EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL EN PAVIMENTOS ARTICULADOS, MEDIANTE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN LA CARRERA 76 ENTRE LAS CALLES 170 Y 175 DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ (PARTE B)

Byron Camilo Falla López
Ingeniero Civil, Aspirante a Especialista en Ingeniería de Pavimentos
Estudiante posgrados de la Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia

Adriana Cubides Flechas
Ingeniera Civil, Aspirante a Especialista en Ingeniería de Pavimentos
Estudiante posgrados de la Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia

Tutor del proyecto:
Cesar Augusto Palomino Saavedra
Ingeniero Civil

DEDICATORIA

A nuestra familia y amigos cercanos quienes nos apoyaron en todo momento y que gracias a su cooperación, hemos logrado culminar esta etapa de formación como ingenieros especialistas en pavimentos y como seres humanos íntegros y comprometidos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos a:

Al director de la especialización Carlos González, quien estuvo presente en el proceso de formación como especialistas.

A nuestro tutor Cesar Palomino, quien con su experiencia y conocimiento nos apoyó y guío en la estructuración del presente trabajo.

Al ingeniero José Luis Mercado, quien con su profesionalismo, experiencia, conocimiento, y como ser humano, nos aportó valiosas ideas que formaron en conjunto este proyecto.

Dynatest Colombia SAS y a su grupo de trabajo por la colaboración prestada durante la ejecución física del proyecto y por la facilidad y disponibilidad de los equipos.

RESUMEN

El siguiente trabajo es un estudio descriptivo, analítico y comparativo que tiene como objetivo evaluar la condición estructural y funcional del pavimento articulado en la carrera 76 entre calle 170 y calle 175 de la ciudad de Bogotá. El trabajo se desarrolló con información tomada en campo, realizándose de forma manual y automatizada con equipos de alto rendimiento, identificando y categorizando los deterioros con los dos procedimientos (manual y automatizado), logrando obtener el índice de condición del pavimento (PCI) utilizando la metodología ASTM E2840-11, por otro lado se realizó el análisis estructural logrando calcular el numero estructural efectivo, modulo resiliente de la subrasante y el módulo efectivo, siendo el primero comparado con el numero estructural requerido. Esta investigación fue posible realizarla gracias al trabajo conjunto con la ingeniera Adriana Cubides Flechas quien aportó al desarrollo de este documento empleando la metodología requerida para la evaluación funcional del pavimento articulado tanto por el procedimiento manual como automatizado, realizando la comparación para compilarlas finalmente en este documento que presenta la evaluación estructural. Sin el trabajo conjunto no hubiese sido posible realizar esta investigación y llegar a los resultados obtenidos que sugieren la implementación de equipos de alto rendimiento para llevar a cabo evaluación funcional, superficial y estructural de pavimentos ya que es una forma rápida, segura y de cierto modo económica para la recolección de datos en campo, también la veracidad de los datos es alta y el nivel de incertidumbre baja al momento de procesar y analizar la información. Las partes A y B de este trabajo se presentan en un solo documento que compila los resultados encontrados por los autores.

Palabras claves: Pavimentos articulados, condición estructural y funcional, deterioros, pruebas no destructivas.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción 1
2. Justificación 2
3. Objetivos 3
3.1 Objetivos generales 3
3.2 Objetivos específicos 3
4. Marco Conceptual 4
4.1 Pavimento 4
4.1.1. Clasificación de los pavimentos 4
4.2 Pavimento articulado 4
4.2.1 Capas del pavimento articulado 5
4.3 Condición estructural y funcional de los pavimentos 5
5. Estado del Arte 6
5.1 Descripción del método planteado para calcular el índice de la condición del pavimento articulado 6
6. Localización 8
7. Marco Teórico 9
7.1 Norma ASTM E 2840-11 9
7.1.1 Cálculo del PCI: 10
7.1.2 Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV) 10
7.2 Descripción equipos de evaluación funcional y estructural 11
7.2.1 Vehículo multifuncional 12
7.2.2 Perfilómetro 14
7.2.3 Georadar 16
7.2.4 Deflectómetro de impacto 17
7.3 Software Dynatest Explorer 19
7.4 Software Radan 7 20
8. Procedimiento 21
8.1 Auscultación manual, metodología ASTM E-2840 – 11 21
8.2 Auscultación automatizada mediante equipo multifuncional 21
8.3 Perfilómetro 23

8.4 Georadar 25
8.5 Deflectómetro de impacto 26
8.5.1 Normalización Deflexiones por Carga 26
8.5.2 Normalización Deflexiones por Temperatura 27
8.5.3 Módulo Resiliente de la Plataforma de Fundación 28
8.5.4 Módulo de la Estructura del Pavimento 29
8.5.5 Numero Estructural Efectivo 30
9. Resultados 32
9.1 Evaluación funcional 32
9.1.1 Inspección visual (manual) 32
9.1.2 Inspección automatizada 50
9.1.3 Perfil longitudinal 58
9.1.4 Índice de rugosidad internacional (IRI) 58
9.2 Evaluación estructural 61
9.2.1 Identificación de espesores 61
9.2.2 Deflectómetro de impacto 63
10. Análisis de resultados 66
11. Conclusiones 68
12. Recomendaciones 70
13. Referencias Bibliográficas 71
Anexo A – Clasificación de deterioros 72
Anexo B – Registro fotográfico, inspección visual 77
Anexo C – Formato y cálculo valor deducido (Manual) 87
Anexo D – Cálculo del valor deducido corregido (CDV-Manual) 97
Anexo E – Formato y cálculo valor deducido (Automatizado) 102
Anexo F – Cálculo del valor deducido Corregido (Automatizado) 111
Anexo G – Cálculo valor de PCI (Automatizado) 116
Anexo H – Imágenes Radargrama 125
Anexo I Registro fotográfico – Equipos: 127
ANEXO J – Resultados análisis deflectómetria 132
ANEXO k – Resultados parámetros estructurales AASHTO 133

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – Clasificación general de los deterioros del pavimento articulado 7
Tabla 2.Escala de valoración estandarizada PCI 11
Tabla 3. Rangos de aceptación de IRI 24
Tabla 4. Valores típicos de constantes dieléctricas para distintos materiales 25
Tabla 5. Factores de ajuste C, para el módulo resiliente 29
Tabla 6. Levantamiento deterioros Unidad 1 32
Tabla 7. Levantamiento deterioros Unidad 2 33
Tabla 8. Levantamiento deterioros Unidad 3 34
Tabla 9. Levantamiento deterioros Unidad 4 35
Tabla 10. Levantamiento deterioros Unidad 5 36
Tabla 11. Levantamiento deterioros Unidad 6 37
Tabla 12. Levantamiento deterioros Unidad 7 38
Tabla 13. Levantamiento deterioros Unidad 8 39
Tabla 14. Levantamiento deterioros Unidad 9 40
Tabla 15. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 1 41
Tabla 16. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 2 42
Tabla 17. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 3 43
Tabla 18. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 4 44
Tabla 19. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 5 45
Tabla 20. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 6 46
Tabla 21. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 7 47
Tabla 22. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 8 48
Tabla 23. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 9 49
Tabla 24. Deterioros automatizado unidad 1 50
Tabla 25. Deterioros automatizado unidad 2 51
Tabla 26. Deterioros automatizado unidad 3 51
Tabla 27. Deterioros automatizado unidad 4 52
Tabla 28. Deterioros automatizado unidad 5 52
Tabla 29. Deterioros automatizado unidad 6 53
Tabla 30. Deterioros automatizado unidad 7 53
Tabla 31. Deterioros automatizado unidad 8 54
Tabla 32. Deterioros automatizado unidad 9 54
Tabla 33. Resultados PCI por unidad de muestra - automatizado 56
Tabla 34. PCI manual Vs. PCI automatizado 57
Tabla 35. Resultados de IRI cada 10m 59
Tabla 36. Espesores y constante dieléctrica carril ascendente (Sur-Norte) 61
Tabla 37. Espesores y constante dieléctrica carril descendente (Norte - Sur) 62
Tabla 38. Comparación SN_{Req} Vs. SN_{eff} 64

LISTA DE FIGURAS

Tabla 1 – Clasificación general de los deterioros del pavimento articulado 7
Tabla 2.Escala de valoración estandarizada PCI 11
Tabla 3. Rangos de aceptación de IRI 24
Tabla 4. Valores típicos de constantes dieléctricas para distintos materiales 25
Tabla 5. Factores de ajuste C, para el módulo resiliente 29
Tabla 6. Levantamiento deterioros Unidad 1 32
Tabla 7. Levantamiento deterioros Unidad 2 33
Tabla 8. Levantamiento deterioros Unidad 3 34
Tabla 9. Levantamiento deterioros Unidad 4 35
Tabla 10. Levantamiento deterioros Unidad 5 36
Tabla 11. Levantamiento deterioros Unidad 6 37
Tabla 12. Levantamiento deterioros Unidad 7 38
Tabla 13. Levantamiento deterioros Unidad 8 39
Tabla 14. Levantamiento deterioros Unidad 9 40
Tabla 15. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 1 41
Tabla 16. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 2 42
Tabla 17. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 3 43
Tabla 18. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 4 44
Tabla 19. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 5 45
Tabla 20. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 6 46
Tabla 21. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 7 47
Tabla 22. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 8 48
Tabla 23. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 9 49
Tabla 24. Deterioros automatizado unidad 1 50
Tabla 25. Deterioros automatizado unidad 2 51
Tabla 26. Deterioros automatizado unidad 3 51
Tabla 27. Deterioros automatizado unidad 4 52
Tabla 28. Deterioros automatizado unidad 5 52
Tabla 29. Deterioros automatizado unidad 6 53
Tabla 30. Deterioros automatizado unidad 7 53
Tabla 31. Deterioros automatizado unidad 8 54
Tabla 32. Deterioros automatizado unidad 9 54
Tabla 33. Resultados PCI por unidad de muestra - automatizado 56
Tabla 34. PCI manual Vs. PCI automatizado 57
Tabla 35. Resultados de IRI cada 10m 59
Tabla 36. Espesores y constante dieléctrica carril ascendente (Sur-Norte) 61
Tabla 37. Espesores y constante dieléctrica carril descendente (Norte - Sur) 62
Tabla 38. Comparación SN_{Req} Vs. SN_{eff} 64

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Perfil longitudinal 58
Gráfico 2. IRI promedio por carril cada 10m 60
Gráfico 3. Espesores estructura de pavimento articulado carril ascendente (Sur-Norte)..... 61
Grafico 4. Espesores estructura de pavimento articulado carril descendente (Norte - Sur) 62
Grafico 5. Deflexiones obtenidas para los nueve geófonos..... 63

1. Introducción

Las ciudades modernas, cada vez más complejas y en permanente expansión y crecimiento, enfrentan continuamente el reto de proveer a su ciudadanía de servicios públicos básicos de manera eficiente y adecuada. La creciente concentración poblacional y las considerables extensiones territoriales de las urbes actuales exigen la provisión de redes adecuadas de infraestructura vial que potencien la movilidad de sus habitantes y generen dinamismo en su economía. Al mismo tiempo, la base de la productividad de un país se mueve gracias a la infraestructura vial, la cual genera grandes beneficios económicos y sociales, pero para lograr un mayor impacto, se necesita que todos los factores que estén ligados a la infraestructura vial, estén trabajando en las mejores condiciones. Una herramienta de suma utilidad para responder a esas demandas de infraestructura son los pavimentos articulados, éstos son estructuras viales de bajo costo y garantizan, para el usuario, una superficie suave, segura, y cómoda.

Además de esas características, los pavimentos articulados son estructuras de alta versatilidad, que tienen una gran brecha de usos tales como parqueaderos, vías (primarias, secundarias y terciarias), plazas, e incluso aeropuertos. Sin embargo, a pesar de su importancia, ha sido poca la producción de información acerca del análisis para el mejoramiento y mantenimiento de los pavimentos articulados, por lo que este trabajo se propone como objetivo principal aplicar una metodología de evaluación del índice de la condición del pavimento articulado en la carrera 76 entre las calles 170 y 175 en la ciudad de Bogotá.

Dicha evaluación, analizará la condición estructural y funcional del pavimento articulado mediante el uso de la norma internacional E2840 - 11 (2015) y adicional, con el uso de equipos automatizados de última tecnología, se realizará un ejercicio de aplicación en campo con el fin de corroborar el estado de la estructura vial. Adicional, es importante resaltar que dichos equipos generan gran ventaja debido que reduce el tiempo y los riesgos de ejecución de una evaluación de detalle.

2. Justificación

La insuficiente información sobre la evaluación de la condición estructural y funcional del estado de un pavimento articulado nos invita a implementar diferentes especificaciones y metodologías con el fin de generar información y así, junto con otras investigaciones, se pueda construir un manual para la inspección del estado de este tipo de pavimentos, y de este modo garantizar el periodo de vida de un proyecto y el desempeño de la vía.

Actualmente, las entidades a nivel nacional han dejado a un lado los pavimentos articulados en términos del seguimiento, monitoreo o control de los diferentes daños o deterioros tanto a nivel de rodadura como estructural, por ejemplo, el Instituto Nacional de Vías – INVIAS ha generado diferentes manuales de inspección tanto para pavimento flexibles como para pavimentos rígidos, excluyendo la importancia de los pavimentos articulados como una fuente de desarrollo de una entidad territorial.

Las etapas de un periodo de vida de una infraestructura vial, va desde el diseño, la construcción, y el mantenimiento y operación, en donde esta última fase corresponde casi el 70%, dicho esto la propuesta de esta investigación radica en profundizar el catálogo de daños, calcular el índice de la condición del pavimento e implementar una serie de evaluaciones no destructivas con equipos de alto rendimiento.

3. Objetivos

3.1 Objetivos generales

Evaluar la condición estructural y funcional del pavimento articulado en la carrera 76 entre la calle 170 y 175 de la ciudad de Bogotá.

3.2 Objetivos específicos

I. Identificar, calificar y categorizar los diferentes deterioros mediante la inspección visual y automatizada bajo la norma ASTM E2840-11, y comparar los resultados.

II. Calcular el Índice de la condición del pavimento - PCI respecto a la evaluación visual y automatizado. y comparar los resultados.

III. Analizar las ventajas y desventajas del uso de los equipos de alto rendimiento para la evaluación funcional.

IV. Analizar los resultados de la condición estructural para la sección evaluada.

4. Marco Conceptual

4.1 Pavimento

El pavimento es una estructura vial conformada por varias capas de materiales seleccionados, el cual le genera al usuario, una superficie suave, segura, y cómoda.

