0.493	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	65	696	574	469	344	255	153	109	96	78	1.452	2.065	1.694	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	70	650	525	436	325	253	152	107	87	80	0.632	0.872	0.663	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	75	526	417	362	275	210	132	93	69	64	1.615	1.768	1.591	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	80	637	512	414	302	231	139	95	79	65	0.386	0.541	0.003	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	85	606	482	398	296	210	128	88	69	67	0.161	0.174	0.480	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	90	568	442	381	279	214	134	102	73	72	0.849	1.153	0.997	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	95	543	437	377	278	208	126	89	66	63	1.303	1.277	1.117	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	100													0	0	0	0	0	0		x
2	Puente Aranda	105	577	446	374	276	201	121	87	67	67	0.698	1.063	1.233	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	110	677	528	446	324	238	152	110	90	78	1.107	0.928	0.966	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	115	593	478	396	296	213	136	95	79	75	0.410	0.291	0.539	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	120	702	523	455	335	250	155	112	92	78	1.569	0.816	1.241	0	0	0	0	0	0	X	
2	Puente Aranda	125	580	482	419	327	245	155	108	84	78	0.642	0.189	0.140	0	0	0	0	0	0		
2	Puente Aranda	130													0	0	0	0	0	0		x

Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 sin descartes									
Media	596	478	406	304	228	143	101	79	72
Desviación	87.7	63.3	49.2	32.4	21.8	12.7	9.2	9.3	6.8
Coefficiente de variación	15%	13%	12%	11%	10%	9%	9%	12%	9%
Cantidad de datos	32								

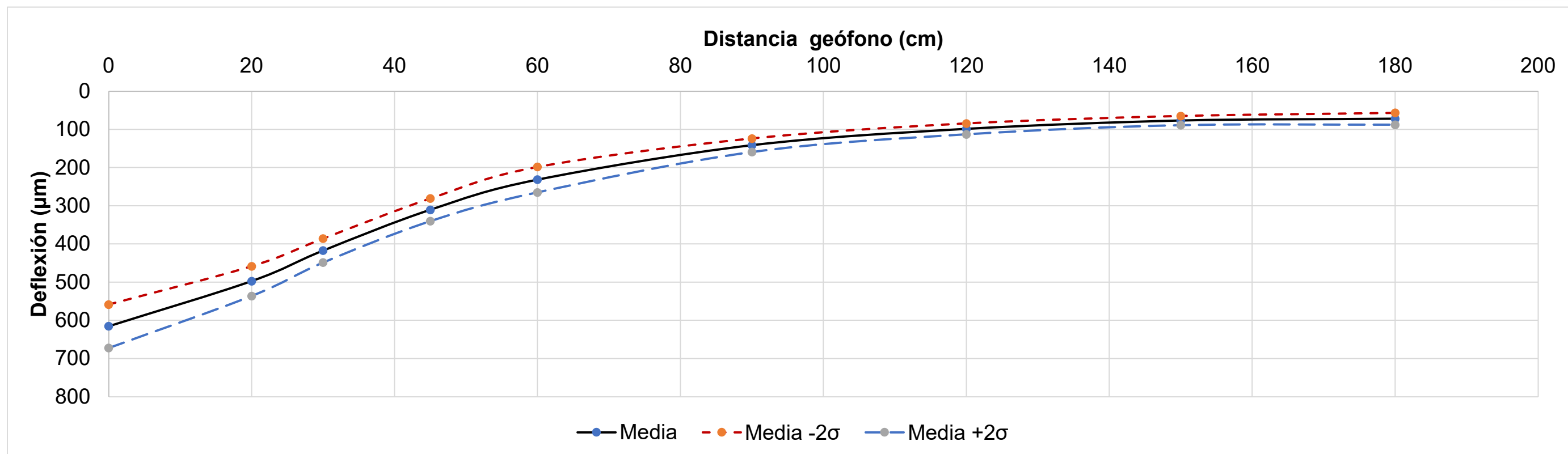
Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 Descartando singularidades									
Media	615	490	414	307	228	141	99	78	72
Desviación	55.4	41.1	32.7	24.0	19.1	11.3	8.6	9.6	6.9
Coefficiente de variación	9%	8%	8%	8%	8%	8%	9%	12%	10%
Cantidad de datos descartados	4								

Estadísticas Puente Aranda zona homogénea PT2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas									
Media	615	497	417	310	231	141	99	77	72
Desviación	28.4	19.4	15.7	14.9	16.7	8.8	7.1	6.0	7.8
Coefficiente de variación	4.6%	3.9%	3.8%	4.8%	7.2%	6.3%	7.2%	7.8%	10.8%
Cantidad de datos descartados	14								

Cuenca de deflexiones promedio



Cuenca de deflexión Seleccionado más o menos dos desviaciones estandar



Análisis de valores atípicos en sectores homogéneos - Cundinamarca Sector CU2 Método del módulo de superficie

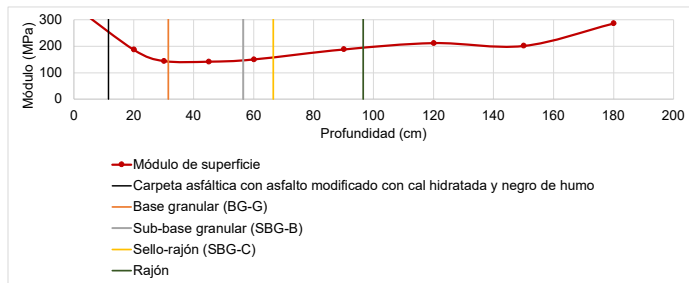
a (mm)	150
μ	0.35

Golpe	P(KN)	Tramo	Abscisa	Distancia (cm)																	Módulo de superficie	Datos descartados	Singularidades	Descarte por módulo de	Descarte por Z	Descarte por Z
				0	20	30	45	60	90	120	150	180	0	200	300	450	600	900	1200	1500						
1	40	Cundinamarca	55	319	256	213	155	111	65	43	36	24	466	218	175	160	168	191	216	209	522					
1	40	Cundinamarca	59	503	378	313	219	159	90	60	47	39	296	148	119	113	117	139	154	158	319					
1	40	Cundinamarca	65	413	327	271	189	134	71	48	42	34	361	171	138	131	139	174	193	178	368			x	X	
1	40	Cundinamarca	70	424	300	260	176	125	66	44	37	44	352	186	144	141	149	188	211	201	285					
1	40	Cundinamarca	75	375	290	234	160	113	60	38	32	27	397	192	159	155	166	208	247	233	465				X	X
1	40	Cundinamarca	80	516	401	332	235	166	83	52	39	36	289	139	112	105	113	150	179	193	347					
1	40	Cundinamarca	85	407	309	251	168	114	51	32	29	30	366	181	149	148	163	244	288	257	421					
1	40	Cundinamarca	90	608	459	374	253	171	80	45	36	19	245	122	100	98	109	154	207	206	660			x	X	X
1	40	Cundinamarca	95	500	389	308	205	136	64	40	24	36	298	144	121	121	137	194	232	309	345				X	X
1	40	Cundinamarca	100	548	401	325	214	139	62	36	31	39	272	139	115	116	134	201	262	244	319		x	x		
2	40	Cundinamarca	55	317	247	210	153	111	64	41	36	24	470	227	178	163	168	194	227	209	511				X	
2	40	Cundinamarca	59	498	373	311	218	159	90	60	48	40	299	150	120	114	117	138	155	156	312			x	X	
2	40	Cundinamarca	65	408	319	266	187	133	71	48	42	33	365	175	140	132	140	175	194	177	378					X
2	40	Cundinamarca	70	418	304	256	174	124	67	45	38	44	357	184	146	143	151	187	207	199	280			x	X	
2	40	Cundinamarca	75	371	287	229	157	111	60	38	33	27	402	195	162	158	167	208	246	229	456			x		
2	40	Cundinamarca	80	507	397	327	233	164	83	51	39	36	294	141	114	107	113	149	181	190	343					
2	40	Cundinamarca	85	402	301	248	166	113	51	33	29	30	370	186	150	149	164	243	286	257	415					
2	40	Cundinamarca	90	597	447	366	249	168	80	44	38	21	250	125	102	100	111	155	213	197	586					
2	40	Cundinamarca	95	493	371	304	203	141	64	38	29	31	302	151	123	122	132	195	243	253	407			x	X	
2	40	Cundinamarca	100	536	392	318	211	138	61	36	29	39	278	142	117	118	135	205	262	254	320		x			X

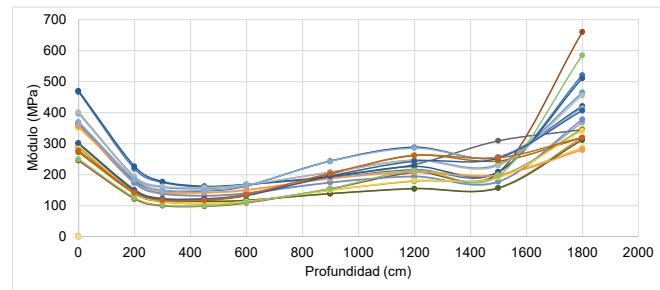
Estadísticas Cundinamarca zona homogénea CU2 Descartando singularidades y por desviaciones típicas										
Media	615	497	417	310	231	141	99	77	72	
Desviación	28	19	16	15	17	9	7	6	8	
Coefficiente de variación	4.6%	3.9%	3.8%	4.8%	7.2%	6.3%	7.2%	7.8%	10.8%	
Media -σ	558	458	386	281	198	124	84	65	56	
Media +σ	672	536	448	340	265	159	113	89	87	
Cantidad de datos descartados	14									

Ejemplo módulo de superficie										
ABSCISA	0	20	30	45	60	90	120	150	180	
70		352	186	144	141	149	188	211	201	285

Ejemplo módulo de superficie abscisa Tramo Cundinamarca Sector CU2



Módulos de superficie Tramo Cundinamarca Sector CU2



**J.Anexo J Retrocálculo metodología
AASHTO**

CÁLCULO DE PARÁMETROS AASHTO DEFLECTOMETRÍA



Datos de campo													Espesores de pavimento (cm)		Temperatura mezcla asfáltica (BELLS 3, °C)		Deflexiones ajustadas (µm)								Mr, Ep, SN									
Tramo de prueba	Carril	Unidad Funcional	Abscisa	Carga (kN)	Deflexiones (µm)								Temp. Aire (°C)	Temp. Superf. Pavimento (°C)	Capas Asfálticas	Temperatura Media del Aire del día anterior (°C)	Temperatura mezcla asfáltica (°C)	Deflexiones ajustadas por temperatura D0 - D4				Deflexiones ajustadas por carga D5 - D8				Mr Subrasante		Ep (MPa)	C	Mr Subrasante de diseño (MPa)	Snef			
					D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7						D8	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8					70% ae (cm)	Dist. Sensor Seleccionado (m)	Mr (MPa)
Villa Luz	C1	VL1	K0+000	42.3	325	289	268	226	189	131	90	63	66	13.5	16.7	7.5	13.0	14.9	318	274	254	214	179	124	85	60	62	83	0.90	85.72	732.30	0.35	30.00	4.82
Villa Luz	C1	VL1	K0+000	42.1	328	284	263	224	188	131	88	65	69	13.5	16.7	7.5	13.0	14.9	323	271	251	214	179	124	84	62	66	85	0.90	85.72	713.64	0.35	30.00	4.78
Villa Luz	C1	VL1	K0+011	40.2	280	269	249	211	177	127	92	75	66	13.3	16.5	7.5	13.0	14.8	289	269	249	210	176	127	92	74	65	90	0.90	83.70	874.99	0.35	29.29	5.12
Villa Luz	C1	VL1	K0+011	40.0	316	267	245	207	174	127	90	72	64	13.3	16.5	7.5	13.0	14.8	327	267	245	207	174	127	90	72	64	83	0.90	83.70	710.28	0.35	29.29	4.78
Villa Luz	C1	VL1	K0+020	40.3	274	246	218	182	154	113	83	67	63	13.3	17.3	7.5	13.0	15.3	281	244	217	180	153	112	82	66	62	89	0.90	94.90	840.89	0.35	33.22	5.05
Villa Luz	C1	VL1	K0+020	40.0	269	233	212	177	151	111	82	69	61	13.3	17.3	7.5	13.0	15.3	278	233	213	177	152	111	82	69	61	89	0.90	95.76	850.98	0.35	33.52	5.07
Villa Luz	C1	VL1	K0+030	40.1	257	228	198	164	139	100	73	59	55	13.2	16.5	7.5	13.0	14.7	265	227	198	164	139	99	73	59	55	86	0.90	107.37	854.67	0.35	37.58	5.08
Villa Luz	C1	VL1	K0+030	39.9	254	221	194	162	138	99	73	59	54	13.2	16.5	7.5	13.0	14.7	263	222	195	163	138	99	73	59	54	85	0.90	107.37	865.37	0.35	37.58	5.10
Villa Luz	C1	VL1	K0+040	39.8	265	234	213	180	147	101	89	85	77	13.1	15.9	7.5	13.0	14.3	276	236	215	181	148	102	89	85	77	102	1.20	89.57	902.02	0.35	31.35	5.17
Villa Luz	C1	VL1	K0+040	39.7	262	230	212	178	146	101	90	83	77	13.1	15.9	7.5	13.0	14.3	274	232	214	180	148	102	91	84	77	102	1.20	87.60	928.01	0.35	30.66	5.22
Villa Luz	C1	VL1	K0+050	40.5	353	314	287	240	205	150	110	85	72	13.0	16.3	7.5	13.0	14.6	361	311	284	238	203	148	109	84	71	85	0.90	71.82	667.16	0.35	25.14	4.68
Villa Luz	C1	VL1	K0+050	40.4	345	308	279	236	202	149	113	84	72	13.0	16.3	7.5	13.0	14.6	354	306	277	234	200	147	111	83	72	86	0.90	72.31	686.36	0.35	25.31	4.72
Villa Luz	C1	VL2	K0+060	40.2	255	229	214	184	165	124	96	77	69	12.9	16.4	7.5	13.0	14.7	263	229	213	184	165	123	96	76	68	97	1.20	83.04	1,037.80	0.35	29.06	5.42
Villa Luz	C1	VL2	K0+060	40.3	253	227	208	183	160	127	99	79	71	12.9	16.4	7.5	13.0	14.7	261	226	208	182	160	126	98	78	71	100	1.20	81.35	1,069.15	0.35	28.47	5.47
Villa Luz	C1	VL2	K0+070	39.6	297	263	241	202	172	126	98	78	65	12.9	16.3	7.5	13.0	14.6	311	266	244	204	174	127	98	79	66	87	0.90	83.70	772.34	0.35	29.29	4.91
Villa Luz	C1	VL2	K0+070	39.5	293	259	237	199	170	126	98	80	66	12.9	16.3	7.5	13.0	14.6	308	264	241	202	173	128	100	81	67	89	0.90	83.04	789.31	0.35	29.06	4.95
Villa Luz	C1	VL2	K0+080	39.9	285	252	234	201	175	134	104	84	76	12.9	16.3	7.5	13.0	14.6	296	254	235	202	176	134	105	84	77	98	1.20	75.92	902.07	0.35	26.57	5.17
Villa Luz	C1	VL2	K0+080	39.5	279	248	234	197	172	133	105	82	79	12.9	16.3	7.5	13.0	14.6	292	251	237	200	175	135	106	82	80	101	1.20	75.21	930.74	0.35	26.32	5.23
Villa Luz	C1	VL2	K0+090	40.5	276	244	225	186	153	106	77	64	58	12.9	16.2	7.5	13.0	14.5	283	242	223	184	151	105	76	63	58	85	0.90	101.23	796.83	0.35	35.43	4.96
Villa Luz	C1	VL2	K0+090	40.5	272	239	219	182	150	104	78	67	60	12.9	16.2	7.5	13.0	14.5	279	237	217	180	149	102	77	66	59	87	0.90	104.21	800.73	0.35	36.47	4.97
Villa Luz	C1	VL2	K0+100	40.1	290	267	239	202	172	128	95	80	71	12.9	16.0	7.5	13.0	14.4	306	267	239	202	172	128	95	80	70	92	1.20	83.92	819.33	0.35	29.37	5.01
Villa Luz	C1	VL2	K0+100	40.2	287	260	232	200	170	126	95	76	71	12.9	16.0	7.5	13.0	14.4	296	259	232	199	169	125	95	76	70	92	1.20	83.92	838.28	0.35	29.37	5.05
Villa Luz	C2	VL1	K0+000	39.9	248	216	194	155	129	87	64	49	37	12.7	16.0	7.5	13.0	14.4	258	217	195	156	130	87	64	49	37	77	0.90	122.18	824.27	0.35	42.76	5.02
Villa Luz	C2	VL1	K0+000	39.8	246	215	189	153	128	88	62	50	41	12.7	16.0	7.5	13.0	14.4	256	216	190	154	129	89	62	50	41	78	0.90	119.43	846.02	0.35	41.80	5.06
Villa Luz	C2	VL1	K0+005	39.8	248	218	197	170	146	104	79	61	63	12.6	16.1	7.5	13.0	14.5	258	219	198	171	147	105	79	61	63	94	1.20	100.91	930.85	0.35	35.32	5.23
Villa Luz	C2	VL1	K0+005	39.7	242	214	195	167	143	102	79	60	58	12.6	16.1	7.5	13.0	14.5	253	216	197	169	145	103	80	60	59	92	1.20	99.65	970.55	0.35	34.88	5.30
Villa Luz	C2	VL1	K0+015	40.5	281	241	214	178	157	109	81	56	59	12.6	16.6	7.5	13.0	14.8	288	239	213	177	155	108	80	55	58	84	0.90	98.42	788.32	0.35	34.45	4.94
Villa Luz	C2	VL1	K0+015	40.4	276	237	203	176	155	106	77	68	47	12.6	16.6	7.5	13.0	14.8	282	235	210	175	153	104	76	67	47	84	0.90	102.20	796.59	0.35	35.77	4.96
Villa Luz	C2	VL1	K0+025	40.0	271	240	220	179	152	107	81	66	53	12.6	16.2	7.5	13.0	14.5	280	240	220	180	152	107	81	66	53	83	0.90	99.34	820.78	0.35	34.77	5.01
Villa Luz	C2	VL1	K0+025	39.8	266	229	206	177	149	114	83	65	54	12.6	16.2	7.5	13.0	14.5	277	231	208	178	150	114	83	65	54	85	0.90	93.24	871.77	0.35	32.63	5.11
Villa Luz	C2	VL1	K0+035	40.7	285	252	221	180	145	93	69	58	44	12.6	15.5	7.5	13.0	14.0	292	249	218	178	143	91	68	57	43	76	0.90	116.81	696.04	0.35	40.88	4.74
Villa Luz	C2	VL1	K0+035	40.3	282	246	223	177	143	95	70	55	52	12.6	15.5	7.5	13.0	14.0	291	245	217	176	142	94	69	55	51	78	0.90	113.08	712.74	0.35	39.58	4.78
Villa Luz	C2	VL1	K0+045	40.0	367	312	287	223	183	120	86	69	63	12.6	16.0	7.5	13.0	14.4	380	313	287	224	183	120	86	69	63	76	0.90	88.58	538.83	0.35	31.00	4.36
Villa Luz	C2	VL1	K0+045	39.8	358	305	278	223	178	119	84	67	62	12.6	16.0	7.5	13.0	14.4	373	307	280	224	179	119	84	68	62	76	0.90	89.32	552.13	0.35	31.26	4.39
Villa Luz	C2	VL1	K0+055	39.9	248	218	204	169	140	98	69	50	44	12.6	15.6	7.5	13.0	14.1	258	219	205	170	140	98	69	50	44	82	0.90	108.46	887.29	0.35	37.96	5.14
Villa Luz	C2	VL1	K0+055	39.8	246	218	202	166	136	96	66	50	45	12.6	15.6	7.5	13.0	14.1	257	219	204	167	139	96	67	51	45	81	0.90	110.72	881.21	0.35	38.75	5.13
Villa Luz	C2	VL2	K0+065	40.2	361	306	269	215	173	112	80	61	57	12.7	15.6	7.5	13.0	14.1	373	305	268	214	172	111	80	61	57	73	0.90	95.76	531.28	0.35	33.52	4.33
Villa Luz	C2	VL2	K0+065	40.1	354	302	264	211	170	112	79	61	60	12.7	15.6	7.5	13.0	14.1	367	302	264	211	171	111	79	61	59	75	0.90	95.76	544.73	0.35	33.52	4.37
Villa Luz	C2	VL2	K0+075	40.2	295	261	233	197	164	120	88	70	67	12.7	15.7	7.5	13.0	14.2	306	260	233	197	163	119	87	69	66	88	0.90	89.32	759.68	0.35	31.26	4.88
Villa Luz	C2	VL2	K0+075	40.2	291	259	231	194	162	118	88	69	63	12.7	15.7	7.5	13.0	14.2	301	259	231	194	162	117	87	69	63	86	0.90	90.85	772.06	0.35	31.80	4.91
Villa Luz	C2	VL2	K0+085	40.0	24																													