Su principal función es resistir las cargas generadas por el tránsito y las acciones provocadas por el medio ambiente, dicha estructura vial le transmite al suelo de fundación los esfuerzos y deformaciones.

4.1.1. Clasificación de los pavimentos

Flexible

- Formada por una capa bituminosa.

Rígido

- Formada por una losa de concreto de gran rígidez.

Semi-rígido o mixto

- Se combinan el pavimento flexible con el pavimento rígido.

Articulado

- Formado por elementos prefabricados.

4.2 Pavimento articulado

Los pavimentos articulados son aquellos que están compuestos por una capa superior constituida por varios elementos prefabricados (bloques/adoquín) hechos con base en concreto o arcilla (usualmente), el uso de cualquiera de los dos elementos en un pavimento depende de las características que presente la zona, trafico a circular, clima, entre otros. Estos elementos son elaborados de forma mecánica obteniendo un producto de fácil manejabilidad, buena homogeneidad, de optima resistencia a la compresión.

El adoquín debe ir instalado sobre una cama de arena uniforme la cual servirá como asiento y contribuirá a la conducción y evacuación del agua. Seguido a esto se

presentan las diferentes capas granulares que ya hacen parte de la estructura del equipo.

4.2.1 Capas del pavimento articulado

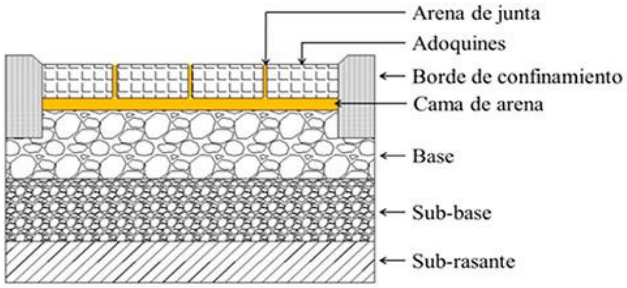


Figura 1. Descripción grafica estructura de pavimento articulado

Fuente: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2013000300002

4.3 Condición estructural y funcional de los pavimentos

Actualmente existen diferentes metodologías para evaluar la condición estructural y funcional de un pavimento por medio de la identificación de daños o deterioros. A continuación, se describen las dos condiciones a presentarse:

- **Condición estructural**

  La evaluación estructural identifica la capacidad del pavimento para soportar las solicitaciones generadas por el tránsito, se miden deflexiones y se determinan ciertas características como espesores, tipos de materiales que componen la estructura, entre otras.

- **Condición funcional**

  La evaluación funcional identifica la calidad de la superficie, la cual está directamente relacionada con el confort, la economía y la seguridad de los usuarios.

Finalmente, la evaluación permite corroborar los criterios de diseño e identificar las razones por las cuales el pavimento fallo y determinar las tareas de mantenimiento que se requieran.

5. Estado del Arte

Como bien se mencionó en la justificación, actualmente no existen manuales de inspección en Colombia para pavimentos articulados, lo más cercano es un trabajo de grado que planteo el tema de patología en pavimentos articulados el cual fue realizado por Carlos Hernando Higuera Sandoval y Oscar Fabián Pacheco Merchán de la Universidad de Medellín. Adicional a esto, se identificó el uso de dicha metodología en un trabajo de grado de la Universidad Militar Nueva Granada el cual se realizó en el Municipio de la Calera. Finalmente, la norma ASTM E2840 – 11 (2015) traza una metodología para calcular el PCI para este tipo de pavimentos. Este último método se usó en el presente estudio, debido que es una norma estandarizada y desarrollada de acuerdo a los principios internacionales en materia de normalización.

A continuación, se dará a conocer un resumen de la metodología y la clasificación de los deterioros presentados en el trabajo de la Revista Ingenierías Universidad de Medellín:

5.1 Descripción del método planteado para calcular el índice de la condición del pavimento articulado

La metodología presentada en el volumen 9 – Número 17 de la revista denominada Ingenierías Universidad de Medellín, pp75-94, presenta una metodología para evaluar y cuantificar el estado de la vía del pavimento articulado y sus posibles soluciones. Allí se propone en primera medida clasificar los deterioros, seguido de esto se determinan unos factores y variables para luego calcular el Índice de Condición Funcional - ICF y el Índice de Condición Estructural – ICE. Finalmente se calcula el Índice de Condición del Pavimento – ICP, lo que permite clasificar el nivel de servicio y las medidas de acción.

Tabla 1 – Clasificación general de los deterioros del pavimento articulado

CLASE	TIPO DE DETERIORO	SÍMBOLO	UNIDAD
Deformaciones	Abultamiento	BA	m2
	Ahuellamiento	AH	
	Depresiones	DA	
Desprendimientos	Desgaste superficial	DS	
	Pérdida de arena	PA	
Desplazamientos	Desplazamientos de borde	DB	
	Desplazamientos de juntas	DJ	
Fracturamientos	Fracturamiento	FA	
	Fracturamiento de confinamiento externos	CE	
	Fracturamiento de confinamiento internos	CI	
Otros deterioros	Escalonamiento entre adoquines	EA	
	Escalonamiento entre adoquines y confinamiento	EC	
	Juntas abiertas	JA	
	Vegetación en la calzada	VC	

Fuente: Higuera, C.H. y Pacheco, O.F. (2010). Patología de pavimentos articulados. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Volumen (9), p. 78.

6. Localización

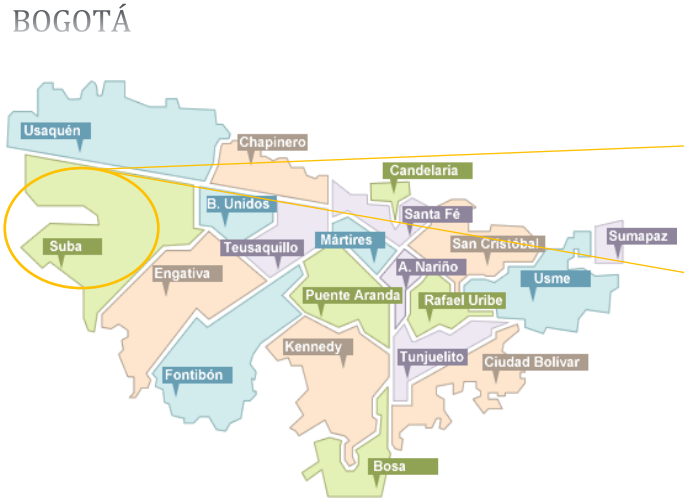


Figura 3. División por localidades de Bogotá

Fuente: http://ahpino.blogspot.com.co/2013/03/una-reparticion-problematica_8562.html

CARACTERISTICAS DE LA SECCION	
Ubicación	Carrera 76, entre las calles 170 y 175
Dimensiones	Longitud de 500 m – Ancho de 5,65 m
Tipo de pavimento	Articulado Urbano
Trafico	T0 (IDU) – NT1 (INVIAS)

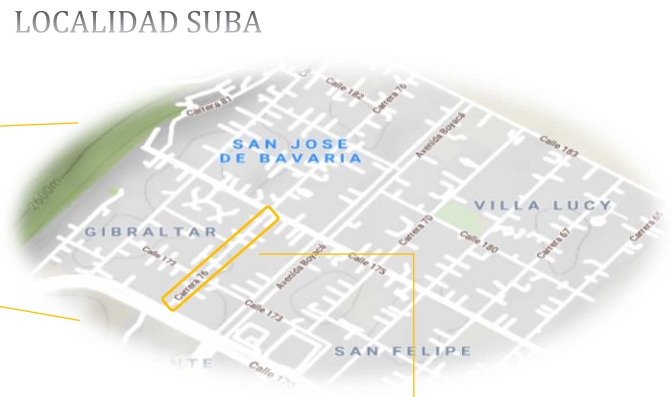


Figura 2. Ubicación Localidad Suba - barrio San José de Bavaria
Fuente: Google Earth

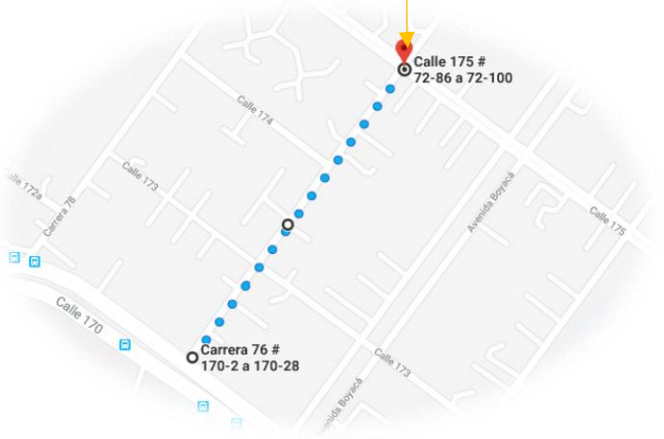


Figura 4. Ubicación del tramo evaluado – Cra 76 entre Cll 170 y Cll 175
Fuente: Google Maps

7. Marco Teórico

7.1 Norma ASTM E 2840-11

La norma internacional E2840 – 11 (2015) se utiliza para evaluar el estado del pavimento utilizando el método PCI. La práctica consiste en:

- La sección del pavimento a evaluar se debe dividir en unidades de muestra los cuales deben tener un área de 2.500 pies^2 ±1000 pies^2 (225m^2 ± 90m^2).
- Para tener una estimación estadísticamente adecuada (95%), es importante calcular el número mínimo de unidades de muestra (n) a ser evaluadas empleando la ec.1. El valor obtenido debe aproximarse al número entero mayor:

$$n = \frac{Ns^2}{((e^2/4)(N-1)+s^2)} \ (ec.1)$$

e: Error admisible en el cálculo del PCI de la sección, generalmente ±5 puntos del PCI.

N: Número total de las muestras de la sección.

s: Desviación estándar del PCI de una unidad de muestra a otra de la misma sección.

Para comprobar el 95% de confiabilidad, es necesario verificar el número de unidades inspeccionadas usando la ec. 2:

$$s = (\sum_{i=1}^{n} (PCI_i - PCI_S)^2 / (N-1))^{1/2} \ (ec.2)$$

PCI_i: Valor del PCI de las unidades de muestra inspeccionadas i.

PCI_S: Valor del PCI de la sección.

n: Número total de unidades de muestra inspeccionadas.

Al calcular la desviación estándar mediante la ec.2, se debe calcular el número mínimo de unidades de muestra “n” (ec.1). Si el número de unidades de muestra a ser inspeccionadas es mayor que el número de muestras ya inspeccionadas se debe realizar la evaluación de unidades de muestra adicionales. Repetir dicho proceso de chequeo hasta que n sea igual o mayor al número de unidades inspeccionadas.

Luego se realiza el procedimiento de inspección visual, mediante el uso de diferentes herramientas para clasificar y medir los deterioros y su nivel de severidad, ver Anexo A – Clasificación de deterioros y ver Anexo B – Registro fotográfico, inspección visual.

7.1.1 Cálculo del PCI:

Calcular el valor deducido (DV), primero se debe sumar cada tipo de falla para cada nivel de severidad y se registra el valor en la columna denominada “Total” del formato que se encuentra en la pág. 3 de la norma, ver Anexo C – Formato cálculo valor deducido. Luego, el total se divide por el área de la unidad y se multiplica por 100 para obtener el porcentaje. Finalmente, el DV se calcula mediante el uso de curvas, las cuales están clasificadas por tipo de falla y nivel de severidad, ver Anexo D – Cálculo valor deducido (DV).

7.1.2 Cálculo del máximo valor deducido corregido (CDV)

Primero se debe hallar “m”, el cual hace referencia al número de deducciones permisibles:

$$m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - HDV) \leq 10 \qquad (ec.3)$$

m: Número máximo admisible de valores deducibles.

HDV: Valor mayor deducido por cada unidad de muestra.

- Se deben organizar los valores deducidos de forma descendente.
- El número de valores deducidos, se reducen al número de valores admisibles “m”. Si contamos con un número de valores deducibles menores a m, se deben usar todos los valores deducidos.
- Determinar el valor total deducido (CDT) máximo sumando los valores deducidos individuales.
- Determinar q, como el número de valores deducidos mayores a 2.
- Se reduce el valor deducido más pequeño a 2 y repetir hasta q=1.
- Mediante las curvas de corrección, se calcula el valor CDV a partir del valor deducido total (CDT) y del valor “q”. Ver Anexo E – Cálculo del valor deducido corregido (CDV).
- Para calcular el PCI de la unidad, a cien (100) se le resta el valor máximo de todos los CDVs.

- Finalmente, para calcular el PCI de la sección se realiza un promedio de todos los PCIs de las unidades y se realiza el mismo procedimiento mencionado en el numeral 3.3, después de calculado el PCI, el estado del pavimento se clasifica según la escala de valoración estandarizada PCI.
- Si hay unidades de muestra adicionales, el PCI de la sección se calcula de la siguiente manera:

$$PCI_S = \frac{(N-A)(PCI_R)}{N} + \frac{A(PCI_A)}{N} \qquad (ec.4)$$

PCI_S: PCI ponderado de la sección.

N: Número total de unidades de la sección.

A: Número de unidades de muestra adicionales.

PCI_R: PCI de unidades de muestra seleccionadas al azar.

PCI_A: PCI de las unidades de muestra seleccionadas adicionales.

Tabla 2.Escala de valoración estandarizada PCI

Escala de valoración estandarizada PCI	
(86 - 100)	EXCELENTE
(71 - 85)	MUY BUENO
(56 - 70)	BUENO
(41 - 55)	REGULAR
(26 - 40)	MALO
(11 - 25)	MUY MALO
(0 - 10)	FALLADO

Fuente: ASTM E2840-11

7.2 Descripción equipos de evaluación funcional y estructural

La utilización de equipos automatizados genera grandes ventajas, como facilitar la medición, reducir tiempos de ejecución, el procesamiento de información es más rápido, entre otras, dicho lo anterior, la segunda fase de este proyecto comprende la evaluación estructural y funcional mediante pruebas no destructivas. A continuación, se dará a conocer la información general sobre cada uno de los equipos:

7.2.1 Vehículo multifuncional

Tipo de evaluación: Funcional

Descripción general: El MFV (Multi-Funcional Vehicle), es un equipo fabricado por la empresa danesa Dynatest, el cual es implementado para la realización de inspección automatizada de deterioros en todo tipo de pavimentos (concreto asfaltico, concreto hidráulico) tanto para vías como para aeropistas.