CÁLCULO DE PARÁMETROS AASHTO DEFLECTOMETRÍA



Datos de campo											Espesores de pavimento (cm)			Temperatura mezcla asfáltica (BELLS 3, °C)			Deflexiones ajustadas (µm)								Mr, Ep, SN									
Tramo de prueba	Carril	Unidad Funcional	Abscisa	Carga (kN)	Deflexiones (µm)								Temp. Aire (°C)	Temp. Superf. Pavimento (°C)	Capas Asfálticas	Temperatura Media del Aire del día anterior (°C)	Temperatura mezcla asfáltica (°C)	Deflexiones ajustadas por temperatura D0 - D4					Deflexiones ajustadas por carga D5 - D8			Mr Subrasante			Mr Subrasante de diseño (MPa)	SNef				
					D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7						D8	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	70% ae (cm)			Dist. Sensor Seleccionado (m)	Mr (MPa)	Ep (MPa)	C
Restrepo	C2	RT2	K0+035	39.9	302	268	230	181	142	88	53	36	31	30.5	13.1	12.0	13.0	12.3	326	271	232	183	144	88	53	36	31	76	0.90	120.79	558.15	0.35	42.28	4.75
Restrepo	C2	RT2	K0+035	39.8	297	261	226	179	141	86	53	36	29	29.1	13.1	12.0	13.0	12.3	320	264	229	181	142	86	53	36	29	76	0.90	123.60	567.47	0.35	43.26	4.78
Restrepo	C2	RT2	K0+045	40.2	320	261	243	191	147	85	48	36	25	24.9	13.1	12.0	13.0	12.3	343	282	243	192	147	85	48	36	25	75	0.90	125.05	510.83	0.35	43.77	4.61
Restrepo	C2	RT2	K0+045	40.0	315	257	238	189	145	84	48	36	20	20.4	13.1	12.0	13.0	12.3	339	259	240	190	146	84	48	36	20	75	0.90	126.54	516.83	0.35	44.29	4.63
Restrepo	C2	RT2	K0+055	40.8	402	349	318	254	197	120	69	48	34	34.4	13.0	12.0	13.0	12.3	424	344	314	251	195	118	67	45	34	78	0.90	90.08	435.22	0.35	31.53	4.37
Restrepo	C2	RT2	K0+055	40.5	393	329	307	249	194	120	69	47	37	37.0	13.0	12.0	13.0	12.3	417	327	305	248	193	118	68	46	37	78	0.90	90.08	446.00	0.35	31.53	4.41
Restrepo	C2	RT2	K0+065	40.5	341	292	257	197	147	80	45	27	28	27.5	13.0	12.0	13.0	12.3	363	291	256	196	147	79	45	27	27	73	0.90	134.55	487.81	0.35	47.09	4.45
Restrepo	C2	RT2	K0+065	40.5	331	277	248	194	146	81	39	29	26	26.2	13.0	12.0	13.0	12.3	352	275	247	193	145	80	38	28	26	74	0.90	132.87	480.26	0.35	46.50	4.52
Restrepo	C2	RT2	K0+075	38.9	490	405	351	257	174	81	42	35	30	29.5	13.0	12.0	13.0	12.2	542	420	363	266	180	83	43	36	30	70	0.90	128.06	271.95	0.35	44.82	3.74
Restrepo	C2	RT2	K0+075	38.7	485	399	349	253	173	79	43	36	37	37.0	13.0	12.0	13.0	12.2	539	415	363	263	180	82	44	37	38	70	0.90	129.63	272.93	0.35	45.37	3.74
Puente aranda	C1	PT1	K0+000	41.7	768	585	481	311	208	94	71	61	79	13.6	16.1	11.0	13.0	14.4	774	564	464	299	201	91	68	58	76	63	0.90	116.81	177.51	0.35	40.88	3.19
Puente aranda	C1	PT1	K0+000	41.2	750	590	462	306	205	97	70	60	66	13.6	16.1	11.0	13.0	14.4	765	576	451	299	200	94	68	58	64	62	0.90	113.08	181.63	0.35	39.58	3.22
Puente aranda	C1	PT1	K0+001	41.0	611	467	359	239	160	87	64	54	68	13.6	16.8	11.0	13.0	14.9	623	457	352	234	156	84	63	53	67	65	0.90	126.54	228.65	0.35	44.29	3.47
Puente aranda	C1	PT1	K0+001	41.0	602	458	348	237	159	89	66	55	65	13.6	16.8	11.0	13.0	14.9	615	449	341	232	156	87	64	54	64	64	0.90	122.18	234.79	0.35	42.76	3.50
Puente aranda	C1	PT1	K0+010	40.4	599	433	359	238	150	83	63	54	53	13.6	16.5	11.0	13.0	14.7	621	430	357	236	149	82	62	53	52	62	0.90	129.63	228.07	0.35	45.37	3.47
Puente aranda	C1	PT1	K0+010	40.5	593	441	355	235	150	86	62	54	51	13.6	16.5	11.0	13.0	14.7	614	437	352	233	148	85	61	53	50	62	0.90	125.05	233.73	0.35	43.77	3.50
Puente aranda	C1	PT1	K0+020	41.0	564	473	396	298	221	138	100	81	77	13.6	16.1	11.0	13.0	14.5	577	463	388	292	216	134	97	79	75	71	0.90	79.32	297.28	0.35	27.76	3.79
Puente aranda	C1	PT1	K0+020	41.0	559	450	385	295	220	134	104	81	67	13.6	16.1	11.0	13.0	14.5	572	441	377	289	215	130	102	79	65	70	0.90	81.76	297.22	0.35	28.62	3.79
Puente aranda	C1	PT1	K0+030	40.9	1,049	745	588	388	264	143	98	86	82	13.6	16.5	11.0	13.0	14.7	1,074	732	577	381	259	140	96	84	80	60	0.60	81.56	139.73	0.35	21.55	2.95
Puente aranda	C1	PT1	K0+030	40.8	1,031	747	579	385	262	142	98	84	78	13.6	16.5	11.0	13.0	14.7	1,059	735	570	379	258	139	96	82	77	60	0.60	81.80	142.17	0.35	21.63	2.96
Puente aranda	C1	PT1	K0+040	40.3	574	457	387	292	218	131	91	69	63	13.6	16.5	11.0	13.0	14.7	597	456	386	291	217	130	90	69	63	69	0.90	81.76	279.92	0.35	28.62	3.71
Puente aranda	C1	PT1	K0+040	40.2	561	440	385	291	219	131	91	71	69	13.6	16.5	11.0	13.0	14.7	585	440	384	290	219	130	91	71	68	69	0.90	81.76	287.98	0.35	28.62	3.75
Puente aranda	C1	PT2	K0+050	40.1	592	466	393	295	221	138	100	77	78	13.6	16.2	11.0	13.0	14.5	620	467	394	296	221	138	100	77	78	70	0.90	77.02	271.90	0.35	26.96	3.68
Puente aranda	C1	PT2	K0+050	39.9	579	454	384	291	215	137	100	77	75	13.6	16.2	11.0	13.0	14.5	608	457	386	293	216	137	100	77	75	69	0.90	77.59	278.65	0.35	27.16	3.71
Puente aranda	C1	PT2	K0+060	40.3	589	481	409	299	219	137	98	69	64	13.5	16.5	11.0	13.0	14.5	612	479	407	298	218	135	97	68	64	69	0.90	78.74	274.47	0.35	27.56	3.69
Puente aranda	C1	PT2	K0+060	39.9	571	469	398	294	217	138	98	73	67	13.5	16.2	11.0	13.0	14.5	600	472	400	296	218	138	98	73	67	69	0.90	77.02	284.75	0.35	26.96	3.74
Puente aranda	C1	PT2	K0+070	40.5	662	525	444	330	253	151	107	81	80	13.5	16.0	11.0	13.0	14.4	687	521	441	327	251	149	105	80	79	69	0.90	71.34	242.86	0.35	24.97	3.54
Puente aranda	C1	PT2	K0+070	40.3	650	525	436	325	253	152	107	87	80	13.5	16.0	11.0	13.0	14.4	678	524	435	324	252	151	107	86	79	69	0.90	70.39	248.70	0.35	24.64	3.57
Puente aranda	C1	PT2	K0+080	40.6	651	520	422	304	232	138	118	83	73	13.5	16.0	11.0	13.0	14.4	673	514	417	301	229	136	93	76	62	66	0.90	78.16	241.27	0.35	27.35	3.53
Puente aranda	C1	PT2	K0+080	40.6	637	512	414	302	231	139	95	79	65	13.5	16.0	11.0	13.0	14.4	659	507	410	299	229	137	93	78	64	67	0.90	77.59	249.05	0.35	27.16	3.57
Puente aranda	C1	PT2	K0+090	40.5	580	453	381	281	207	135	95	73	65	13.5	16.4	11.0	13.0	14.7	600	450	378	279	205	133	94	73	64	67	0.90	79.92	280.50	0.35	27.97	3.72
Puente aranda	C1	PT2	K0+090	40.3	568	442	381	279	214	134	102	73	72	13.5	16.4	11.0	13.0	14.7	591	441	380	278	213	133	101	72	71	68	0.90	79.92	286.52	0.35	27.97	3.74
Puente aranda	C1	PT2	K0+100	40.1	328	290	263	222	196	150	115	88	81	13.5	16.6	11.0	13.0	14.8	343	290	263	223	196	149	114	88	80	96	1.20	69.93	706.38	0.35	24.48	5.06
Puente aranda	C1	PT2	K0+100	40.1	325	285	260	220	195	150	112	86	76	13.5	16.6	11.0	13.0	14.8	339	286	260	220	195	150	112	86	76	94	1.20	71.18	711.85	0.35	24.91	5.07
Puente aranda	C1	PT2	K0+110	40.5	692	535	452	327	239	152	110	92	81	13.5	17.0	11.0	13.0	15.0	714	530	449	324	237	150	109	90	80	66	0.90	70.86	230.79	0.35	24.80	3.48
Puente aranda	C1	PT2	K0+110	40.5	677	528	446	334	238	152	110	90	78	13.5	17.0	11.0	13.0	15.0	698	523	442	321	236	150	108	89	77	67	0.90	70.86	238.17	0.35	24.80	3.52
Puente aranda	C1	PT2	K0+120	40.7	720	535	459	339	250	157	112	92	77	13.5	16.9	11.0	13.0	15.0	739	528	452	334	247	154	110	90	76	66	0.90	69.02	222.29	0.35	24.16	3.44
Puente aranda	C1	PT2	K0+120	40.3	702	523	455	335	250	155	112	92	78	13.5	16.9	11.0	13.0	15.0	728	521	453	334	249	154	111	91	77	67	0.90	69.02	226.96	0.35	24.16	3.46
Puente aranda	C1	PT2	K0+130	40.4	806	514	446	346	287	169	112	85	78	13.5	16.6	11.0	13.0	14.8	628	511	443	344	265	167	111	84	77	74	0.90	63.65	289.81	0.35	22.28	3.76
Puente aranda	C1	PT2	K0+130	40.2	596	509	438	340	284	169	113	85	79	13.5	16.6	11.0	13.0	14.8	620	508	438	340	263	168	112	84	78							

CÁLCULO DE PARÁMETROS AASHTO DEFLECTOMETRÍA



Tramo de prueba	Carril	Unidad Funcional	Abscisa	Carga (kN)	Datos de campo								Espesores de pavimento (cm)		Temperatura mezcla asfáltica (BELLS 3, °C)		Deflexiones ajustadas (µm)								Mr, Ep, SN									
					Deflexiones (µm)								Temp. Aire (°C)	Temp. Superf. Pavimento (°C)	Capas Asfálticas	Temperatura Media del Aire del día anterior (°C)	Temperatura mezcla asfáltica (°C)	Deflexiones ajustadas por temperatura D0 - D4				Deflexiones ajustadas por carga D5 - D8				Mr Subrasante			S _{Nef}					
					D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7						D8	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	70% ae (cm)		Dist. Sensor Seleccionado (m)	Mr (MPa)	Ep (MPa)	C	
Puente aranda	C2	PT2	K0+145	40.7	531	481	428	344	254	154	99	73	50	13.2	16.3	11.0	13.0	14.7	546	474	422	339	251	151	97	71	49	77	0.90	70.39	339.49	0.35	24.64	3.96
Cundinamarca	C1	CU1	K0+000	41.0	423	378	341	273	211	130	74	49	46	13.7	16.3	11.5	13.0	14.7	434	371	334	268	207	127	72	48	45	73	0.90	83.70	456.86	0.35	29.29	4.05
Cundinamarca	C1	CU1	K0+000	41.0	421	375	327	269	209	126	75	50	45	13.7	16.3	11.5	13.0	14.7	432	368	321	264	205	123	73	48	44	73	0.90	86.42	452.26	0.35	30.25	4.04
Cundinamarca	C1	CU1	K0+010	40.4	396	322	274	209	161	99	63	44	43	13.7	16.4	11.5	13.0	14.8	411	320	272	208	160	98	62	43	42	66	0.90	108.46	435.10	0.35	37.96	3.99
Cundinamarca	C1	CU1	K0+010	40.5	394	319	272	209	161	99	63	44	44	13.7	16.4	11.5	13.0	14.8	407	316	269	207	159	98	62	43	43	66	0.90	108.46	441.40	0.35	37.96	4.00
Cundinamarca	C1	CU1	K0+020	40.0	285	231	198	162	134	92	63	48	31	13.7	16.3	11.5	13.0	14.8	299	232	199	163	134	92	63	48	31	72	0.90	115.54	681.84	0.35	40.44	4.63
Cundinamarca	C1	CU1	K0+020	39.9	282	227	198	161	132	93	64	46	32	13.7	16.3	11.5	13.0	14.8	296	228	200	162	133	93	64	46	32	73	0.90	114.29	697.00	0.35	40.00	4.66
Cundinamarca	C1	CU1	K0+030	40.2	300	250	211	152	122	77	47	34	29	13.6	16.1	11.5	13.0	14.6	313	249	210	162	122	76	47	34	29	66	0.90	139.86	576.23	0.35	48.95	4.38
Cundinamarca	C1	CU1	K0+030	40.0	297	244	208	151	120	73	46	34	29	13.6	16.1	11.5	13.0	14.6	312	246	209	152	121	73	46	34	29	66	0.90	145.61	568.17	0.35	50.96	4.36
Cundinamarca	C1	CU1	K0+040	39.8	255	198	172	133	107	71	47	41	40	13.6	15.9	11.5	13.0	14.5	269	201	174	134	109	72	47	41	41	72	0.90	147.63	703.30	0.35	51.67	4.68
Cundinamarca	C1	CU1	K0+040	39.8	244	198	171	132	107	72	46	37	40	13.6	15.9	11.5	13.0	14.5	257	200	172	134	107	72	46	37	40	73	0.90	147.63	753.74	0.35	51.67	4.79
Cundinamarca	C1	CU1	K0+050	40.0	294	241	214	171	137	89	62	45	43	13.6	15.8	11.5	13.0	14.5	309	242	215	171	138	89	62	45	43	71	0.90	119.43	636.19	0.35	41.80	4.52
Cundinamarca	C1	CU1	K0+050	40.2	294	245	215	170	137	91	62	48	46	13.6	15.8	11.5	13.0	14.5	308	245	215	170	137	91	62	48	46	71	0.90	116.81	647.14	0.35	40.88	4.55
Cundinamarca	C1	CU2	K0+059	40.2	503	378	313	219	159	90	60	47	39	13.6	16.1	11.5	13.0	14.7	526	378	313	219	159	89	60	47	39	60	0.60	100.28	315.82	0.35	35.10	3.58
Cundinamarca	C1	CU2	K0+059	40.2	498	373	311	218	159	90	60	48	40	13.6	16.1	11.5	13.0	14.7	520	373	311	218	159	89	60	47	40	60	0.60	100.28	320.98	0.35	35.10	3.60
Cundinamarca	C1	CU2	K0+070	40.0	424	300	260	176	125	66	44	37	44	13.4	15.8	11.5	13.0	14.5	446	301	261	177	125	66	44	37	44	59	0.60	127.55	361.37	0.35	44.64	3.75
Cundinamarca	C1	CU2	K0+070	40.0	418	304	256	174	124	67	45	38	44	13.4	15.8	11.5	13.0	14.5	439	306	257	175	124	67	45	38	44	59	0.60	128.58	368.25	0.35	45.00	3.77
Cundinamarca	C1	CU2	K0+080	40.6	516	401	332	235	166	83	52	39	36	13.4	16.1	11.5	13.0	14.6	533	397	329	233	164	82	51	38	35	61	0.90	129.63	281.86	0.35	45.37	3.45
Cundinamarca	C1	CU2	K0+080	40.4	507	397	327	233	164	83	51	39	36	13.4	16.1	11.5	13.0	14.6	527	395	326	232	163	83	51	39	36	61	0.90	129.06	287.35	0.35	44.82	3.47
Cundinamarca	C1	CU2	K0+090	40.3	608	459	374	263	171	80	45	36	19	13.4	16.0	11.5	13.0	14.6	634	458	373	253	171	80	45	36	19	59	0.60	93.24	250.51	0.35	32.63	3.32
Cundinamarca	C1	CU2	K0+090	40.1	597	447	366	249	168	80	44	38	21	13.4	16.0	11.5	13.0	14.6	626	449	367	249	168	80	44	38	21	59	0.60	94.34	253.80	0.35	33.02	3.33
Cundinamarca	C1	CU2	K0+100	40.2	548	401	325	214	139	62	36	31	39	13.3	16.1	11.5	13.0	14.7	572	401	324	213	139	61	35	30	39	57	0.60	114.70	267.34	0.35	40.15	3.39
Cundinamarca	C1	CU2	K0+100	40.2	536	392	318	211	138	61	36	29	39	13.3	16.1	11.5	13.0	14.7	560	393	318	211	138	60	35	29	39	57	0.60	115.54	274.41	0.35	40.44	3.42
Cundinamarca	C1	CU2	K0+110	40.3	563	436	343	233	153	72	41	34	27	13.3	16.1	11.5	13.0	14.7	586	434	342	232	153	72	41	34	27	58	0.60	104.21	267.76	0.35	36.47	3.39
Cundinamarca	C1	CU2	K0+110	40.2	554	425	338	231	154	73	41	33	27	13.3	16.1	11.5	13.0	14.7	578	424	337	231	153	72	41	33	26	59	0.60	104.21	272.85	0.35	36.47	3.41
Cundinamarca	C1	CU2	K0+120	40.5	398	331	277	202	150	80	47	32	39	13.3	16.4	11.5	13.0	14.8	412	329	274	200	148	79	47	32	38	64	0.90	134.55	395.19	0.35	47.09	3.86
Cundinamarca	C1	CU2	K0+120	40.5	394	325	273	200	148	79	47	32	39	13.3	16.4	11.5	13.0	14.8	408	323	271	198	147	78	47	32	38	64	0.90	136.27	398.60	0.35	47.70	3.87
Cundinamarca	C2	CU1	K0+000	40.3	618	478	394	259	173	87	54	49	49	13.2	16.5	11.5	13.0	15.0	642	477	392	258	173	86	53	49	49	59	0.60	92.16	247.30	0.35	32.26	3.30
Cundinamarca	C2	CU1	K0+000	40.2	604	468	385	253	171	87	56	49	48	13.2	16.5	11.5	13.0	15.0	630	468	385	253	171	87	55	49	48	59	0.60	93.24	252.70	0.35	32.63	3.32
Cundinamarca	C2	CU1	K0+005	39.9	379	299	249	185	140	85	55	41	46	13.2	16.5	11.5	13.0	14.9	398	301	250	186	141	85	56	41	46	63	0.90	125.05	427.69	0.35	43.77	3.96
Cundinamarca	C2	CU1	K0+005	39.9	377	296	247	183	140	86	56	42	45	13.2	16.5	11.5	13.0	14.9	395	299	249	184	141	86	56	42	45	64	0.90	123.60	434.55	0.35	43.26	3.98
Cundinamarca	C2	CU1	K0+015	40.1	264	215	193	151	125	88	63	45	40	13.2	15.5	11.5	13.0	14.3	278	216	193	151	125	87	62	45	40	73	0.90	122.18	740.45	0.35	42.76	4.76
Cundinamarca	C2	CU1	K0+015	39.9	263	211	191	150	124	87	64	44	41	13.2	15.5	11.5	13.0	14.3	277	212	192	151	125	87	64	44	41	73	0.90	122.18	744.65	0.35	42.76	4.77
Cundinamarca	C2	CU1	K0+025	40.1	251	191	159	123	97	65	46	30	20	13.2	15.3	11.5	13.0	14.2	264	191	159	123	97	65	46	30	20	65	0.90	163.53	687.71	0.35	57.23	4.64
Cundinamarca	C2	CU1	K0+025	40.0	238	185	157	122	97	64	40	29	22	13.2	15.3	11.5	13.0	14.2	251	186	158	123	97	64	40	29	22	66	0.90	166.08	735.69	0.35	58.13	4.75
Cundinamarca	C2	CU1	K0+035	39.7	174	146	129	107	88	62	43	34	21	13.1	15.1	11.5	13.0	14.0	185	148	131	108	89	63	43	34	21	76	0.90	168.72	1,169.58	0.35	59.05	5.54
Cundinamarca	C2	CU1	K0+035	39.5	172	145	127	106	87	64	43	33	24	13.1	15.1	11.5	13.0	14.0	184	148	130	107	88	64	43	33	25	77	0.90	166.08	1,191.33	0.35	58.13	5.58
Cundinamarca	C2	CU1	K0+045	39.5	212	177	153	126	104	73	50	44	31	13.1	15.4	11.5	13.0	14.2	225	180	155	128	106	74	51	44	32	75	0.90	143.64	941.73	0.35	50.27	5.16
Cundinamarca	C2	CU1	K0+045	39.4	209	173	151	124	103	72	52	43	29	13.1	15.4	11.5	13.0	14.2	224	177	154	127	106	74	53	44	29	75	0.90	143.64	948.44	0.35	50.27	5.17
Cundinamarca	C2	CU2	K0+055	40.1	319	256	213	155	111	65	43	36	24	13.1	15.4	11.5	13.0	14.3	336	256	213	155	111	65	43	36	24	63	0.90	163.53	486.29	0.35		