El Vehículo registra datos de georreferenciación, regularidad superficial, ahuellamiento e identifica y clasifica los deterioros mediante registro de imágenes de alta resolución de la superficie del pavimento y datos geométricos de secciones de la vía en 2D y 3D.

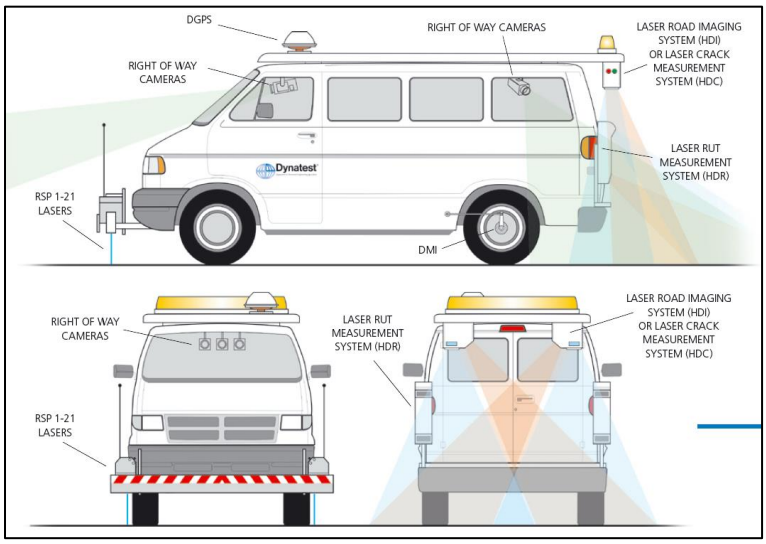


Figura 5. Configuración y dotación del Vehículo Multifuncional

Fuente: Brochure Multi-Functional Vehicle, Dynatest

Para la identificación y clasificación de deterioros, el MFV está equipado con un sistema LCMS (Laser Crack Measurement System), los cuales son suministrados por la empresa Pavemetrics de Canadá y están encargados de la detección e identificación de deterioros mediante proyectores de línea láser.

Este equipo cuenta con un sistema de dos cámaras con óptica avanzada de alta velocidad que permiten adquirir imágenes en 2D y perfiles en 3D, permitiendo realizar

toma de datos en cualquier condición de iluminación, a velocidad de operación de las vías (20km/h a 100km/h), cubriendo un ancho de 4 metros por carril, adicional, detecta tanto el ancho, como la profundidad de las fisuras, realizando una caracterización preliminar de dichas fisuras como:

- Fisuras longitudinales
- Fisuras transversales
- Fisuramiento en bloque
- Piel de cocodrilo
- Desgaste superficial o desprendimiento de agregados

En la siguiente Figura 6 se muestra gráficamente las imágenes captadas por el equipo MFV a diferentes intensidades:

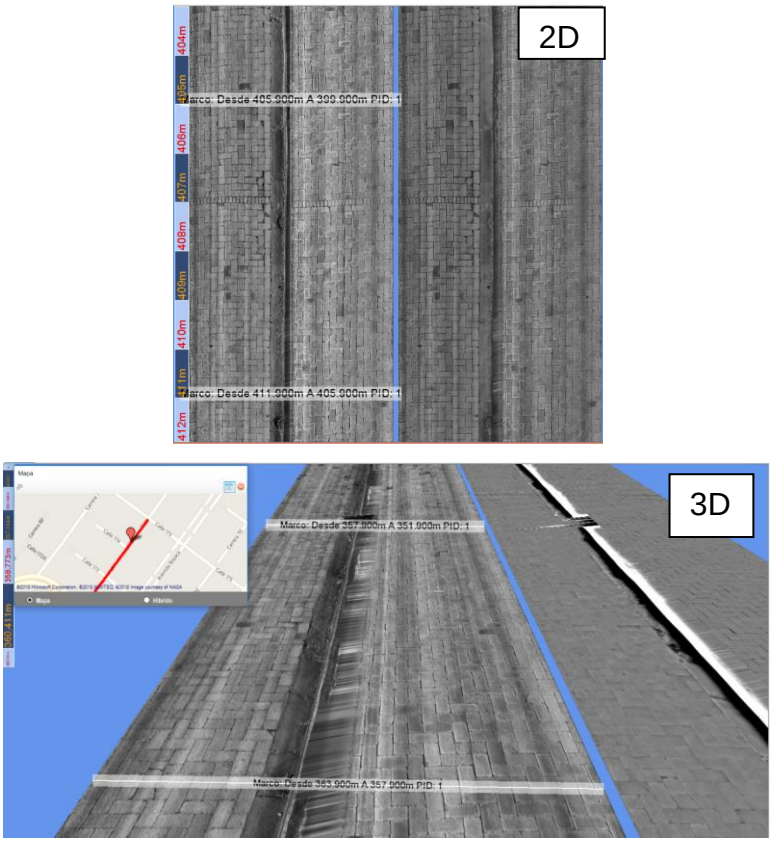


Figura 6. Imágenes pavimento articulado por medio de MFV
Fuente: Elaboración propia, software Dynatest Explorer

Adicional al sistema LCMS con que cuenta el equipo, viene equipado con un perfilómetro laser RSP (Road Surface Profilometer) marca Dynatest, utilizado para medir en tiempo real las elevaciones del perfil longitudinal y transversal de la superficie de pavimento, permitiendo determinar el Índice de Rugosidad Internacional (IRI) y la macrotextura.

Ventajas:

- Alta precisión en el desarrollo de las mediciones, cumpliendo con estándares internacionales.
- Mediciones tomadas a velocidad de operación del corredor vial.
- Los índices son calculados en tiempo real.
- Característica única de “Stop & Go” permite que el IRI y los laser LCMS se mida en áreas urbanas con múltiples paradas generadas por el tráfico o semaforización.
- Salidas de resultados opcionales de recapados bituminosos, índice de medio carro (half-car index), y perfilógrafo de California.
- Fácil calibración.
- Red de soporte mundial Dynatest.
- Diseñado para especialistas en pavimentos.

7.2.2 Perfilómetro

Tipo de evaluación: Funcional

Descripción general: El perfilómetro RSP (Road Surface Profilometer) Mark III de la empresa Dynatest, permite efectuar mediciones del perfil longitudinal de vías y aeropistas, basándose en el método de “South Dakota”, utilizando un acelerómetro para obtener el movimiento vertical del cuerpo del vehículo, y un sensor láser que se utiliza para medir el desplazamiento entre la carrocería del vehículo y el pavimento. El perfil de la superficie del pavimento se obtiene sumando el movimiento vertical del vehículo con la distancia al pavimento. Este equipo permite determinar el valor del IRI (Índice de Rugosidad Superficial) calculándolo de acuerdo con las especificaciones del Banco

Mundial. El perfil longitudinal medido cumple la precisión y sesgo especificados para Clase 1 de acuerdo con la norma ASTM E-950 y también satisface lo establecido en el método TxDOT TEX -10001-S. permitiendo determina el valor IRI, ahuellamiento y textura. También permite el registro de datos de dispositivos GPS y las mediciones se obtienen de manera continua.

Figura 7. Equipo RSP (Road Surface Profilometer)

Fuente: Elaboración propia

Ventajas:

- La función "Stop & Go" permite tomar mediciones IRI cual velocidad de operación de las vías, lo que permite realizar pruebas en cruces, semáforos, rotondas y pruebas de secciones cortas donde es difícil ganar la velocidad suficiente, o cuando no es posible hacer una pre-sección
- Los acelerómetros 5G tipo estándar, proporcionan la mayor precisión en la medición del movimiento del vehículo.
- Visualización gráfica en tiempo real de IRI, RN, elevaciones de láser, perfil de inercia, macrotextura y foto-registro.
- Fácil paso a paso en el software de adquisición de datos, ayuda y procedimientos de calibración mostrados que permiten calibraciones en campo.

- Software de análisis incorporado que informa IRI, PI, RN y registro de singularidades que se presenten en campo para exclusión al momento del análisis de la información.

7.2.3 Georadar

Tipo de evaluación: Estructural

Descripción general: El Geo-radar de Penetración (GPR) GSSI Roadscan, fabricado por GSSI, Geophysical Survey Systems Inc, cuenta con una antena que emite frecuencias de 1GHz, la cual incorpora un emisor y receptor de onda que permite realizar un registro de información cada 20 cm a una velocidad promedio de 40 km/h.

El uso de esta antena permite el análisis a una profundidad de aproximadamente de un metro con una mayor resolución basado en su nivel de frecuencia. La antena de 1 GHz propone la existencia de cambios en constante dieléctrica de forma clara entre los 20 cm y 75 cm – 1m.

Este equipo permite obtener información del interior de medios de forma indirecta y no destructiva mediante ondas electromagnéticas. La técnica usada para realizar este análisis tiene como base la teoría del campo electromagnético de Maxwell, el cual mantiene una relación de las propiedades cuantitativas de los materiales.

Figura 8. GPR (Ground Penetrating Radar)

Fuente: www.geophysical.com

El GPR utiliza las características de la onda del campo electromagnético, la cual depende de la magnitud relativa de la energía perdida (asociado a la conductividad) respecto a la energía almacenada (relacionada con la constante dieléctrica y permeabilidad). El campo electromagnético puede presentarse como una onda que muestra el cambio en las propiedades físicas del material, lo que permite identificar la presencia de las diferentes capas de material o presencia de diferentes elementos (p.e. tuberías, alcantarillas, vacíos, entre otros).

Ventajas:

Determinar los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento por medio de pruebas no destructivas mediante ondas electromagnéticas.

7.2.4 Deflectómetro de impacto

Tipo de evaluación: Estructural

Descripción general: El deflectómetro de impacto HWD 8082 (Heavy Weight Deflectometer) marca Dynatest, es un equipo capaz de aplicar cargas tipo impulso que simulan el paso de una rueda sobre el pavimento. Este equipo contiene una configuración de masas que se dejan caer y que, combinada con la altura de caída, permiten aplicar cargas máximas entre 30 y 240 kilo-Newton (kN), con un sistema de buffers o cojines que mantienen la duración del pulso de carga entre 20 y 30 milisegundos.

Figura 9. Deflectómetro de impacto
Fuente: Elaboración propia

La operación del HWD se controla desde un computador ubicado en la cabina del vehículo, donde se hace bajar el plato de carga junto con una barra con sensores hasta la superficie del pavimento, y automáticamente se levantan y dejan caer las cargas de ensayo mediante un sistema electro-hidráulico.

El equipo cuenta con 9 sensores que capturan los valores de deflexión y están ubicados en una regleta de geófonos localizados a distancias crecientes desde el centro de plato de carga, con el primero de ellos en el centro del plato y el más alejado a 1.8 m, esta serie de sensores permite obtener un cuenco de deflexiones. La precisión de los sensores es del 2% +/- 2 micrones. El equipo incluye un sistema medidor de distancia para referencia por kilometraje, así como también un sistema de georreferenciación. La evaluación puede ser realizada sobre pavimentos asfálticos e hidráulicos y articulados, empleando diferentes niveles carga.

La Figura 10 muestra la configuración de los geófonos utilizados a distancias de 0 milímetros (mm), 200mm, 300mm, 450mm, 600mm, 900 mm, 1.200mm, 1500mm y 1.800mm del centro del plato de carga.

Figura 10. Ubicación sensores equipo HWD 8082
Fuente: www.dynatest.com

Ventajas:

- Medir la deformación del pavimento mediante pruebas no destructivas.
- Precisión en el registro de datos.
- Mediciones georreferenciadas, registro de temperatura aire y superficie de forma automática.
- Datos de campo compatibles con cualquier software de análisis.

7.3 Software Dynatest Explorer

Dynatest Explorer es un software visualizador de resultados de todos los tipos de mediciones con equipos Dynatest, los equipos Dynatest recolectan la información de campo ya sea de tipo funcional o estructural, la cual es importada al software y puede ser visualizada de forma gráfica o tabulada los diferentes datos, tales como ahuellamiento, perfil longitudinal, rugosidad (IRI), así como imágenes frontales de alta definición, velocidad de conducción, deformaciones obtenidas, Además de esto, dada la georreferenciación de cada uno de los datos durante la medición se puede visualizar la ubicación real del deterioro a lo largo del camino basado en las coordenadas del GPS, mediante un aplicativo con que cuenta el software “Distress Rating Module” permite el post-proceso para la evaluación de deterioros.

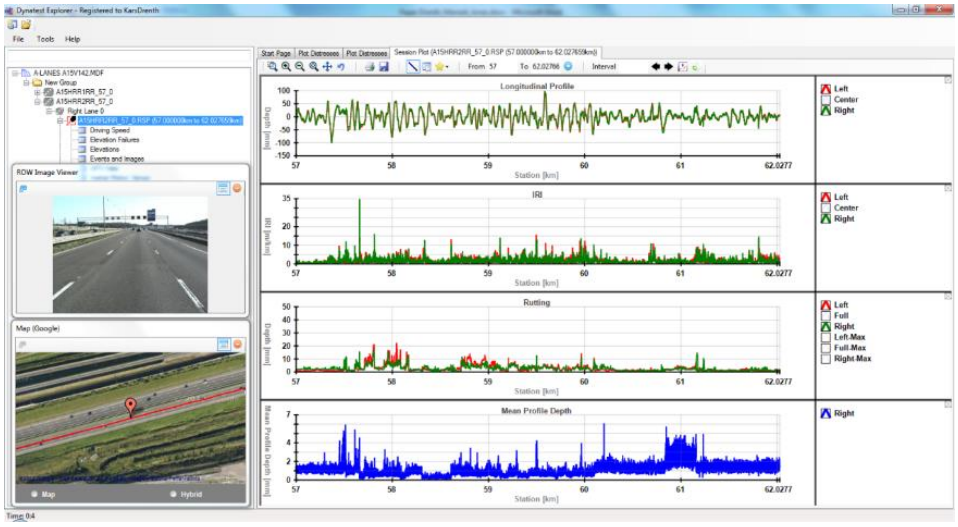


Figura 11. Interfaz Dynatest Explorer

Fuente: Elaboración propia

7.4 Software Radan 7

Radan 7 es un software desarrollado por la empresa GSSI, que permite el procesamiento radargramas con el fin de determinar espesores de una estructura de pavimento, adicional esto es posible identificar cuerpos de agua, tuberías en PVC, Box culvert, y dependiendo de la frecuencia que emita la antena, es posible identificar objetos o hallazgos arqueológicos. Este software cuenta con distintas herramientas que pueden ser aplicadas durante el procesamiento con el fin de obtener unos resultamos más precisos como, por ejemplo:

- Tabla de colores con el fin de mejorar la visualización de datos
- Procesamiento de múltiples archivos
- Modifica o restaura ganancias de datos, con el fin de mejorar su resolución
- Proporciona escalonamiento horizontal y normalización de la distancia

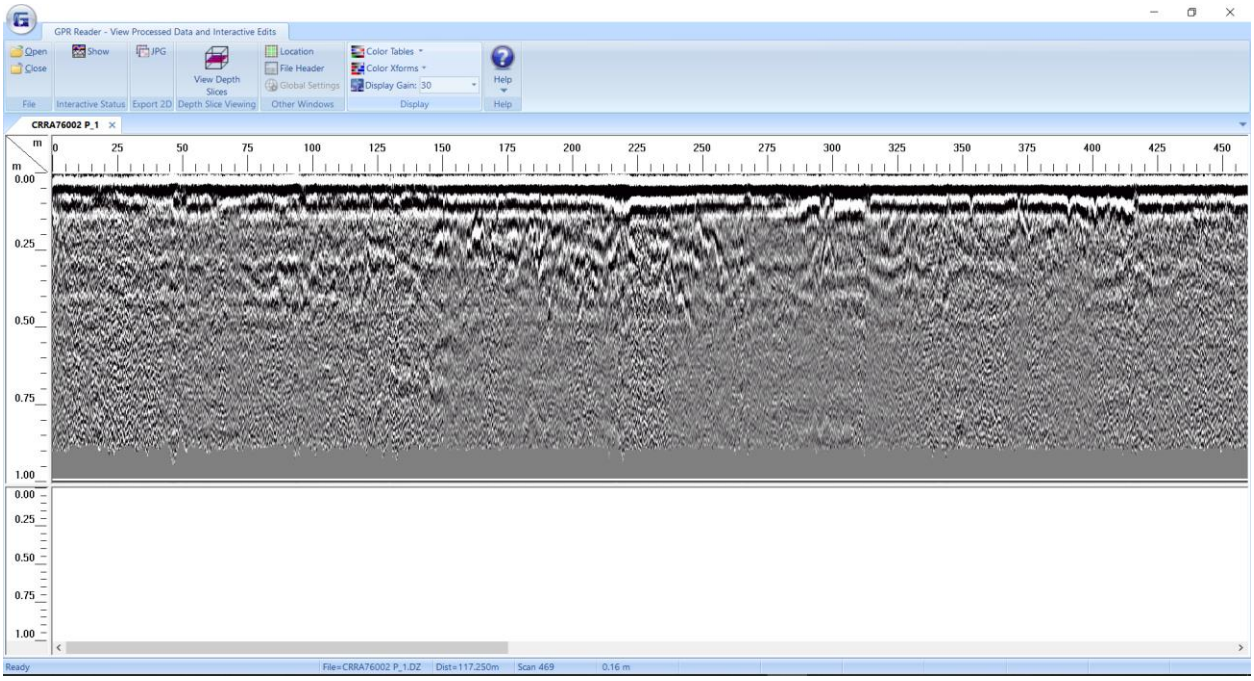


Figura 12. Interfaz Radan 7

Fuente: Software GSSI

8. Procedimiento

8.1 Auscultación manual, metodología ASTM E-2840 – 11

a) Para la identificación, calificación y categorización de los diferentes deterioros mediante la inspección visual, se realizó primero la división de la sección total en unidades de muestra con relación en las especificaciones de la norma ASTM:
   - Área de la sección: 500m (longitud) * 5.65m (ancho del carril): 2.825m^2
   - La norma indica que el área debe ser de 2.500 pies^2 ±1000 pies^2 (225m^2 ± 90m^2)
   - Número de unidades = $\frac{2825}{(225+90)} = \frac{2825m2}{315m2} = 8.9 \approx 9$

   Después de calculado el número de unidades, se procedió a realizar el levantamiento según la categorización de los deterioros y su nivel de severidad. En el capítulo de resultados se podrá evidenciar la codificación de los deterioros y la respectiva evaluación para cada una de las 9 unidades.
b) Para el cálculo de PCI del pavimento se siguió el paso a paso descrito en el marco conceptual.
c) Identificar, calificar y categorizar los diferentes deterioros mediante pruebas no destructivas con el uso de equipos de alto rendimiento.

8.2 Auscultación automatizada mediante equipo multifuncional

Para adelantar la evaluación de deterioros con el vehículo multifuncional (MFV) de Dynatest, la medición en campo se realizó de la siguiente manera:

- Identificación del tramo a evaluar
- Ubicación del equipo MFV sobre el carril ascendente (inicialmente) y el carril descendente
- Configuración del equipo para toma de datos
- Desplazamiento del equipo desde el punto de inicio hasta el punto final a una velocidad promedio de 20km/h, sobre cada uno de los carriles.

Una vez evaluado el tramo con el equipo obteniéndose los respectivos archivos con la información, se continua con un procesamiento en oficina, el cual consta en unir las imágenes registradas por cada uno de los laser, formando archivos en formato .JPG, con registro de información de secciones de 4 metros de ancho por 5 metros de largo, obteniendo 497 registros de información. El software utilizado para la unión de las imágenes es el LCMS RoadInspect® de la casa matriz PAVEMETRICS SYSTEMS INC.

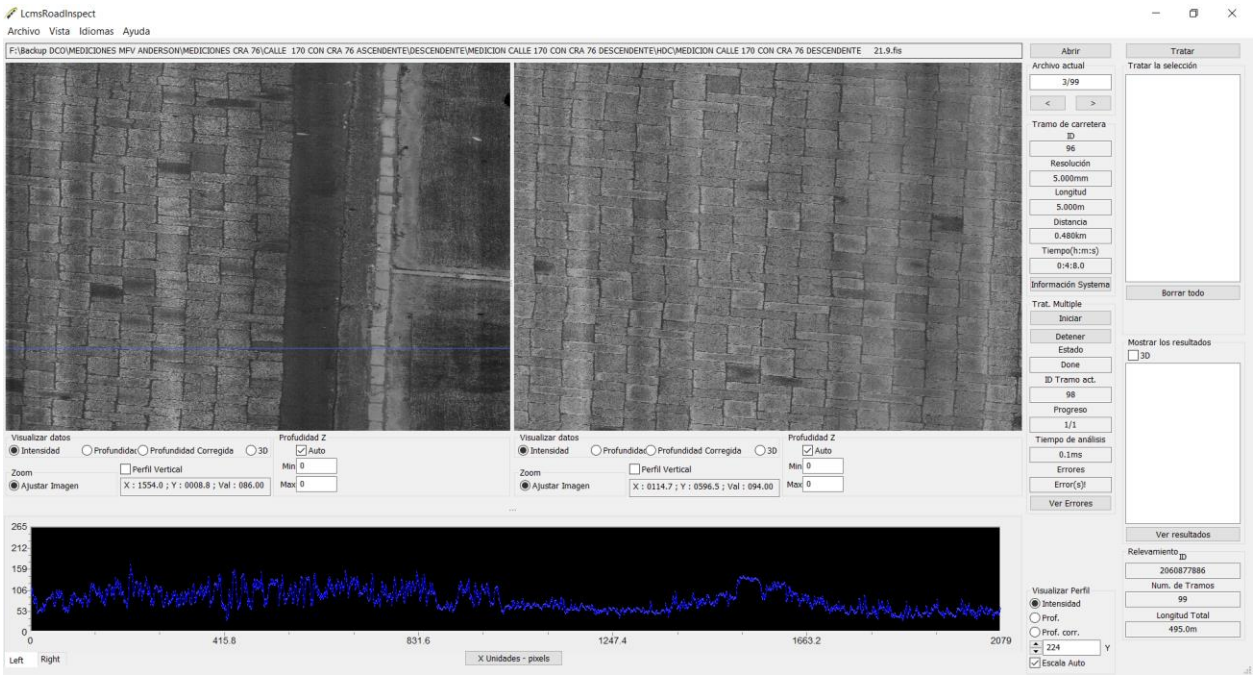


Figura 13. Procesamiento información de campo – software LCMS RoadInspect

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidas las imágenes de cada uno de los carriles, se procede a evaluar los deterioros de forma automatizada, por medio del software Dynatest Explorer® de la casa matriz DYNATEST INC. Mediante el cual, se evalúan los deterioros de acuerdo con la norma.

Terminada la evaluación por medio del software, se procede a exportar los deterioros identificados y estos son relacionados a los formatos de la norma ASTM E2840-11 para proceder a realizar el cálculo del PCI para cada unidad de muestra.

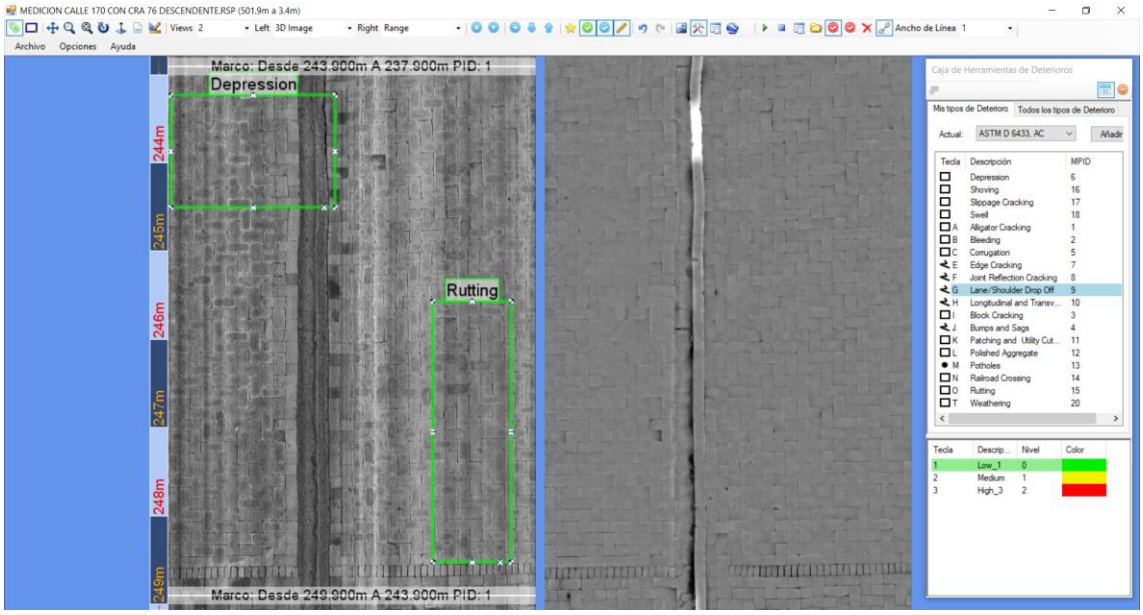


Figura 14. Evaluación de deterioros, Dynatest Explorer

Fuente: Elaboración propia

8.3 Perfilómetro

El equipo RSP (Road Surface Perfilometer) Mark III, fue usado con el fin de obtener el perfil longitudinal y el índice de rugosidad internacional (IRI) del tramo en estudio; el perfil longitudinal se basa en el método de “South Dakota”, la cual consta de un acelerómetro que es utilizado para obtener el movimiento vertical del cuerpo del vehículo, y un sensor láser que se usa para medir el desplazamiento entre la carrocería del vehículo y el pavimento.

El perfil longitudinal medido cumple con la precisión y sesgo especificados para Clase 1 de acuerdo con la norma ASTM E-950, tabla 1 y tabla 2.

El índice de rugosidad internacional (IRI) se define como la irregularidad geométrica que presenta la vía en su sección longitudinal, con el fin de evaluar el confort que presenta el usuario; o en otras palabras es la relación entre el movimiento acumulado entre las masas amortiguadas y no amortiguada del modelo matemático “cuarto del carro”, el cual circula a una velocidad de 80km/h sobre una distancia conocida. Este índice se determina en unidades de m/km y la escala de calificación se muestra en la

Figura 15 y rangos de aceptación del IRI de acuerdo al instituto de desarrollo urbano (IDU) en la Tabla 3.

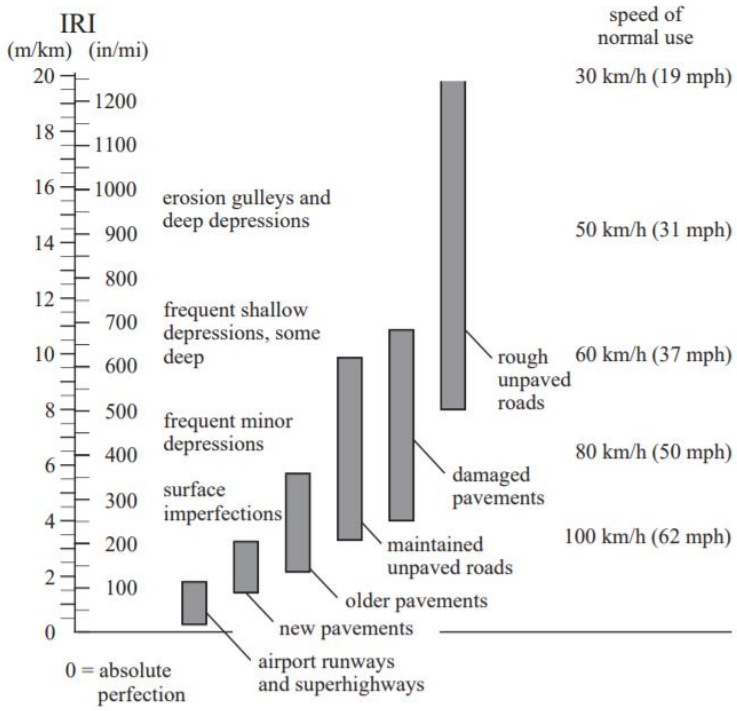


Figura 15. Rangos de IRI representativos para los diferentes tipos de camino

Fuente: Recuperado de "The Little Book of Proling201D – Michael W. Sayers, Steven M.Karamihas

IRI (m/km)	Condición
1 - 2.5	Muy Buena
2.5 - 3.5	Buena
3.5 - 5.5	Regular
> 5.5	Mala

Tabla 3. Rangos de aceptación de IRI

Fuente: Recuperado de: Requerimientos técnicos (anexo técnico separable) – "Levantamiento, procesamiento y análisis de información sobre la condición superficial, funcional y estructural de los pavimentos que conforman la malla vial rural de la ciudad de Bogota D.C., y el invetario de los elementos complementarios que conforman la sección transversal de estas vías", Instituto de desarrollo urbano (IDU)

8.4 Georadar

Realizadas las mediciones en campo con el equipo de georadar el cual cuenta con una antena de 1GHz, se procedió a procesar la información por medio del software Radan 7, el cual analiza los radargramas obtenidos. Para el presente proyecto no fue posible la realización de sondeos (apiques) para la estimación de espesores y de esta forma poder adelantar una calibración y garantizar una homogeneidad en la estructura del pavimento; en solución a lo anterior el software determina la constante dieléctrica del material por el cual se transporta la onda que emite la antena y de esta forma poder determinar el espesor de cada una de las capas, así como también la utilización de las herramientas FIR (Respuesta de Impulso Finito) e IIR (Respuesta de Impulso Infinito), los cuales corresponden a filtros avanzados que ayudan a la determinación visual del límite de cada una de las capas. La Tabla 4 muestra los valores estándar de constantes dieléctricas para los diferentes materiales.