K. Anexo K Resultados módulos retro calculados

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo VL1



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Villa Luz	C1	1	0	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.005	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.011	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.015	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.02	2	75	200	400	0	3,432	1,888	139	143	-0.2
Villa Luz	C1	1	0.025	2	75	200	400	0	2,935	1,997	139	145	-0.2
Villa Luz	C1	1	0.03	2	75	200	400	0	3,571	1,665	205	119	-1.1
Villa Luz	C1	1	0.035	2	75	200	400	0	2,493	1,588	142	123	-2.4
Villa Luz	C1	1	0.04	2	75	200	400	0	3,079	1,664	224	124	-1.8
Villa Luz	C1	1	0.045	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.05	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.055	2	75	200	400	0	4,136	2,076	119	133	-1.3
Villa Luz	C1	1	0.06	2	75	200	400	0	4,672	2,357	173	117	-0.5
Villa Luz	C1	1	0	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.005	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.011	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.015	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.02	2	75	200	400	0	3,432	1,888	139	143	-0.2
Villa Luz	C1	1	0.025	2	75	200	400	0	2,935	1,997	139	145	-0.2
Villa Luz	C1	1	0.03	2	75	200	400	0	3,571	1,665	205	119	-1.1
Villa Luz	C1	1	0.035	2	75	200	400	0	2,493	1,588	142	123	-2.4
Villa Luz	C1	1	0.04	2	75	200	400	0	3,079	1,664	224	124	-1.8

	AC	BG	SBG	SR
Módulos Promedio, (Mpa)	3,266	1,823	162	119
Desviación estándar	1.20	1.13	1.25	1.09
CBR, (%)	15.7			

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo VL2



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Villa Luz	C1	1	0.065	1				0					
Villa Luz	C1	1	0.07	1				0					
Villa Luz	C1	1	0.075	1				0					
Villa Luz	C1	1	0.08	1				0					
Villa Luz	C1	1	0.085	1	75	200	400	0	3,633	2,192	142	150	-1.1
Villa Luz	C1	1	0.09	1	75	200	400	0	3,515	1,812	134	116	-1.7
Villa Luz	C1	1	0.095	1	75	200	400	0	2,990	2,192	145	100	-1.6
Villa Luz	C1	1	0.1	1	75	200	400	0	3,319	1,861	123	121	-2.1
Villa Luz	C1	1	0.065	2	75	200	400	0	2,691	990	136	84	-1.3
Villa Luz	C1	1	0.07	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.075	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.08	2	75	200	400	0	3,160	2,197	153	109	-1.1
Villa Luz	C1	1	0.085	2	75	200	400	0	4,102	2,097	162	146	-0.5
Villa Luz	C1	1	0.09	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.095	2				0					
Villa Luz	C1	1	0.1	2				0					

	AC	BG	SBG	SR
Módulos Promedio, (Mpa)	3,317	1,849	142	99
Desviación estándar	1.15	1.33	1.09	1.23
CBR, (%)	13.7			

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo VL2



Comparación de deflexiones, Diferencia (%)								
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
1.4	0.9	-0.6	-2.0	0.0	-3.0	-1.3	8.0	3.0
1.4	2.9	-0.3	-2.3	-4.0	-6.1	2.2	14.4	5.5
2.3	1.3	-0.3	-1.3	-0.7	-2.2	-5.0	13.4	4.8
3.6	1.6	-0.9	-1.7	-1.0	-4.2	0.5	6.2	3.0
2.0	1.5	-1.2	-2.0	-4.9	-4.3	1.0	21.1	7.4
0.7	2.8	-1.3	-1.2	-0.3	-0.9	-5.6	8.6	3.8
1.2	0.6	0.6	-2.0	2.2	-5.1	-1.6	6.1	2.9

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo RT1



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Restrepo	C1	1	0	1				0					
Restrepo	C1	1	0.005	1	120	200	400	0	1,860	512	90	75	-0.1
Restrepo	C1	1	0.01	1				0					
Restrepo	C1	1	0.015	1	120	200	400	0	2,642	430	80	87	-0.2
Restrepo	C1	1	0.02	1	120	200	400	0	3,148	196	66	64	0.0
Restrepo	C1	1	0.025	1	120	200	400	0	2,506	375	99	67	-0.3
Restrepo	C1	1	0.03	1				0					
Restrepo	C1	1	0.035	1	120	200	400	0	5,781	323	110	81	-0.1
Restrepo	C1	1	0	2				0					
Restrepo	C1	1	0.005	2	120	200	400	0	2,144	458	88	78	-0.2
Restrepo	C1	1	0.01	2				0					
Restrepo	C1	1	0.015	2	120	200	400	0	2,344	515	87	77	-0.3
Restrepo	C1	1	0.02	2	120	200	400	0	1,606	333	95	42	0.0
Restrepo	C1	1	0.025	2	120	200	400	0	2,662	373	108	65	-0.2
Restrepo	C1	1	0.03	2				0					
Restrepo	C1	1	0.035	2	120	200	400	0	5,402	391	102	88	-0.1

Módulos Promedio, (Mpa)	2,764	378	92	64
Desviación estándar	1.52	1.33	1.16	1.24

CBR, (%)	8.9
----------	------------

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo RT1

Comparación de deflexiones, Diferencia (%)								
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
-0.8	1.6	0.6	-1.8	-2.9	-2.4	16.4	0.0	5.9
-0.1	0.3	0.9	-0.6	-5.4	1.4	9.7	0.0	4.0
-0.1	0.3	0.3	-0.5	-0.5	-1.3	6.2	0.0	2.2
-0.4	1.2	1.0	-2.7	-2.2	-3.3	19.7	0.0	7.3
0.7	-0.5	-0.6	-0.1	1.5	-1.0	3.1	0.0	1.5
-0.3	0.8	0.7	-1.4	-6.4	-3.0	18.5	0.0	7.2
-0.4	0.5	0.9	-0.7	-6.5	-0.2	15.4	0.0	5.9
-0.3	0.7	0.7	-2.0	0.4	-3.6	13.2	0.0	4.9
-0.4	1.4	0.8	-2.8	-3.0	-3.0	19.5	0.0	7.3
0.4	0.1	-0.4	-0.2	0.0	-1.2	3.6	0.0	1.5

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo RT2



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Restrepo	C1	1	0.04	1	120	200	400	0	1,879	237	84	53	0.0
Restrepo	C1	1	0.045	1	120	200	400	0	2,013	1,011	78	84	-0.6
Restrepo	C1	1	0.05	1				0					
Restrepo	C1	1	0.055	1	120	200	400	0	3,577	464	49	71	-0.3
Restrepo	C1	1	0.06	1	120	200	400	0	3,523	349	91	71	0.4
Restrepo	C1	1	0.065	1	120	200	400	0	4,443	402	72	69	0.0
Restrepo	C1	1	0.07	1	120	200	400	0	4,611	343	138	85	0.0
Restrepo	C1	1	0.075	1				0					
Restrepo	C1	1	0.08	1				0					
Restrepo	C1	1	0.04	2	120	200	400	0	1,763	279	93	44	0.1
Restrepo	C1	1	0.045	2	120	200	400	0	2,165	1,050	84	73	0.1
Restrepo	C1	1	0.05	2				0					
Restrepo	C1	1	0.055	2	120	200	400	0	2,019	861	53	69	-0.5
Restrepo	C1	1	0.06	2	120	200	400	0	3,671	342	88	77	0.1
Restrepo	C1	1	0.065	2	120	200	400	0	3,165	629	63	87	-0.2
Restrepo	C1	1	0.07	2	120	200	400	0	3,976	443	116	105	0.0
Restrepo	C1	1	0.075	2				0					
Restrepo	C1	1	0.08	2				0					

Módulos Promedio, (Mpa)	2,896	474	81	63
Desviación estándar	1.43	1.65	1.35	1.26
CBR, (%)	7.8			

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo RT2



Comparación de deflexiones, Diferencia (%)								
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
-0.8	1.5	-0.2	-3.6	2.5	-4.4	13.4	0.0	5.1
-1.9	3.6	0.8	-1.6	-2.9	-7.5	11.7	0.0	5.3
-1.1	2.4	0.6	-1.8	-0.2	-3.3	5.4	0.0	2.3
-1.2	2.6	0.1	-1.3	-4.8	-0.4	20.1	0.0	7.4
-0.8	1.5	-0.3	-1.5	-2.2	3.6	10.2	0.0	4.0
-1.8	2.0	0.5	-4.1	1.6	0.6	10.0	0.0	4.0
-0.5	1.2	0.1	-1.8	0.0	-0.3	5.4	0.0	1.9
-2.0	3.0	0.4	-2.2	-3.4	-5.0	16.2	0.0	6.2
-1.6	3.1	1.1	-1.9	0.1	-4.2	5.6	0.0	3.0
-1.4	3.0	0.4	-3.8	0.8	-0.3	10.8	0.0	4.3
-1.3	2.3	1.4	-0.5	-0.7	-13.0	13.6	0.0	6.8
-1.0	2.0	-0.1	-2.0	-1.8	1.5	4.8	0.0	2.3

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo PT1



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Puente Aranda	C1	1	0	1				0					
Puente Aranda	C1	1	0.001	1	110	200	400	0	1,738	60	242	101	1.1
Puente Aranda	C1	1	0.005	1	110	200	400	0	2,057	136	47	173	0.0
Puente Aranda	C1	1	0.01	1	110	200	400	0	1,779	69	211	97	10.2
Puente Aranda	C1	1	0.015	1	110	200	400	0	1,391	149	51	113	4.3
Puente Aranda	C1	1	0.02	1	110	200	400	0	3,445	74	106	121	6.9
Puente Aranda	C1	1	0.025	1	110	200	400	0	1,555	309	96	113	-1.0
Puente Aranda	C1	1	0.03	1				0					
Puente Aranda	C1	1	0.035	1	110	200	400	0	2,098	471	99	130	-0.1
Puente Aranda	C1	1	0.04	1	110	200	400	0	1,711	200	93	73	-0.6
Puente Aranda	C1	1	0.045	1	110	200	400	0	1,476	278	96	128	1.1
Puente Aranda	C1	1	0.05	1	110	200	400	0	1,779	171	72	124	6.1
Puente Aranda	C1	1	0.055	1	110	200	400	0	1,918	174	56	120	-0.7
Puente Aranda	C1	1	0	2				0					
Puente Aranda	C1	1	0.001	2	110	200	400	0	1,707	69	234	92	0.5
Puente Aranda	C1	1	0.005	2	110	200	400	0	2,514	106	54	167	3.5
Puente Aranda	C1	1	0.01	2	110	200	400	0	1,756	69	217	99	4.3
Puente Aranda	C1	1	0.015	2	110	200	400	0	1,295	176	48	116	2.8
Puente Aranda	C1	1	0.02	2	110	200	400	0	2,619	128	90	121	6.6
Puente Aranda	C1	1	0.025	2	110	200	400	0	2,126	241	101	113	1.9
Puente Aranda	C1	1	0.03	2				0					
Puente Aranda	C1	1	0.035	2	110	200	400	0	2,299	457	99	133	-0.5
Puente Aranda	C1	1	0.04	2	110	200	400	0	1,996	193	77	96	4.2
Puente Aranda	C1	1	0.045	2	110	200	400	0	1,348	305	105	124	-0.9
Puente Aranda	C1	1	0.05	2	110	200	400	0	1,569	202	72	125	2.3
Puente Aranda	C1	1	0.055	2	110	200	400	0	2,114	167	56	120	-0.4
Puente Aranda	C1	1	0	3	110	200	400	0	1,558	58	176	75	-6.2

	AC	BG	SBG	SR
Módulos Promedio, (Mpa)	1,855	154	95	96
Desviación estándar	1.26	1.88	1.67	1.23
CBR, (%)	9.2			

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo PT1



Comparación de deflexiones, Diferencia (%)								
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
-6.2	7.9	11.4	-0.1	-9.4	-1.5	5.4	0.0	6.4
-10.1	10.8	5.2	-10.1	-8.6	-4.7	5.0	12.7	8.5
-25.4	16.6	14.2	-7.1	-10.6	-0.5	7.4	0.0	13.4
-19.2	19.4	3.3	-4.8	-6.7	-2.0	4.0	-1.4	9.7
-8.2	-2.1	5.6	1.3	-1.8	-1.7	0.8	0.0	4.5
-4.6	7.0	0.7	-3.0	-3.6	-3.1	0.2	7.0	4.2
0.1	0.9	1.7	-2.5	1.9	-2.2	-1.0	4.2	2.1
-6.6	8.1	6.9	-0.4	-5.8	-1.1	2.8	0.0	5.1
-6.4	6.9	-0.3	-3.6	-2.9	-0.2	0.2	7.9	4.4
-11.0	4.0	4.7	-1.0	-2.5	0.3	-0.2	0.0	5.1
-7.8	8.8	5.3	-0.4	-9.5	-3.8	-6.8	16.8	8.3
-6.3	1.5	9.8	-2.7	-9.8	-1.7	5.8	0.0	6.0
-9.4	8.3	5.9	-5.3	-6.1	-4.4	4.9	13.3	7.2
-16.0	13.8	11.9	-7.5	-8.1	-2.5	6.7	0.0	9.9
-18.9	19.6	1.8	-6.4	-5.0	-0.4	4.9	-0.3	9.8
-14.3	3.9	11.8	2.8	-7.5	1.5	0.4	0.0	7.6
-3.0	3.1	1.3	-2.4	-1.7	-1.7	-1.4	6.8	3.1
-0.9	1.7	-0.4	-2.8	3.1	-2.4	-2.1	5.1	2.5
-17.1	8.6	7.0	1.6	-4.3	-1.1	2.4	0.0	7.6
-5.1	9.1	1.2	-5.4	-1.1	-1.3	-2.2	8.5	4.9
-9.3	5.4	6.2	-3.7	-2.4	0.9	0.8	0.0	4.6
-6.1	7.3	4.0	-3.4	-8.7	-4.4	-4.3	15.1	7.1
-14.4	24.4	25.0	-8.8	-11.7	-4.7	9.5	0.0	14.9

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo PT2



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				D1
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1
Puente Aranda	C1	1	0.055	1	110	200	400	0	1,918	174	56	120	-0.7
Puente Aranda	C1	1	0.06	1	110	200	400	0	2,153	148	60	138	1.5
Puente Aranda	C1	1	0.065	1	110	200	400	0	1,436	137	55	113	-0.5
Puente Aranda	C1	1	0.07	1	110	200	400	0	1,540	170	54	121	4.0
Puente Aranda	C1	1	0.075	1	110	200	400	0	1,759	236	69	133	1.5
Puente Aranda	C1	1	0.08	1	110	200	400	0	1,592	133	68	129	-1.3
Puente Aranda	C1	1	0.085	1	110	200	400	0	1,653	150	66	140	0.3
Puente Aranda	C1	1	0.09	1	110	200	400	0	1,904	161	79	131	8.6
Puente Aranda	C1	1	0.095	1	110	200	400	0	1,872	204	63	140	2.9
Puente Aranda	C1	1	0.1	1				0					
Puente Aranda	C1	1	0.105	1				0					
Puente Aranda	C1	1	0.11	1	110	200	400	0	1,433	136	74	110	2.9
Puente Aranda	C1	1	0.115	1	110	200	400	0	1,780	158	76	124	1.7
Puente Aranda	C1	1	0.12	1				0					
Puente Aranda	C1	1	0.125	1	110	200	400	0	1,944	228	52	120	-1.6
Puente Aranda	C1	1	0.13	1				0					
Puente Aranda	C1	1	0.055	2	110	200	400	0	2,114	167	56	120	-0.4
Puente Aranda	C1	1	0.06	2	110	200	400	0	2,680	115	72	128	5.3
Puente Aranda	C1	1	0.065	2	110	200	400	0	1,765	104	64	108	-0.7
Puente Aranda	C1	1	0.07	2	110	200	400	0	1,832	138	63	114	4.5
Puente Aranda	C1	1	0.075	2	110	200	400	0	1,433	318	63	136	-0.1
Puente Aranda	C1	1	0.08	2	110	200	400	0	1,587	145	68	127	-2.2
Puente Aranda	C1	1	0.085	2	110	200	400	0	1,594	167	66	140	0.1
Puente Aranda	C1	1	0.09	2	110	200	400	0	1,925	179	76	128	8.4
Puente Aranda	C1	1	0.095	2	110	200	400	0	2,108	184	64	143	0.9
Puente Aranda	C1	1	0.1	2				0					
Puente Aranda	C1	1	0.105	2	110	200	400	0	1,374	214	71	143	-0.5
Puente Aranda	C1	1	0.11	2	110	200	400	0	1,655	123	77	110	4.9
Puente Aranda	C1	1	0.115	2	110	200	400	0	1,786	167	75	124	-1.0
Puente Aranda	C1	1	0.12	2				0					
Puente Aranda	C1	1	0.125	2	110	200	400	0	2,462	180	58	117	0.7
Puente Aranda	C1	1	0.13	2				0					

	AC	BG	SBG	SR
Módulos Promedio, (Mpa)	1,787	164	65	113
Desviación estándar	1.18	1.28	1.13	1.09

CBR, (%)	6.3
----------	-----

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo PT2



Comparación de deflexiones, Diferencia (%)								
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
-7.8	8.8	5.3	-0.4	-9.5	-3.8	-6.8	16.8	8.3
-7.7	8.2	2.2	-4.7	0.3	4.4	-1.7	0.0	4.8
-10.6	12.9	3.0	-4.9	-8.3	-3.0	10.1	1.6	7.5
-10.6	5.2	0.4	3.0	-3.0	0.1	0.0	0.0	4.7
-6.3	7.6	2.1	-2.3	-2.4	-3.9	-2.9	8.4	4.7
-5.9	1.3	0.6	5.4	-0.7	-3.4	2.5	0.0	3.1
-5.2	3.5	6.7	-5.4	-2.1	-3.5	-0.6	9.2	4.8
-10.9	5.5	3.9	-3.5	1.5	0.2	-0.3	0.0	5.9
-9.6	12.5	-0.3	-4.2	-4.3	-2.5	-1.6	10.0	6.8
-14.5	13.4	5.6	-4.0	-3.0	-1.6	4.3	0.0	7.5
-11.3	7.4	8.4	-5.9	-3.5	-5.9	2.3	7.0	6.5
-6.2	7.9	6.9	-5.4	-4.2	-3.9	0.1	9.1	5.7
-6.1	7.3	4.0	-3.4	-8.7	-4.4	-4.3	15.1	7.1
-10.2	3.5	2.3	-3.0	0.7	1.3	-1.5	0.0	4.4
-2.1	1.9	2.8	-1.7	-7.1	-5.0	8.0	5.6	4.7
-8.0	-0.7	-0.1	5.8	-3.5	-2.3	2.0	0.0	4.2
-5.5	8.0	0.1	-3.8	-2.9	-0.5	-2.8	5.9	4.4
-3.1	0.0	-0.5	4.7	-1.7	-3.9	2.8	0.0	2.9
-4.9	5.4	8.0	-5.3	-3.7	-3.1	-0.8	9.7	5.4
-15.0	7.8	-0.9	-0.7	-2.0	4.7	-2.5	0.0	7.0
-10.9	8.8	1.4	-1.8	-4.1	-0.9	-1.9	7.6	5.7
-7.6	7.5	4.2	-3.9	-6.1	-1.2	-0.5	12.0	6.0
-15.4	10.3	6.5	-2.5	-1.8	-1.7	2.4	0.0	7.1
-3.5	5.7	6.2	-8.8	-4.6	-5.5	1.0	11.2	6.3
-8.9	5.8	7.9	-3.6	-3.6	-3.4	-0.9	9.3	5.8

Evaluación Deflectométrica
Sector homogéneo CU1



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Cundinamarca	C1	1	0	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.005	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.01	1	115	200	250	0	2,615	304	206	59	-0.5
Cundinamarca	C1	1	0.015	1	115	200	250	0	3,065	662	445	80	-0.2
Cundinamarca	C1	1	0.02	1	115	200	250	0	2,303	734	379	77	-1.0
Cundinamarca	C1	1	0.025	1	115	200	250	0	1,948	740	462	99	0.1
Cundinamarca	C1	1	0.03	1	115	200	250	0	2,893	454	278	76	-3.3
Cundinamarca	C1	1	0.035	1	115	200	250	0	4,777	1,308	325	149	0.0
Cundinamarca	C1	1	0.04	1	115	200	250	0	2,367	633	690	77	1.2
Cundinamarca	C1	1	0.045	1	115	200	250	0	4,191	862	357	121	0.1
Cundinamarca	C1	1	0.05	1	115	200	250	0	2,358	710	351	64	-3.6
Cundinamarca	C1	1	0.055	1	115	200	250	0	2,782	343	251	79	0.1
Cundinamarca	C1	1	0	2				0					
Cundinamarca	C1	1	0.005	2				0					
Cundinamarca	C1	1	0.01	2	115	200	250	0	2,641	308	213	59	0.0
Cundinamarca	C1	1	0.015	2	115	200	250	0	2,114	993	389	81	-0.4
Cundinamarca	C1	1	0.02	2	115	200	250	0	2,045	880	339	78	-0.9
Cundinamarca	C1	1	0.025	2	115	200	250	0	2,509	766	460	92	0.2
Cundinamarca	C1	1	0.03	2	115	200	250	0	3,211	389	294	80	-2.1
Cundinamarca	C1	1	0.035	2	115	200	250	0	4,777	1,343	345	146	-0.1
Cundinamarca	C1	1	0.04	2	115	200	250	0	2,427	877	319	103	-2.3
Cundinamarca	C1	1	0.045	2	115	200	250	0	3,383	1,065	361	121	-0.4
Cundinamarca	C1	1	0.05	2	115	200	250	0	2,482	684	274	77	-4.7