Material	**Constante Dieléctrica (adimensional)**
Aire	1
Hielo	3.6
PVC	3
Asfalto	3 - 5
Concreto	4 -11
Granito	4 - 7
Arenisca	6
Esquisto	5 - 15
Caliza	4 - 8
Basalto	8 - 9
Agua saturada en arena	19 - 24
Suelo y Sedimentos	4 - 30
Agua	81

Tabla 4. Valores típicos de constantes dieléctricas para distintos materiales

Fuente: "Ground Penetrating Radar" – Dynatest, Mario Manosalvas

Una vez determinados los espesores de la estructura de pavimento en el software RADAN 7, se tabulan los resultados y se muestra gráficamente la estructura de pavimento obtenida.

8.5 Deflectómetro de impacto

Para la evaluación deflectométrica en campo se implementó el equipo HWD 8082 (Heavy Weight Deflectometer) de Dynatest, realizando las mediciones con una restricción principal que era el deterioro avanzado de uno de los carriles del tramo evaluado, por lo cual, se realizaron mediciones sobre el carril derecho sentido Sur – Norte, de la siguiente manera:

- Distancia entre puntos: 30 metros
- Carga aplicada: 40 kN
- Sensores aplicados: 9 sensores
- Registro de temperaturas: Aire y superficie
- Registro de coordenadas: Si
- Diámetro plato de carga: 30cm

Una vez realizados los trabajos en campo se procede a realizar el análisis de la información, donde procedemos a determinar el número estructural efectivo, empleando la metodología AASHTO-93; el procedimiento para la determinación del SNeff, se describe a continuación.

8.5.1 Normalización Deflexiones por Carga

La aplicación de la carga no siempre es constante, requiriendo una corrección por carga, debido a que el sensor que se encuentra sobre el plato de carga registra la respuesta del pavimento al caer la masa establecida. La estandarización consiste en correlacionar linealmente esta fuerza aplicada con un valor establecido de 40 kN, para cada uno de los sensores, a través de la siguiente expresión:

$$Dc_i = Dm_i \times \frac{40}{F_a} \quad (ec.4)$$

Donde:

Dc_i es la Deflexión Corregida (en 1/1000 mm) para el sensor i

Dm_i es la Deflexión medida (en 1/1000 mm), para la carga Fa, en el sensor i

F_a es la Carga Aplicada en el momento de la medición en (kN)

8.5.2 Normalización Deflexiones por Temperatura

La normalización de las deflexiones por temperatura está dada al aumento de la temperatura en las capas bituminosas al momento de las mediciones en campo, lo cual genera un aumento en el valor de la deflexión a causa del ablandamiento que sufre el asfalto. La función de corrección de la deflexión central, D_0, está basada en la guía de rehabilitación de pavimentos asfalticos del INVIAS y esta expresada de la siguiente manera.

$$Factor_(T) = \frac{1}{1 - 0{,}0008 \cdot h_1 \cdot (T - t)} \quad \textit{(ec. 5)}$$

Donde:

h_1 es el espesor de la carpeta asfáltica existente (cm)

t es la temperatura de la capa Asfáltica en el momento de la medición (°C)

T es la temperatura de referencia igual a 20 ºC para la vía (°C)

Considerando el espesor de carpeta asfáltica del sector y la temperatura a la que se realizaron las mediciones, se calcula el factor que afecta las mediciones de deflexión. Una vez realizado este proceso, se procede a corregir la deflexión central D_0 la cual es altamente sensible a las variaciones de temperatura. Teniendo la corrección de la siguiente manera:

$$D_0 = Factor_(T) \cdot D_{0(t)} \quad \textit{(ec. 6)}$$

El análisis de deflexiones, utilizando Guía AASHTO, se basa en representar el pavimento por un modelo simplificado de dos capas: una superior propia del pavimento (capas aglomeradas y granulares) para la cual se calcula el módulo elástico equivalente (Ep) y el número estructural efectivo, y una capa inferior y con profundidad infinita y módulo resiliente (Mr) que representa el suelo de fundación.

8.5.3 Módulo Resiliente de la Plataforma de Fundación

El Módulo Resiliente de la Plataforma de Fundación es el parámetro utilizado por el método AASHTO para caracterizar al suelo de fundación en el diseño de pavimentos de asfalto. Mediante el proceso de retrocálculo se obtiene el módulo elástico de la subrasante con los datos de carga y deflexiones obtenidos con el Deflectómetro.

Para pavimentos flexibles se calcula el módulo resiliente de acuerdo con la expresión:

$$Mr = \frac{2.4 \times P}{d_r \times r} \qquad (ec.7)$$

Donde:

M_r es el módulo resiliente de la subrasante, en psi (MPa)

P es la carga aplicada por el deflectómetro, en libras (kN)

d_r es la deflexión a una distancia r desde el centro del plato de carga, en pulgadas (cm)

r es la distancia desde el centro del plato de carga, en pulgadas (cm)

Y debe cumplirse que $\mathrm{r} \geq 0.7 \times \mathrm{a_e}$, donde $\mathrm{a_e}$ es el radio del bulbo de tensiones en la interfaz entre las capas construidas y la subrasante.

El valor a_e depende a su vez del módulo elástico E_p y del espesor de las capas construidas D:

$$a_e = \sqrt{a^2 + \left(D \times \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2} \qquad (ec.8)$$

Donde:

E_p es el módulo elástico efectivo de todas las capas del pavimento sobre la subrasante, (MPa)

D es el espesor total de las capas de pavimento sobre la subrasante, (cm)

a es el radio del plato de carga, (cm)

De acuerdo con las recomendaciones para corregir los módulos elásticos retro-analizados a módulos resilientes se utiliza el factor C calculado según las relaciones presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores de ajuste C, para el módulo resiliente

Tipo de Subrasante	Factor de Ajuste "C"	Coeficiente de Variación (%)
Suelos de subrasante bajo una subrasante estabilizada	0.75	13
Suelos de subrasante bajo un pavimento sin una capa de base y/o subbase granular no ligada, y sin subrasante estabilizada	0.52	37
Suelos de subrasante bajo un pavimento con una capa de base y/o subbase granular no ligada, pero sin subrasante estabilizada	0.33	49

Fuente: Requerimientos técnicos (Anexo técnico separable) Instituto Desarrollo Urbano (IDU).

8.5.4 Módulo de la Estructura del Pavimento

El módulo elástico del pavimento (E_p) corresponde al módulo de deformación de la capa ubicada sobre la subrasante, después de haber sido sometida a cargas cíclicas.

Como la deflexión en el centro del plato de carga depende de los dos módulos, el del pavimento E_p y el de la subrasante M_r, entonces se debe efectuar un proceso iterativo para encontrar que se cumpla tanto la fórmula de deflexión central como la fórmula del radio a_e.

La fórmula de deflexión central es lo que se conoce como modelo elástico de dos capas de Burmister:

$$d_0 = 1.5 \times p \times a \times \left\{ \frac{1}{M_r \times \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \times \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2}} + \frac{\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right]}{E_p} \right\} \quad (\text{ec. } 9)$$

Donde:

p es la presión del contacto del plato (carga dividido por el área (MPa))

8.5.5 Numero Estructural Efectivo

El número estructural es un concepto introducido en la prueba AASHTO para caracterizar las estructuras de los pavimentos asfálticos y utilizados por el método AASHTO para el diseño de pavimentos.

$$NE_t = 0{,}0045 \cdot D \cdot \sqrt[3]{E_p} \qquad \textit{(ec. 10)}$$

Donde:

D es el espesor total de todas las capas que aportan capacidad estructural sobre la subrasante (cm)

E_p es el módulo elástico efectivo de todas las capas que aportan capacidad estructural del pavimento sobre la subrasante (MPa)

Seguido del análisis del retrocálculo se realiza el diseño de pavimento del tramo en estudio con el fin de obtener el SNrequerido y entrar a realizar la comparación con el SNefectivo. Para dicho cálculo y de acuerdo con las investigaciones realizadas por Allan Liley y John Knapton de la asociación de concreto y cemento del reino unido, quienes determinaron que la rigidez de una capa de rodadura de pavimento articulado era equivalente a la capa de rodadura de pavimento asfaltico, por tal motivo se realiza el diseño por la metodología AASHTO utilizando los siguientes parámetros de entrada:

- Nivel de transito: 400.000 ejes equivalentes de 80kN
- Mr Subrasante: 1327PSI
- Coeficiente de aporte (a_i): 0.44
- Coeficiente de drenaje (m_i): 1

- Desviación estándar (S_o): 0.45
- Serviciabilidad inicial: 4.2
- Serviciabilidad final: 2.2

El módulo resiliente de la subrasante se determina por medio del retrocálculo de módulos, realizando el promedio del Mr diseño obtenido del tramo evaluado.

Mediante la implementación del software AASHTO-93 se procede a determinar el SN requerido y se realiza la respectiva comparación con los SN efectivo.

9. Resultados

9.1 Evaluación funcional

9.1.1 Inspección visual (manual)

Se realizó la inspección visual del tramo seleccionado, en donde se identificaron, calificaron y categorizaron los diferentes deterioros para cada una de las 9 unidades.

Tabla 6. Levantamiento deterioros Unidad 1

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
1	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
3/A	13	5,65	-	-
2/A	25	1,00	4,50	4,50
1/B	-	55,50	2,83	157,07
2/M	15	1,10	0,80	0,88
2/M	18	8,98	3,60	32,33
3/A	30	4,20	-	-
3/A	14	2,20	-	-
3/A	15	3,23	-	-
3/A	20	5,45	-	-
3/A	25	5,45	-	-
4/A	15	1,50	0,90	1,35
4/M	10	2,85	2,83	8,07
1/M	-	1,10	3,70	4,07
5/A	20	3,10	4,20	13,02
5/B	5	0,50	0,60	0,30
7/A	90	5,45	5,45	29,70
2/B	5	2,50	2,20	5,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Levantamiento deterioros Unidad 2

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
2	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
1/M	-	4,25	5,45	23,16
2/M	13	22,30	1,35	30,11
5/A	50	1,00	1,00	1,00
3/A	38	1,00	-	-
7/A	45	5,45	-	-
2/A	30	1,40	1,00	1,40
2/A	27	2,30	5,45	12,54
3/A	15	1,50	-	-
2/A	45	2,30	2,30	5,29
2/M	20	1,00	1,20	1,20
9/B	-	0,15	0,30	0,05
7/A	55	3,80	-	-
1/M	-	6,10	5,45	33,25
1/B	-	12,50	3,80	47,50
1/B	-	18,70	2,5	46,75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Levantamiento deterioros Unidad 3

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
3	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/M	12	3,9	0,5	1,95
2/B	5	2	0,45	0,9
2/A	40	5,45	1	5,45
2/M	23	1,2	0,55	0,66
2/M	15	0,6	0,65	0,39
2/A	30	6,25	0,8	5
5/M	10	2,2	3,7	8,14
7/A	20	3	-	-
7/A	38	3	-	-
7/A	30	2,3	-	-
2/B	12	2	1,6	3,2
1/A	-	5,6	5,45	30,52
1/B	-	25,8	3,7	95,46
1/B	-	15,5	2,9	44,95

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Levantamiento deterioros Unidad 4

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
4	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/A	30	0,55	1	0,55
5/A	15	0,4	0,4	0,16
2/M	12	5,45	0,55	3,00
1/M	-	2,95	2,9	8,56
2/A	30	6,7	3,3	22,11
2/B	8	1	1,9	1,90
5/A	12	0,3	0,4	0,12
2/A	59	3,2	2,2	7,04
1/B	-	13,3	4,5	59,85
1/B	-	9	3,8	34,20
3/B	9	5,45	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Levantamiento deterioros Unidad 5

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
5	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/B	8	8,00	0,60	4,80
2/B	10	0,80	0,70	0,56
1/B	-	5,80	3,60	20,88
3/A	18	4,00	-	-
2/M	16	2,15	1,95	4,19
5/A	11	0,30	0,30	0,09
2/A	34	3,45	2,70	9,32
2/M	20	1,00	1,00	1,00
2/M	23	1,70	1,90	3,23
2/M	18	0,35	0,40	0,14
2/A	40	8,55	0,80	6,84
2/B	11	0,60	0,25	0,15
2/A	26	0,80	0,50	0,40
2/M	15	0,85	0,65	0,55
1/B	-	16,2	4,5	72,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Levantamiento deterioros Unidad 6

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
6	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/A	29	1,90	2,95	5,61
2/A	25	0,70	1,15	0,81
2/M	20	0,90	0,35	0,32
2/M	20	0,60	0,50	0,30
2/A	38	1,85	1,50	2,78
2/B	5	3,35	0,35	1,17
2/M	14	1,10	0,45	0,50
2/M	15	0,50	0,30	0,15
5/M	6	0,25	0,15	0,04
2/A	30	0,45	1,00	0,45
5/B	6	0,35	0,40	0,14
2/M	23	2,15	0,67	1,44
5/B	4	2,00	1,80	3,60
5/B	2	0,60	0,50	0,30
2/M	20	2,85	0,65	1,85
1/M	-	9,00	1,50	13,50
1/M	-	14,00	4,60	64,40
2/M	21	2,14	0,60	1,28
2/A	43	1,30	0,65	0,85
2/B	5	0,67	6,43	4,31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Levantamiento deterioros Unidad 7

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
7	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/A	40	18,55	1,80	33,39
2/A	27	4,70	2,05	9,64
2/A	36	3,55	1,46	5,18
3/M	12	4,00	-	-
2/A	25	2,95	1,35	3,98
2/M	20	1,00	0,65	0,65
8/A	58	1,10	1,05	1,16
2/M	20	1,75	1,40	2,45
2/M	22	2,50	2,80	7,00
6/A	40	3,10	1,15	3,57
1/B	-	15,30	2,80	42,84
1/B	-	8,5	4,1	34,85

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Levantamiento deterioros Unidad 8

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
8	5,65	55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/A	50	18,47	3,90	72,03
8/M	20	1,25	0,90	1,13
2/B	7	0,30	0,85	0,26
2/A	30	0,75	0,70	0,53
2/A	35	7,60	1,96	14,90
2/A	30	2,98	2,05	6,11
2/A	30	3,05	0,90	2,75
2/A	30	4,44	2,54	11,28
1/B	-	15,60	2,40	37,44
1/B	-	7,30	3,40	24,82
1/M	-	3,20	5,40	17,28
1/M	-	4,90	2,90	14,21
8/M	15	2,50	1,67	4,18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Levantamiento deterioros Unidad 9

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS				
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**		**ÁREA**
9	5,65	53,3		301,145
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS				
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)		9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento		10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal		11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta			
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**PROFUNDIDAD (mm)**	**LARGO (m)**	**ANCHO (m)**	**ÁREA (m2)**
2/M	18	14,25	2,20	31,35
2/B	10	3,75	1,40	5,25
8/B	12	0,70	0,80	0,56
2/A	80	3,30	1,20	3,96
2/A	40	22,84	3,26	74,46
2/A	28	9,77	1,78	17,39

Fuente: Elaboración propia.