	AC	BG	SBG	SR
Módulos Promedio, (Mpa)	2,788	676	341	72
Desviación estándar	1.30	1.57	1.33	1.31

CBR, (%)	32.9
----------	-------------

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo CU2



Código					Espesores, (mm)				Módulos, (MPa)				
Elemento	Línea	Segmento	Abscisa (km)	Golpe	H1 AC	H2 BG	H3	H4	E1ref AC	E2ref BG	E3ref SBG	E4ref SR	D1 D1
Cundinamarca	C1	1	0.055	1	115	200	250	0	2,782	343	251	79	0.1
Cundinamarca	C1	1	0.059	1	115	200	250	0	1,915	92	514	58	6.8
Cundinamarca	C1	1	0.065	1	115	200	250	0	1,959	265	193	58	-0.8
Cundinamarca	C1	1	0.07	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.075	1	115	200	250	0	1,918	284	195	79	-0.8
Cundinamarca	C1	1	0.08	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.085	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.09	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.095	1	115	200	250	0	1,561	195	115	56	-1.9
Cundinamarca	C1	1	0.1	1				0					
Cundinamarca	C1	1	0.055	2	115	200	250	0	1,814	565	226	76	-1.9
Cundinamarca	C1	1	0.059	2	115	200	250	0	1,915	102	467	58	6.9
Cundinamarca	C1	1	0.065	2	115	200	250	0	1,843	292	194	58	-0.8
Cundinamarca	C1	1	0.07	2	115	200	250	0	1,232	248	303	74	-9.4
Cundinamarca	C1	1	0.075	2	115	200	250	0	1,995	257	216	85	-0.2
Cundinamarca	C1	1	0.08	2	115	200	250	0	1,067	292	116	62	-19.8
Cundinamarca	C1	1	0.085	2	115	200	250	0	1,508	340	157	68	0.4
Cundinamarca	C1	1	0.09	2				0					
Cundinamarca	C1	1	0.095	2				0					
Cundinamarca	C1	1	0.1	2				0					

	AC	BG	SBG	SR
Módulos Promedio, (Mpa)	1,744	246	221	58
Desviación estándar	1.28	1.66	1.60	1.17
CBR, (%)	21.4			

Evaluación Deflectométrica Sector homogéneo CU2



Comparación de deflexiones, Diferencia (%)								
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	RMS
-0.8	4.2	0.4	-5.4	-3.6	1.1	7.9	4.0	3.9
-14.1	7.5	2.9	-2.5	-8.8	-2.1	4.9	0.0	7.3
-1.4	7.1	-2.1	-6.9	-7.9	2.1	12.4	13.4	7.3
-0.4	4.8	-2.2	-4.5	-4.9	0.1	7.4	9.4	4.7
-0.9	4.8	-2.0	-5.4	-5.6	3.4	1.8	21.1	7.8
-0.2	6.4	-1.1	-6.0	-4.0	0.2	8.9	5.5	4.7
-13.9	8.7	3.0	-2.5	-8.8	-2.6	5.2	0.0	7.6
-2.7	7.3	-1.9	-7.4	-8.0	2.0	12.7	12.5	7.4
-5.1	18.5	4.5	-3.1	-8.9	-1.4	6.2	0.0	8.5
-0.7	4.3	-1.9	-3.7	-4.9	-0.7	6.8	8.8	4.6
1.0	11.7	5.3	-0.9	-7.2	-1.8	4.1	0.0	8.9
-3.6	8.8	-1.8	-4.5	-9.0	0.4	9.3	16.6	8.0

7.8

6.0

L. Anexo L Registro fotográfico



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Derecho

Tramo

Cundinamarca

Medición MFV



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo, realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Izquierda

Tramo

Cundinamarca

Medición MFV



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Derecha

Tramo

Puente Aranda

Medición MFV



Abcisa 0



Abcisa 10



Abcisa 20



Abcisa 30



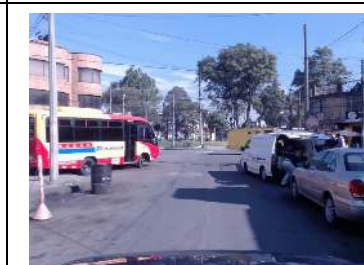
Abcisa 40



Abcisa 50



Abcisa 60



Abcisa 70



Abcisa 80



Abcisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Izquierdo

Tramo

Puente Aranda

Medición MFV



Abcisa 0



Abcisa 10



Abcisa 20



Abcisa 30



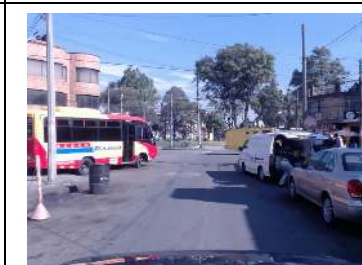
Abcisa 40



Abcisa 50



Abcisa 60



Abcisa 70



Abcisa 80



Abcisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Derecha

Tramo

Restrepo

Medición MFV



Abcisa 0



Abcisa 10



Abcisa 20



Abcisa 30



Abcisa 40



Abcisa 50



Abcisa 60



Abcisa 70



Abcisa 80



Abcisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Izquierdo

Tramo

Restrepo

Medición MFV



Abcisa 0



Abcisa 10



Abcisa 20



Abcisa 30



Abcisa 40



Abcisa 50



Abcisa 60



Abcisa 70



Abcisa 80



Abcisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Derecha

Tramo

Villa Luz

Medición MFV



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



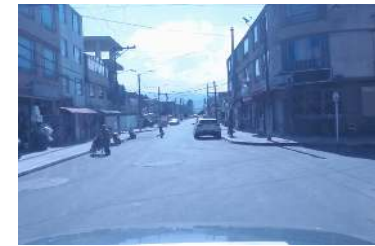
Abscisa 40



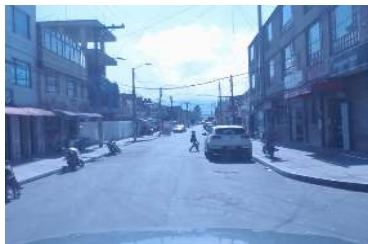
Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

MFV

Carril

Izquierdo

Tramo

Vila Luz

Medición MFV



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Equipo de medición (MFV)

Nora: el equipo empleado para la medición de deterioros del pavimento (MFV) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Derecho

Tramo

Cundinamarca

Medición RSP



Abscisa 10



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Izquierdo

Tramo

Cundinamarca

Medición RSP



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Derecho

Tramo

Puente Aranda

Medición RSP



Abcisa 0



Abcisa 10



Abcisa 20



Abcisa 30



Abcisa 40



Abcisa 50



Abcisa 60



Abcisa 70



Abcisa 80



Abcisa 90



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Izquierdo

Tramo

Puente Aranda

Medición RSP



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Abscisa 90



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

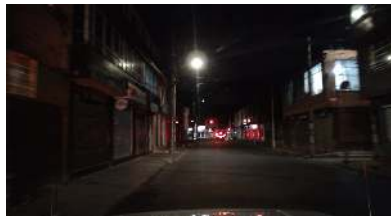
Carril

Derecha

Tramo

Restrepo

Medición RSP



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



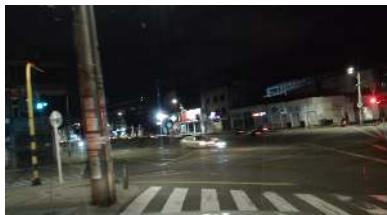
Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Abscisa 80



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Izquierdo

Tramo

Restrepo

Medición RSP



Abscisa 0



Abscisa 10



Abscisa 20



Abscisa 30



Abscisa 40



Abscisa 50



Abscisa 60



Abscisa 70



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Derecha

Tramo

Villa Luz

Medición RSP



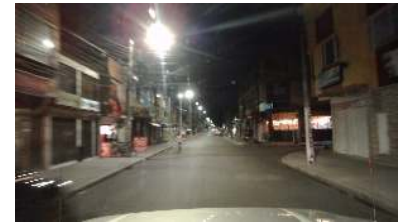
Abcisa 0



Abcisa 10



Abcisa 20



Abcisa 30



Abcisa 40



Abcisa 50



Abcisa 60



Abcisa 70



Perfilómetro láser RSP III

Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.



Registro fotográfico mediciones

Equipo de Medición

RSP

Carril

Izquierdo

Tramo

Vila Luz

Medición RSP



Nora: el equipo empleado para la medición de la regularidad y de los ahuellamiento (Perfilómetro inercial RSP III) realiza una medición continua, sin embargo , realiza una toma de imágenes cada 10 metros.

Bibliografía

FHWA. (2017). *Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume III: Guidelines for Deflection Testing, Analysis, and Interpretation*. Georgetown.

AIPCR. (1987). *Informe del Comité Técnico número 1 de características*. Bruselas: XVIII Congreso Mundial de la Carretera.

Akmalivah, M. (2013). Caso de estudio de una evaluación estructural de un pavimento flexible ubicado en la ciudad de Bogotá, localidad de Puente Aranda entre AV Calle 13 y 15 utilizando técnicas no destructivas y análisis de los resultados obtenidos. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 1689-1699.

Albeno Cáceres, H., Molina Umaña, V., & Reinoza Moran, S. (2012). *Susceptibilidad térmica de los pavimentos asfálticos utilizados en el salvador*. El Salvador: Universidad del Salvador.

Alfonso Barrera, J. (2019). *Análisis de datos en la auscultación de pavimentos empleando equipos de prueba no destructiva*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Alvarez, S., & Rivero, R. (2012). Instrumento electrónico para la estimación del índice de rugosidad internacional (IRI) con base en el perfilómetro estático Merlin. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*.

Arenas, H. (2000). *Tecnología del cemento asfáltico*. Cauca: Universidad del Cauca.

Argueta Mejía, J. E., & Castro Hernández, E. E. (2009). *Metodología para la calibración de los modelos de deterioro de pavimentos generados por el programa HDM4*. San Miguel: Universidad del Salvador.

Asphalt Institute. (2007). *The Asphalt Handbook (MS-4)*. Kentucky.

ASTM. (2018). Standard Practice for Roads and Parking Lots Pavement Condition Index Surveys. 1-47.

Badilla Vargaz, G. (2011). Aspectos Y Consideraciones Importantes En El Cálculo Del Índice De Regularidad Internacional (IRI). *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 1-2.