9.1.1.1 Calculo PCI

De acuerdo con los deterioros identificados en cada una de las 9 unidades, se procedió a calcular el valor deducido y el valor máximo deducido corregido con el fin de hallar el PCI y clasificar cada unidad según la escala de valoración estandarizada. Finalmente, se determinó el PCI de la sección.

9.1.1.1.1 Calculo Unidad 1

Tabla 15. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 1

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
1	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
3/A	5,65	4,20	2,20	3,23	5,45	5,45	26,18	8,35	38,00
2/A	4,50						4,50	1,44	25,80
1/B	157,07						157,07	50,09	9,00
2/M	0,88	32,33					33,21	10,59	32,90
4/A	1,35						1,35	0,43	8,01
4/M	8,07						8,07	2,57	14,01
1/M	4,07						4,07	1,30	3,00
5/A	13,02						13,02	4,15	0,82
5/B	0,30						0,30	0,10	0,002
7/A	29,70						29,70	9,47	31,80
2/B	5,50						5,50	1,75	4,30

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
6,7	≈	6,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	38,00	32,90	31,80	25,80	14,01	9,00	151,51	6	78
2	38,00	32,90	31,80	25,80	14,01	2,00	144,51	5	78
3	38,00	32,90	31,80	25,80	2,00	2,00	132,50	4	75
4	38,00	32,90	31,80	2,00	2,00	2,00	108,70	3	69
5	38,00	32,90	2,00	2,00	2,00	2,00	78,90	2	55
6	38,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	48,00	1	48

Máx. CDV	78
PCI	22
CLASIFICACIÓN	Muy malo

9.1.1.1.2 Calculo Unidad 2

Tabla 16. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 2

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
2	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
1/M	23,16	33,25					56,41	17,99	12,87
2/M	30,11	1,20					31,31	9,98	31,89
5/A	1,00						1,00	0,32	2,01
3/A	1,00	1,50					2,50	0,80	13,76
7/A	5,45	3,80					9,25	2,95	12,02
2/A	1,40	12,54	5,29				19,23	6,13	12,90
9/B	0,05						0,05	0,02	1,95
1/B	47,50	46,75					94,25	30,06	6,10

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
7,3	≈	7,0

No.	VALOR DEDUCIDO							TOTAL	q	CDV
1	31,89	13,76	12,90	12,87	12,02	6,10	2,01	91,55	7	48
2	31,89	13,76	12,90	12,87	12,02	6,10	2,00	91,54	6	49
3	31,89	13,76	12,90	12,87	12,02	2,00	2,00	87,44	5	49
4	31,89	13,76	12,90	12,87	2,00	2,00	2,00	77,42	4	45
5	31,89	13,76	12,90	2,00	2,00	2,00	2,00	66,55	3	42
6	31,89	13,76	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	55,65	2	38
7	31,89	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	43,89	1	44

Máx. CDV	49
PCI	51
CLASIFICACIÓN	Regular

9.1.1.1.3 Calculo Unidad 3

Tabla 17. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 3

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
3	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/M	1,95	0,66	0,39				3,00	0,96	11,89
2/B	0,90	3,20					4,10	1,31	5,01
2/A	5,45	5,00					10,45	3,33	34,05
5/M	8,14						8,14	2,60	2,02
7/A	3,00	3,00	2,30				8,30	2,65	11,85
1/A	30,52						30,52	9,73	17,85
1/B	95,46	44,95					140,41	44,78	8,01

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
7,1	≈	7,0

No.	VALOR DEDUCIDO							TOTAL	q	CDV
1	34,05	17,85	11,89	11,85	8,01	5,01	2,02	90,68	7	46
2	34,05	17,85	11,89	11,85	8,01	5,01	2,00	90,66	6	47
3	34,05	17,85	11,89	11,85	8,01	2,00	2,00	87,65	5	48
4	34,05	17,85	11,89	11,85	2,00	2,00	2,00	81,64	4	49
5	34,05	17,85	11,89	2,00	2,00	2,00	2,00	71,79	3	46
6	34,05	17,85	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	61,90	2	42
7	34,05	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	46,05	1	45

Máx. CDV	49
PCI	51
CLASIFICACIÓN	Regular

9.1.1.1.4 Calculo Unidad 4

Tabla 18. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 4

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
4	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/A	0,55	22,11	7,04				29,70	9,47	43,85
5/A	0,16	0,12					0,28	0,09	1,80
2/M	3,00						3,00	0,96	11,99
1/M	8,55						8,55	2,73	4,02
2/B	1,90						1,90	0,61	3,95
1/B	59,85	34,20					94,05	29,99	5,97
3/B	5,45						5,45	1,74	4,01

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
6,2	≈	6,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	43,85	11,99	5,97	4,02	4,01	3,95	73,79	6	38
2	43,85	11,99	5,97	4,02	4,01	2,00	71,84	5	39
3	43,85	11,99	5,97	4,02	2,00	2,00	69,83	4	41
4	43,85	11,99	5,97	2,00	2,00	2,00	67,81	3	44
5	43,85	11,99	2,00	2,00	2,00	2,00	63,84	2	45
6	43,85	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	53,85	1	54

Máx. CDV	54
PCI	46
CLASIFICACIÓN	Regular

9.1.1.1.5 Calculo Unidad 5

Tabla 19. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 5

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
5	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/B	4,80	0,56	0,15				5,51	1,76	5,82
1/B	20,88	72,90					93,78	29,91	5,75
3/A	4,00						4,00	1,28	16,03
2/M	4,19	1,00	3,23	0,14	0,55		9,11	2,91	16,25
5/A	0,09						0,09	0,03	1,70
2/A	9,32	6,84	0,40				16,56	5,28	37,84

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
6,7	≈	6,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	37,84	16,25	16,03	5,82	5,75	1,70	83,39	5	46
2	37,84	16,25	16,03	5,82	2,00	1,70	79,64	4	47
3	37,84	16,25	16,03	2,00	2,00	1,70	75,82	3	49
4	37,84	16,25	2,00	2,00	2,00	1,70	61,79	2	44
5	37,84	2,00	2,00	2,00	2,00	1,70	47,54	1	47

Máx. CDV	49
PCI	51
CLASIFICACIÓN	Regular

9.1.1.1.6 Calculo Unidad 6

Tabla 20. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 6

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS										
UNIDAD	**ANCHO**							**LONGITUD**		**ÁREA**
6	5,65							55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS										
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)							9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento							10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal							11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta									
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**							**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/A	5,61	0,81	2,78	0,45	0,85			10,50	3,35	35,10
2/M	0,32	0,30	0,50	0,15	1,44	1,85	1,28	5,84	1,86	4,50
2/B	1,17	4,31						5,48	1,75	5,60
5/M	0,04							0,04	0,01	0,08
5/B	0,14	3,60	0,30					4,04	1,29	0,05
1/M	13,50	64,40						77,90	24,84	15,97

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS
7,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	35,10	15,97	5,60	4,50	0,08	0,05	61,17	4	35
2	35,10	15,97	5,60	2,00	0,08	0,05	58,67	3	37
3	35,10	15,97	2,00	2,00	0,08	0,05	55,07	2	38
4	35,10	2,00	2,00	2,00	0,08	0,05	41,10	1	41

Máx. CDV	41
PCI	59
CLASIFICACIÓN	Bueno

9.1.1.1.7 Calculo Unidad 7

Tabla 21. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 7

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
7	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/A	33,39	9,64	5,18	3,98			52,19	16,64	50,10
3/M	4,00						4,00	1,28	8,60
2/M	0,65	2,45	7,00				10,10	3,22	16,20
8/A	1,16						1,16	0,37	1,10
6/A	3,57						3,57	1,14	33,99
1/B	42,84	34,85					77,69	24,78	0,06

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
5,6	≈	5,0

No.	VALOR DEDUCIDO					TOTAL	q	CDV
1	50,10	33,99	16,20	8,60	1,10	109,99	4	65
2	50,10	32,90	16,20	2,00	1,10	102,30	3	66
3	50,10	32,90	2,00	2,00	1,10	88,10	2	60
4	50,10	2,00	2,00	2,00	1,10	57,20	1	57

Máx. CDV	66
PCI	34
CLASIFICACIÓN	Malo

9.1.1.1.8 Calculo Unidad 8

Tabla 22. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 8

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
8	5,65						55,5		313,575
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/A	72,03	0,53	14,90	6,11	2,75	11,28	107,60	34,31	65,00
8/M	1,13	4,18					5,31	1,69	0,99
2/B	0,26						0,26	0,08	5,01
1/B	37,44	24,82					62,26	19,85	3,95
1/M	17,28	14,21					31,49	10,04	8,50

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
4,2	≈	4,0

No.	VALOR DEDUCIDO				TOTAL	q	CDV
1	65,00	8,50	5,01	3,95	82,46	4	49
2	65,00	8,50	5,01	2,00	80,51	3	52
3	65,00	8,50	2,00	2,00	77,50	2	53
4	65,00	2,00	2,00	2,00	71,00	1	70

Máx. CDV	70
PCI	30
CLASIFICACIÓN	Malo

9.1.1.1.9 Calculo Unidad 9

Tabla 23. Calculo VD, CDV y PCI Unidad 9

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS									
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**		**ÁREA**
9	5,65						53,3		301,145
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**	**VALOR DEDUCIDO**
2/M	31,35						31,35	10,41	37,10
2/B	5,25						5,25	1,74	5,05
8/B	0,56						0,56	0,19	0,06
2/A	3,96	74,46	17,39				95,81	31,82	63,89

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
4,3	≈	4,0

No.	VALOR DEDUCIDO				TOTAL	q	CDV
1	63,89	37,10	5,05	0,06	106,10	3	68
2	63,89	37,10	2,00	0,06	103,05	2	69
3	63,89	2,00	2,00	0,06	67,95	1	68

Máx. CDV	69
PCI	31
CLASIFICACIÓN	Malo

9.1.1.2 Calculo del PCI total de la sección:

PROMEDIO	41,7
PCI	58,3
CLASIFICACIÓN	Bueno

9.1.2 Inspección automatizada

Con la implementación del vehículo multifuncional para la toma de datos y mediante el software Dynatest Explorer, se identificaron, calificaron y categorizaron los diferentes deterioros para cada una de las unidades de forma automatizada, en las siguientes tablas se muestran los deterioros evidenciados.

Tabla 24. Deterioros automatizado unidad 1

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO									
UNIDAD	**ANCHO**				**LONGITUD**			**ÁREA**	
1	5.65				55.5			313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)						9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento						10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal						11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**							**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	10.62	6.90	6.04	8.76	15.30	10.58	6.03	64.23	20.48
1/M	6.99	3.74						10.73	3.42
2/B	1.82							1.82	0.58
2/M	2.38							2.38	0.76
3/B	2.59	3.82	2.97	3.77				13.15	4.19
3/M	4.21							4.21	1.34
7/B	3.33	2.35	1.31					6.99	2.23
7/M	1.55	1.52	1.78	10.50				15.35	4.89
5/B	1.08	1.57						2.65	0.84

Tabla 25. Deterioros automatizado unidad 2

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO								
UNIDAD	**ANCHO**				**LONGITUD**		**ÁREA**	
2	5.65				55.5		313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS								
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)					9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento					10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal					11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta							
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	17.36	6.79	0.59	5.37	9.48	25.41	65.00	20.73
1/M	3.59	1.44	6.19	5.54	23.15		39.91	12.73
2/B	2.04	13.50	12.42				27.96	8.92
2/A	3.93	18.50					22.43	7.15
3/B	1.85	4.51					6.36	2.03
4/B	4.34						4.34	1.38
4/M	1.32						1.32	0.42
7/B	3.43	1.11	2.31	8.90			15.75	5.02
8/B	2.06	1.91					3.97	1.27
5/B	1.97						1.97	0.63
5/M	0.95						0.95	0.30

Tabla 26. Deterioros automatizado unidad 3

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO								
UNIDAD	**ANCHO**				**LONGITUD**		**ÁREA**	
3	5.65				55.5		313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS								
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)					9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento					10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal					11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta							
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	45.51	5.14	8.53	5.47	63.47	1.08	129.19	41.20
1/M	1.51	10.33	17.74				29.57	9.43
2/B	2.31	2.15					4.46	1.42
2/M	4.22	1.20					5.42	1.73
3/B	3.26	2.46	0.51				6.23	1.99
3/M	3.81	4.78	2.10				10.69	3.41
4/B	0.56						0.56	0.18
4/M	1.15						1.15	0.37
7/B	2.27	1.40					3.67	1.17
8/B	1.00	2.03					3.03	0.97
5/B	1.06	0.46					1.52	0.49

Tabla 27. Deterioros automatizado unidad 4

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO										
UNIDAD	**ANCHO**					**LONGITUD**			**ÁREA**	
4	5.65					55.5			313.575	
CÓDIGOS										
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)							9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento							10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal							11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta									
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**								**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	13.91	23.91	23.94	13.72	5.06	2.96	2.00	3.63	89.12	28.42
3/B	2.70	3.16							5.86	1.87
3/M	3.29								3.29	1.05
4/B	1.88								1.88	0.60
4/M	2.49								2.49	0.79
7/M	1.17								1.17	0.37
8/B	0.77								0.77	0.25
5/B	1.27								1.27	0.41
2/A	13.52	17.65							31.17	9.94