- Bardosano, R. (2014, Diciembre 9). *El módulo equivalente de superficie*. Retrieved from <http://paveing.blogspot.com/2014/12/el-modulo-equivalente-de-superficie.html>
- Bell, C. (1989). Summary report on the aging of asphalt-aggregate systems. *Transportation Research Board*.
- Beltrán Calvo, G. I. (2012). *Evaluación estructural de pavimentos flexibles con métodos de inteligencia artificial y auscultación no destructiva*. Distrito Federal: Universidad Nacional autónoma de México.
- Betancourt, F. (2018). *Evaluación de los cambios químicos que experimenta el asfalto durante el proceso de envejecimiento a corto plazo y su relación con algunas propiedades físico-mecánicas*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Caicedo, B., & Perez A, S. (2000). Desarrollo del Carrusel de Fatiga De la Universidad de los Andes. *Universidad de los Andes Revista de ingeniería*, 25-30.
- Chakroborty, s., & Kandhal, P. (1996). Effect of asphalt film thickness on short-and long-term aging of asphalt paving mixtures. *Journal of the transportation Research Board*, 83-90.
- Coronado, O., & Betancourt, F. (2014). *Informe de Resultados Final Informe de Resultados*. Bogotá: UMV.
- Coronado, O., & Betancourt, F. (2016). *Informe de resultados final del seguimiento técnico a los pavimentos de los tramos de prueba*. Bogotá: UMV.
- Coronado, O., & Betancourt, F. (2016). *Informe de Resultados Final Informe de Resultados*. Bogotá: UMV.
- Corredor, G. (2008). *Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Department of Transportation. (2021). *Long-Term Pavement Performance Information Management System*. Gerorgetown.
- Díaz Aguirre, P., & Ramírez Suárez, D. (2021). *Estudio de la correlación del índice de estado "IRI" índice de rugosidad internacional, respecto de la capacidad estructural del pavimento, específicamente con los cuencos de deflexión para concesiones de cuarta generación "4G"*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

- Díaz Claros, C. M. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- Dirección de vialidad. (2019). *Manual de carreteras Volumen 8*. Santiago de Chile.
- DNIT. (2018). *Calibração e aferição do modelo hdm-4 para as condições da rede de rodovias do Brasil*. Minas Gerais.
- DNP. (2018). *Plan nacional de desarrollo 2018-2022*. Bogotá.
- Dynatest. (2010). *Technical Description Dynatest Pavement Management System for Roads*.
- Ecopetrol. (1999). *Cartilla práctica para el manejo de los asfáltos Colombianos*. Bogotá.
- FAA. (2005). *FAA PAVEAIR Workshop*.
- Fernández Gómez, W., & Rondón. (2013). A review of asphalt and asphalt mixture aging. *Ingeniería e Investigación*, 5-12.
- Figueroa Infante, A., Reyes Lizcano, F., & Hernandez Barrera, D. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. *Ingeniería e investigación*, 5-15.
- Gamboa Beltrán, G. (2019). *Análisis técnico del deterioro del pavimento de las concesiones viales de Colombia conforme a los parámetros de evaluación establecidos en los contratos de concesión para la evaluación de modelos del comportamiento de los pavimentos*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- García Melo, W. (2013). *Estudio de la influencia del asfalto envejecido en el comportamiento mecánico de una mezcla de concreto asfáltico producida en caliente*. Bogotá: Universidad Nacional.
- García Melo, W. (2013). *Estudio De La Influencia Del Asfalto Envejecido En El Comportamiento Mecánico De Una Mezcla De Concreto Asfáltico Producida En Caliente*. Bogotá: Universidad Nacional .
- Garnica Anguas, P., Flores Flores, M., Gómez López, J. A., & Delgado Alamilla, H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. *Secretaría de comunicaciones y transportes Instituta Mexicano de transportes*.
- Garnica, P., Florez, M., Delgado, H., & Gómez, J. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Secretaría de comunicaciones y transporte.

- Gómez Maldonado, O. (2015). Criterios de optimización del diseño de sobrecarpetas asfálticas para Bogotá, basados en ensayos no destructivos. *Universidad Nacional, Bogotá*.
- Gutiérrez Bayona, A. (2012). *Criterios de optimización del diseño de sobrecarpetas asfálticas para Bogotá, basados en ensayos no destructivos*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Hernandez Cardenaz, J. C. (2018). *Determinar el índice de regularidad IRI y desarrollar un manual para el equipo Merlín*. Medellín: Escuela de ingeniería.
- Hernandez Morales, j. (2020). *Correlacion del estado superficial y estructural de las estructuras de pavimento*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Hidalgo Montoya, C. A., Pandales, C. A., Pedroza Valdés, B. A., & Rodríguez Moreno, M. (2010). Comportamiento de una pista experimental de pavimento flexible con base estabilizada con Cal. *Ingenierías Universidad de Medellín*.
- Higuera Sandoval, C. H. (2012). *Nociones sobre evaluación y rehabilitación de estructuras de pavimentos*. Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Higuera, C. H. (2011). VI Jornada de pavimentos y mantenimiento vial. *Mediciones de los cuencos de deflexiones de una estructura de pavimento* (pp. 11-32). UPTC.
- Horak,E;Emery,S. (2006). Falling weight deflectometer bowl parameters as analysis tool for pavement structural evaluations. *22nd ARRN conference*.
- Hu, F. (2006). *Development and evaluation of an inertial based pavement roughness measuring system* . Florida: Univerity of South Florida.
- IDU. (2011). *Sección: 200-11. Cemento asfáltico*. Bogotá.
- IDU. (2017). *Anexo técnico de diagnóstico para la conservación de infraestructura vial para Bogotá*. Bogotá.
- INGEOMINAS. (2005). *Mapa Geotécnico de la Sabana de Bogotá*.
- INVIAS. (2008). *Guía metodológica para el diseño de obras de rehabilitación de pavimentos flexibles*. INVIAS.
- Jerez Rodríguez, L. (2020). *Mezcla asfáltica modificada con agregados livianos. Nueva alternativa para el desarrollo vial*. Bogotá: Universidad Nacional.

- Lesueur, D. (2009). The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification. *Advances in Colloid and Interface*, 42-82.
- Lozano, D. A., Molina Gómez, F., & Ruge, J. C. (2020). Asphalts and modified dense asphalt mixtures with rubber of military . *DYNA*, 120-128.
- Lund, B. (2006). *Technical Description Dynatest Pavement Management System for Roads*. Copenhagen.
- Marcia, A. (2006). *Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI – International Friction Index para revestimentos asfálticos*. Sao Paulo: Escola Politécnica da Universidade de Sao Paulo.
- Martinez, G., & Caicedo, B. (2005). Efecto de la radiación ultravioleta en el envejecimiento de ligantes y mezclas asfálticas. *Universidad de los Andes*.
- Mintransporte. (2021). *Transporte en cifras 2021*. Bogotá.
- Miro Recasens, J. R. (1994). *Metodología para la caracterización de ligantes asfálticos mediante el empleo del ensayo Cantabro*. Barcelona: Escuela Técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos.
- Morcote Católico, C. A. (2019). *Evaluación del desempeño mecánico de mezclas asfálticas con escorias de acero*. Bogotá: Universidad Nacional.
- NLT. (1998). *Medida de deflexiones en firmes con el deflectómetro de impacto*.
- Núñez, C., & Ignacio, P. (2005). *El modelo HDM-4: descripción y posibilidades de aplicación dentro de un sistema de gestión de carreteras*. Coruña: Universidad de Coruña.
- Ott, T., & Andrus, A. (2009). *Use of fwd deflection basin parameters (SCI, BDI, BCI)*. The baltic journal of road and bridge engineering.
- Pardo, S., & Campagnoli, M. (2019). Ecuaciones constitutivas de módulo resiliente de materiales tratados con asfalto espumado. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 87-94.
- Patillo, J. (1990). Diseño estructural de pavimeto flexible. *Revista ingeniería de construcción*.
- Petersen, J. (1984). Chemical Composition of Asphalt As Related To Asphalt Durability: State of the Art. *Transportation Research Record*, 13-30.

- Petersen, J. (1999). *Chemical Composition of Asphalt as Related to Asphalt Durability: State of the Art*. Transportation Research Record.
- Pierce, I., & Sivaneswaran, N. (2012). Using falling weight deflectometer data with mechanistic-empirical design and analysis. ASTM Special Technical Publication.
- Posada Henao, J. J. (2003). *HDM IV Guía básica para su uso*. Medellín: Universidad Nacional.
- Quiroga, L. P. (2019). Infraestructura vial en Colombia frente a los países miembros de la alianza del pacífico para el desarrollo del comercio internacional. *Universidad cooperativa de colombia*, 7-10.
- Ramsey, J., McDonald, F., & Petersen, J. (1967). *Structural Study of Asphalts by Nuclear Magnetic Resonance*. Industrial and Engineering Chemistry product Research and Development.
- Read, J., & Whiteoak, R. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*. Shell.
- Reyes, F., & Vargas, X. (2016). Asphalts ' aging phenomenon. 27-44.
- Rodríguez, D., Rodríguez, C., & Ramírez, S. (2016). Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100 modificado con lignina.
- Rodríguez, P. (n.d.). *Manual de usuario Merliner*. Lima: Camineros.
- Rondón Mogollón, J. M. (2021). *Envejecimiento de asfaltos y mezclas asfálticas: revisión teórica*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Rondón Mogollón, J. M. (2021). *Envejecimiento de asfaltos y mezclas asfálticas: revisión teórica*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Rondón Quintana, H. A., Rodríguez Rincón, E., Reyes Lizcano, F., & Real Triana, C. (2012). Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. *Infraestructura vial*, 10-20.
- Salamanca Arce, G. (2007). *Influencia de la contaminación salina en el envejecimiento prematuro de mezclas y tratamientos asfálticos*. Universidad de Chile.
- Saleh, F. (2015). *Simplified approach for structural capacity evaluation of flexible pavements at the network level*. International Journal of Pavement Engineering.

- Sandoval de León, L. (2000). *Consideraciones sobre la aplicación del Índice de fricción internacional (IFI) en las condiciones de seguridad en carreteras*. Nuevo León.
- Sayer, M., Gillespie, T., & Paterson, W. (1986). Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements. *technical paper, World Bank technical paper*, 46.
- Sayers, M. (1995). Consideraciones sobre la aplicación del Índice de fricción internacional (IFI) en las condiciones de seguridad en carreteras. *Transportation Research Record*.
- Schweywe, H., & Chipley, E. (1967). *Composition Studies on Asphalt Cement*. Washinton: Higway Researcha Record.
- Sequeira Rojas, W., & Cervantes Calvo, V. (2014). *Consistencia de los diseños de mezcla según la metodología Marshall*. Lanamme, Universidad de Costa Rica.
- Solorio Murillo, R., Domínguez, H., Roberto, & Gómez López, J. (2004). *Análisis de sensibilidad de los modelos de deterioro del HDM-4 para pavimentos asfálticos*. Sanfandilla: Secretaría de comunicaciones y transporte.
- Swiert, D. (2010). Madison: University of Wisconsin.
- Tavira Díaz, J. (2014). *Cálculo Mecánico de Pavimentos a partir de Ensayos No Destructivos*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- U.S Department of Transportation. (2021). *Long-Term Pavement Performance Information Managment System*. Georgetown.
- Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial. (2018). *Rejuvenecedor de asfalto: evaluación técnica en un tramo de prueba de pavimento flexible en la malla vial local de Bogotá* . Bogotá: UMV.
- Universidad de los Andes. (2005). *Segunda fase del estudio de las mejoras*. Bogotá.