Tabla 28. Deterioros automatizado unidad 5

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO										
UNIDAD	**ANCHO**					**LONGITUD**			**ÁREA**	
5	5.65					55.5			313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS										
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)							9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento							10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal							11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta									
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**								**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	55.86	15.48	7.41	7.63	3.69	2.21	2.70	3.50	98.46	31.40
2/B	14.08								14.08	4.49
2/M	2.48	1.71	1.91						6.10	1.95
3/B	1.96	2.16							4.13	1.32
3/M	1.59								1.59	0.51
4/B	1.80	1.16							2.96	0.94
7/B	0.47								0.47	0.15
5/B	0.50								0.50	0.16

Tabla 29. Deterioros automatizado unidad 6

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO									
UNIDAD	**ANCHO**					**LONGITUD**		**ÁREA**	
6	5.65					55.5		313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)							9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento							10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal							11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**							**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	44.22	2.75	11.76	2.31	13.85			74.89	23.88
2/M	10.21							10.21	3.26
3/B	1.25	2.10						3.35	1.07
3/M	1.76	1.93						3.69	1.18
4/B	2.25							2.25	0.72
5/B	0.90							0.90	0.29

Tabla 30. Deterioros automatizado unidad 7

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO									
UNIDAD	**ANCHO**					**LONGITUD**		**ÁREA**	
7	5.65					55.5		313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS									
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)							9. Perdida de adoquines	
2. Depresiones	6. Abultamiento							10. Parches	
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal							11. Ahuellamiento	
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta								
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**							**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	33.77	3.04	31.71	3.79				72.31	23.06
2/B	20.42	2.34	21.60	10.56				54.91	17.51
2/M	13.03							13.03	4.15
3/B	3.29	3.89	1.81					8.98	2.86
3/M	2.77	4.71	2.73					10.21	3.26
4/B	2.21	0.15	2.78					5.13	1.64
4/M	1.64	1.03						2.67	0.85
7/B	0.65	1.33						1.98	0.63
5/B	0.32	0.74						1.06	0.34

Tabla 31. Deterioros automatizado unidad 8

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO											
UNIDAD	**ANCHO**						**LONGITUD**			**ÁREA**	
8	5.65						55.5			313.575	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS											
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)								9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento								10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal								11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta										
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**									**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	24.81	53.67	1.94	2.61	1.70	3.35	3.02	3.82		94.92	30.27
1/M	24.15	7.06								31.21	9.95
2/B	51.67	11.22								62.89	20.05
2/A	2.18	0.49	4.52							7.19	2.29
3/B	1.50	4.14								5.64	1.80
3/M	3.67	3.81								7.49	2.39
4/B	0.20	0.30								0.50	0.16
4/M	1.15	0.20								1.35	0.43
7/B	0.65									0.65	0.21
7/M	1.33									1.33	0.42
8/B	1.65									1.65	0.53

Tabla 32. Deterioros automatizado unidad 9

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS AUTOMATIZADO								
UNIDAD	**ANCHO**					**LONGITUD**	**ÁREA**	
9	5.65					53.3	301.145	
CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS								
1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)					9. Perdida de adoquines		
2. Depresiones	6. Abultamiento					10. Parches		
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal					11. Ahuellamiento		
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta							
CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	**CANTIDAD**						**TOTAL**	**DENSIDAD (%)**
1/B	5.75	3.47	6.02	4.93	1.45	3.43	25.05	8.32
1/M	3.47	2.99	2.10	3.23			11.80	3.92
2/M	3.69	3.35	0.98	1.83			9.85	3.27
2/A	41.04	30.84	11.53	12.15	3.85		99.42	33.02
3/B	1.53	3.71	0.88				6.11	2.03
3/M	3.33						3.33	1.10
4/B	1.17	0.23					1.41	0.47
4/M	2.10	2.66					4.76	1.58
7/M	1.75	1.82					3.56	1.18
5/B	0.27	0.69	1.31				2.27	0.75

En las siguientes figuras se muestran como el software realiza la evaluación de los deterioros de manera automática aplicando la normativa aquí descrita, sobre el registro de las imágenes tomadas en campo.

Figura 16. Identificación deterioros abscisa K0+459 al K0+465

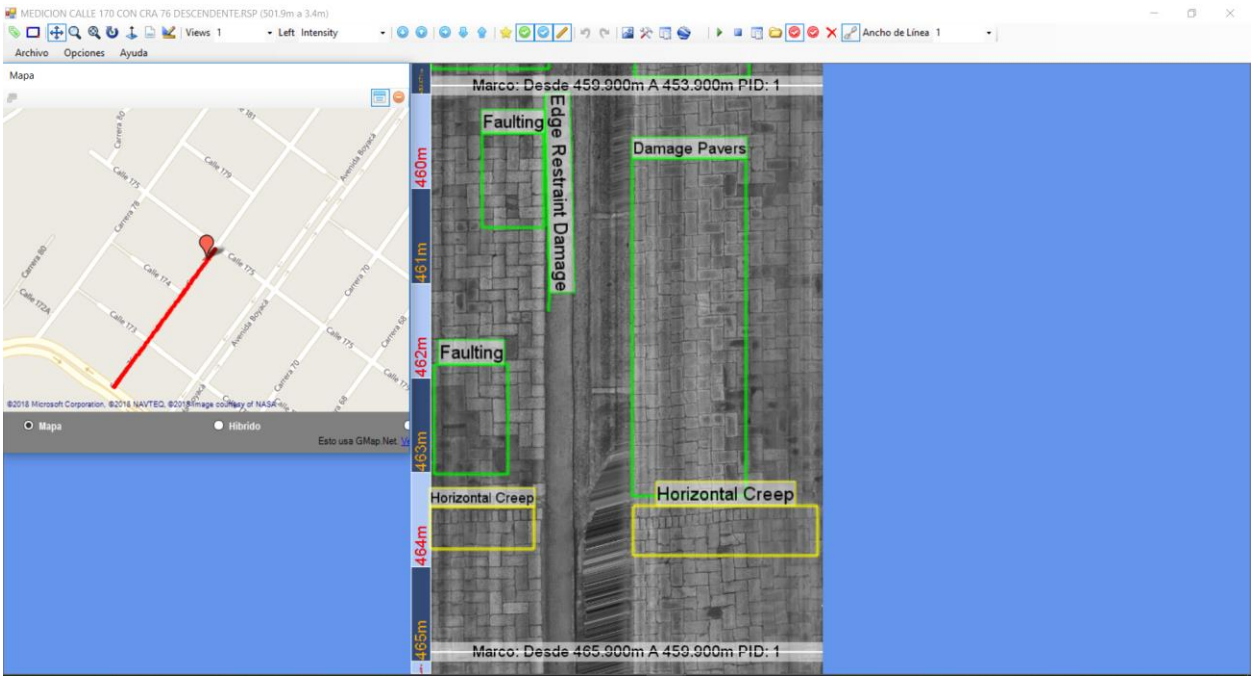


Figura 17. Identificación deterioros abscisa K0+129 al K0+135

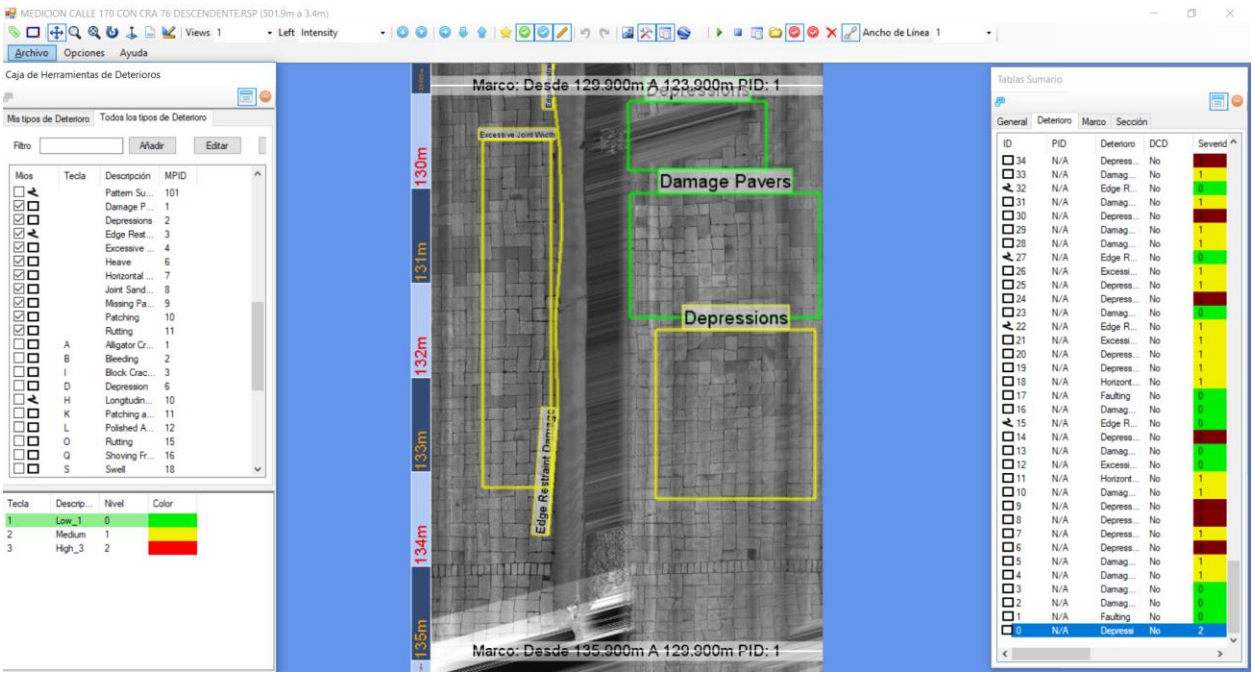
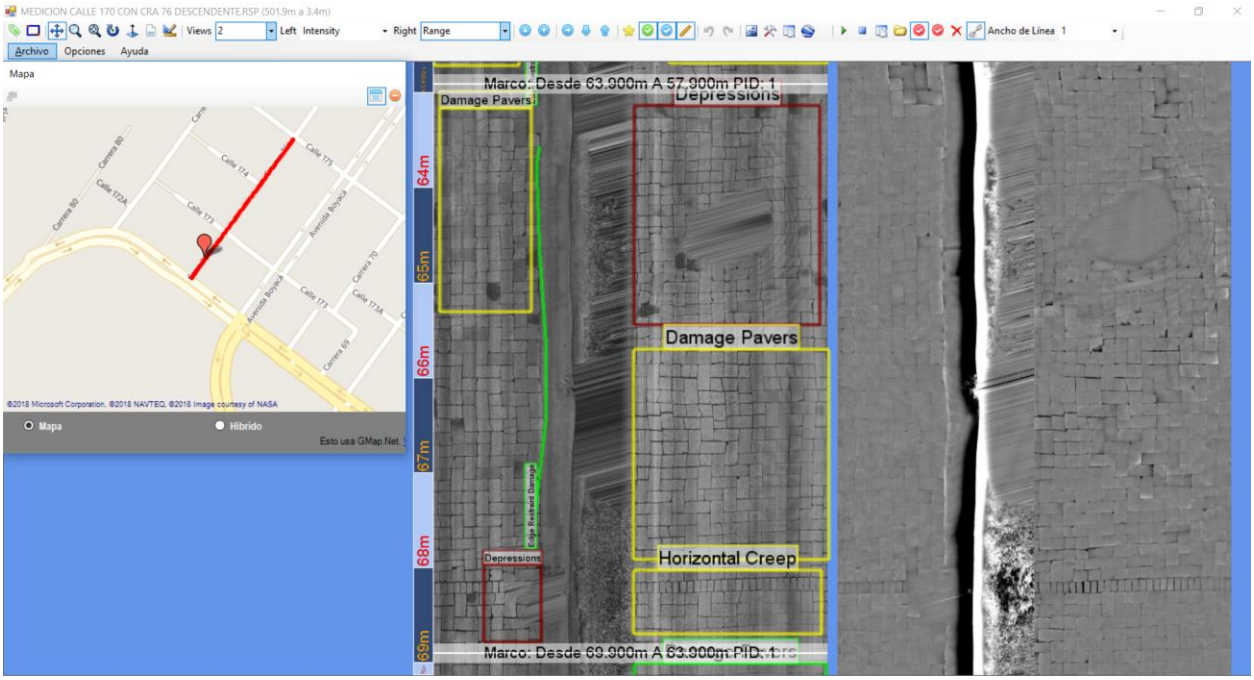


Figura 18. Identificación deterioros abscisa K0+063 al K0+069



9.1.2.1 Calculo PCI (automatizado)

En el anexo E, F y G se muestra el cálculo del VD, CDV y el PCI. La Tabla 33 muestra en resumen los resultados del PCI obtenido para cada unidad de muestra.

Tabla 33. Resultados PCI por unidad de muestra - automatizado

UNIDAD	PCI
1	76
2	49
3	70
4	46
5	73
6	73
7	55
8	48
9	29

En la Tabla 34 se muestra una comparación del PCI obtenido entre las dos metodologías de auscultación empleadas, de acuerdo con la escala de valorización del PCI.

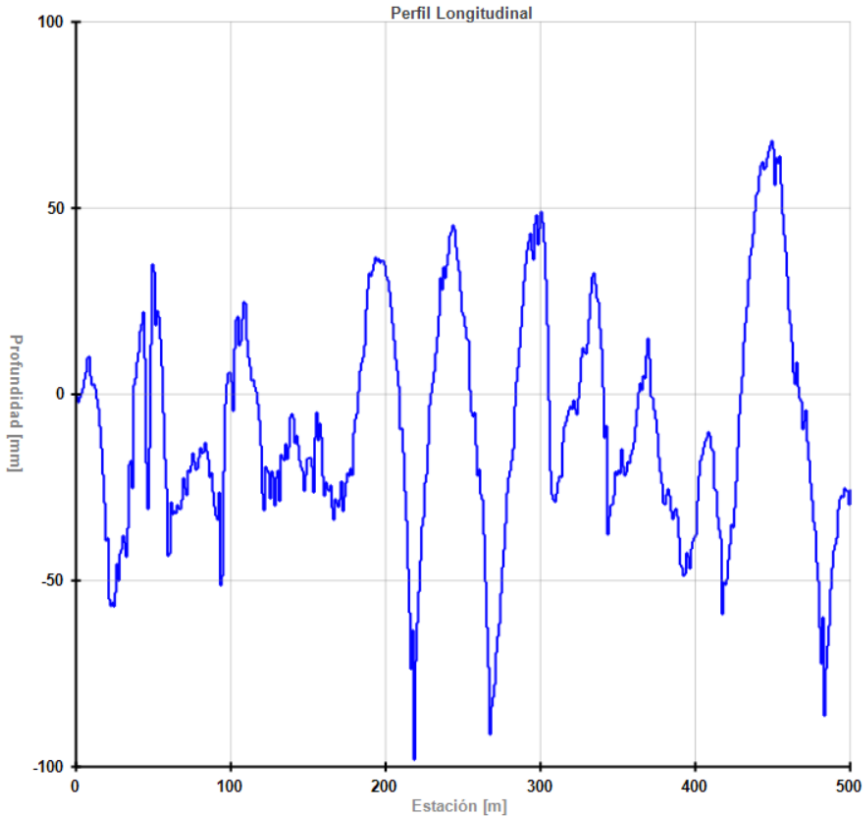
Tabla 34. PCI manual Vs. PCI automatizado

UNIDAD	PCI MANUAL	PCI AUTOMATIZADO
1	22	76
2	51	49
3	51	70
4	46	46
5	51	73
6	59	73
7	34	55
8	30	48
9	31	29
PCI Promedio	**58.3**	**42.3**

9.1.3 Perfil longitudinal

El Gráfico 1 muestra el perfil longitudinal obtenido cada 25cm del centro de la calzada, y en el anexo K se presenta la tabla de los valores obtenidos.

Gráfico 1. Perfil longitudinal



9.1.4 Índice de rugosidad internacional (IRI)

El índice de rugosidad internacional es presentado en la Tabla 35 desglosándose los valores obtenidos cada 10 metros y dándose el rango de calificación del IRI de acuerdo a la Tabla 3 y para cada una de las huellas en ambos carriles de medición.

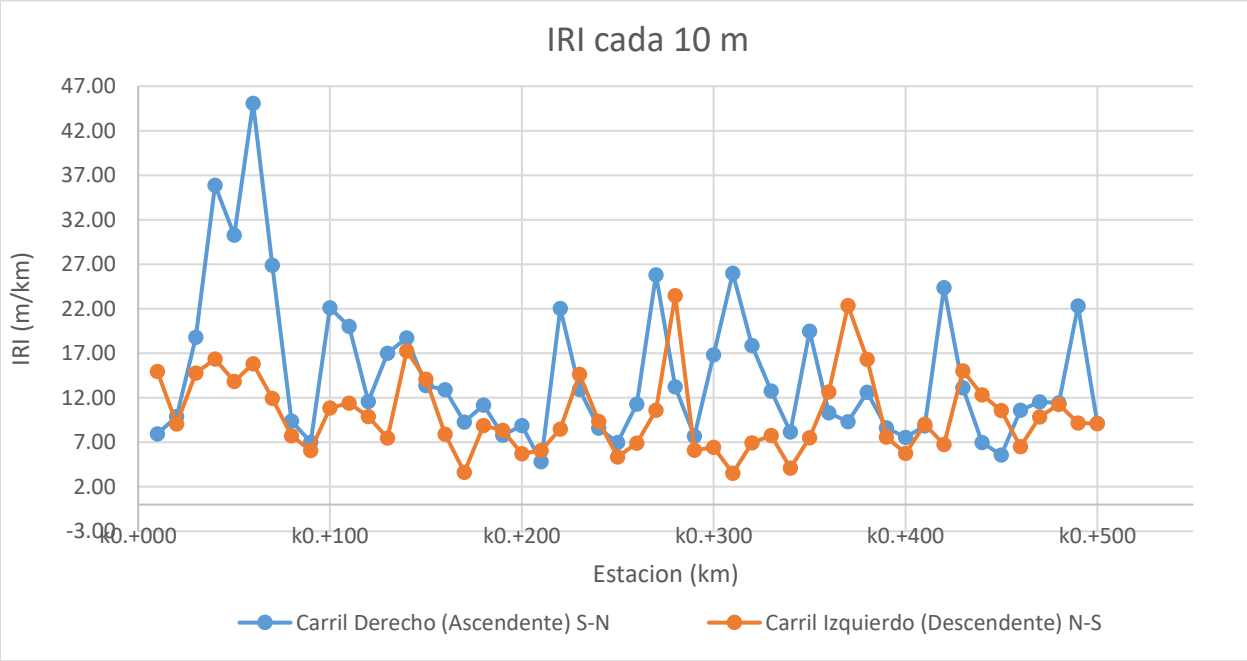
El Gráfico 2 muestra el resultado promedio de IRI obtenido para cada uno de los carriles evaluados.

Tabla 35. Resultados de IRI cada 10m

REPORTE IRI									
10M									
Carril Derecho (Ascendente) S-N					Carril Izquierdo (Descendente) N-S				
Km Inicio	Km Final	Huella Izquierda (m/km)	Huella Derecha (m/km)	Promedio I, D (m/km)	Km Inicio	Km Final	Huella Izquierda (m/km)	Huella Derecha (m/km)	Promedio I, D (m/km)
k0,+000	k0,+010	8,10	7,76	7,93	k0,+000	k0,+010	9,18	20,71	14,95
k0,+010	k0,+020	10,14	9,61	9,88	k0,+010	k0,+020	2,03	16,10	9,07
k0,+020	k0,+030	19,40	18,20	18,80	k0,+020	k0,+030	5,31	24,21	14,76
k0,+030	k0,+040	42,94	28,82	35,88	k0,+030	k0,+040	9,35	23,37	16,36
k0,+040	k0,+050	33,19	27,31	30,25	k0,+040	k0,+050	9,64	18,07	13,86
k0,+050	k0,+060	46,79	43,37	45,08	k0,+050	k0,+060	7,35	24,27	15,81
k0,+060	k0,+070	32,80	20,99	26,90	k0,+060	k0,+070	6,68	17,18	11,93
k0,+070	k0,+080	6,66	12,10	9,38	k0,+070	k0,+080	5,98	9,49	7,74
k0,+080	k0,+090	4,61	9,43	7,02	k0,+080	k0,+090	4,98	7,15	6,07
k0,+090	k0,+100	22,96	21,26	22,11	k0,+090	k0,+100	9,18	12,55	10,87
k0,+100	k0,+110	15,53	24,55	20,04	k0,+100	k0,+110	7,13	15,63	11,38
k0,+110	k0,+120	10,40	12,77	11,59	k0,+110	k0,+120	8,59	11,21	9,90
k0,+120	k0,+130	21,29	12,73	17,01	k0,+120	k0,+130	3,45	11,47	7,46
k0,+130	k0,+140	18,60	18,86	18,73	k0,+130	k0,+140	7,07	27,41	17,24
k0,+140	k0,+150	12,35	14,36	13,36	k0,+140	k0,+150	9,81	18,40	14,11
k0,+150	k0,+160	12,36	13,45	12,91	k0,+150	k0,+160	8,40	7,40	7,90
k0,+160	k0,+170	10,72	7,81	9,27	k0,+160	k0,+170	0,49	6,78	3,64
k0,+170	k0,+180	11,68	10,69	11,19	k0,+170	k0,+180	7,46	10,27	8,87
k0,+180	k0,+190	5,99	9,63	7,81	k0,+180	k0,+190	9,79	6,87	8,33
k0,+190	k0,+200	8,93	8,80	8,87	k0,+190	k0,+200	4,48	6,93	5,71
k0,+200	k0,+210	4,49	5,14	4,82	k0,+200	k0,+210	6,99	5,18	6,09
k0,+210	k0,+220	22,32	21,78	22,05	k0,+210	k0,+220	7,98	8,99	8,49
k0,+220	k0,+230	13,47	12,43	12,95	k0,+220	k0,+230	2,56	26,67	14,62
k0,+230	k0,+240	8,96	8,25	8,61	k0,+230	k0,+240	9,08	9,61	9,35
k0,+240	k0,+250	5,74	8,20	6,97	k0,+240	k0,+250	1,83	8,89	5,36
k0,+250	k0,+260	14,70	7,90	11,30	k0,+250	k0,+260	6,33	7,46	6,90
k0,+260	k0,+270	23,30	28,30	25,80	k0,+260	k0,+270	7,19	14,00	10,60
k0,+270	k0,+280	11,68	14,80	13,24	k0,+270	k0,+280	6,70	40,23	23,47
k0,+280	k0,+290	6,65	8,73	7,69	k0,+280	k0,+290	6,28	5,96	6,12
k0,+290	k0,+300	20,91	12,72	16,82	k0,+290	k0,+300	7,49	5,35	6,42
k0,+300	k0,+310	24,18	27,80	25,99	k0,+300	k0,+310	1,35	5,71	3,53
k0,+310	k0,+320	18,02	17,69	17,86	k0,+310	k0,+320	7,02	6,83	6,93
k0,+320	k0,+330	13,45	12,10	12,78	k0,+320	k0,+330	8,75	6,80	7,78
k0,+330	k0,+340	7,42	8,87	8,15	k0,+330	k0,+340	0,24	7,98	4,11
k0,+340	k0,+350	17,16	21,84	19,50	k0,+340	k0,+350	1,89	13,13	7,51
k0,+350	k0,+360	10,54	10,10	10,32	k0,+350	k0,+360	3,16	22,16	12,66
k0,+360	k0,+370	7,89	10,71	9,30	k0,+360	k0,+370	8,64	36,07	22,36
k0,+370	k0,+380	12,74	12,48	12,61	k0,+370	k0,+380	8,00	24,62	16,31
k0,+380	k0,+390	9,17	8,11	8,64	k0,+380	k0,+390	8,41	6,73	7,57
k0,+390	k0,+400	7,62	7,44	7,53	k0,+390	k0,+400	4,50	6,98	5,74
k0,+400	k0,+410	9,40	8,28	8,84	k0,+400	k0,+410	5,05	12,96	9,01
k0,+410	k0,+420	15,18	33,55	24,37	k0,+410	k0,+420	2,54	10,95	6,75
k0,+420	k0,+430	12,55	13,70	13,13	k0,+420	k0,+430	3,30	26,74	15,02
k0,+430	k0,+440	8,00	5,98	6,99	k0,+430	k0,+440	8,63	16,04	12,34
k0,+440	k0,+450	4,65	6,50	5,58	k0,+440	k0,+450	8,68	12,47	10,58
k0,+450	k0,+460	12,87	8,31	10,59	k0,+450	k0,+460	6,42	6,57	6,50
k0,+460	k0,+470	16,65	6,41	11,53	k0,+460	k0,+470	9,88	9,85	9,87
k0,+470	k0,+480	10,94	11,91	11,43	k0,+470	k0,+480	8,59	13,94	11,27
k0,+480	k0,+490	20,85	23,81	22,33	k0,+480	k0,+490	1,02	17,34	9,18
k0,+490	k0,+500	7,76	10,52	9,14	k0,+490	k0,+500	0,39	17,83	9,11

Fuente: Elaboración propia.

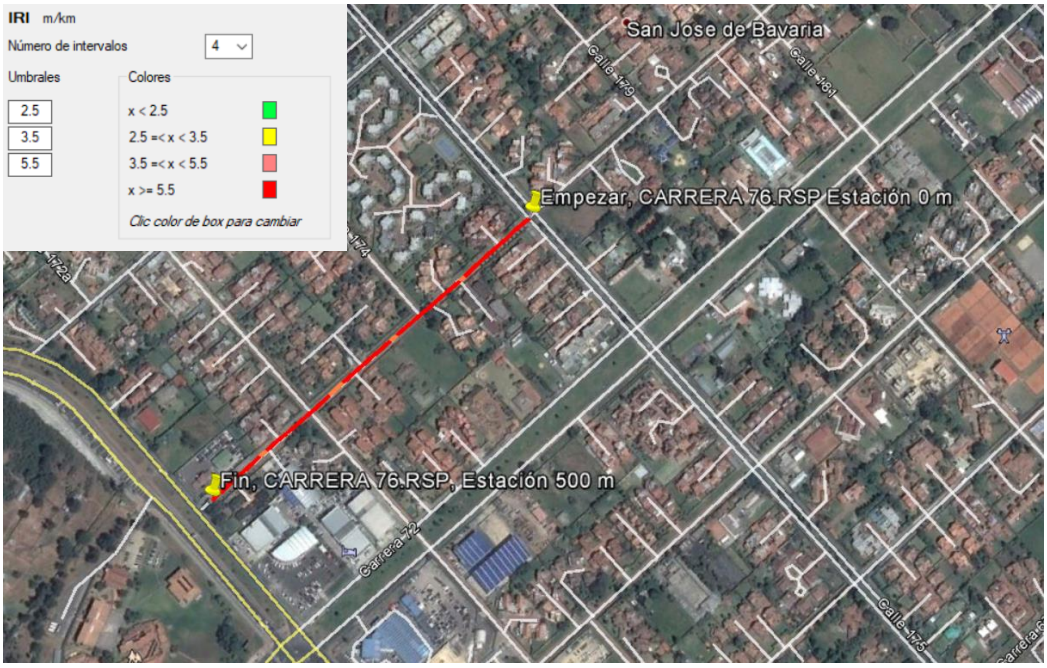
Gráfico 2. IRI promedio por carril cada 10m



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 19 muestra gráficamente los valores obtenidos sobre el tramo evaluado.

Figura 19. Sectorización resultados de IRI



Fuente: Elaboración propia

9.2 Evaluación estructural

9.2.1 Identificación de espesores

Del análisis y procesamiento de la información de radargramas se obtuvieron los resultados de espesores de la estructura de pavimento y el valor de la constante dieléctrica del material identificado.

Tabla 36. Espesores y constante dieléctrica carril ascendente (Sur-Norte)

DIAGNÓSTICO DE GEORADAR (GPR)									
	Desde	**Hasta**	**Longitud (m)**	**Adoquín (m)**	**Constante dieléctrica (adimens.)**	**Granular 1 (m)**	**Constante dieléctrica (adimens.)**	**Granular 2 (m)**	**Constante dieléctrica (adimens.)**
Sentido Sur - Norte	K0+000	K0+050	50	0,10	5.21	0,17	6.70	0,21	9.38
	K0+050	K0+100	50	0,10		0,18		0,22	
	K0+100	K0+150	50	0,09		0,20		0,19	
	K0+150	K0+200	50	0,09		0,21		0,21	
	K0+200	K0+250	50	0,10		0,18		0,26	
	K0+250	K0+300	50	0,10		0,18		0,25	
	K0+300	K0+350	50	0,10		0,20		0,25	
	K0+350	K0+400	50	0,09		0,21		0,26	
	K0+400	K0+450	50	0,09		0,23		0,24	
	K0+450	K0+500	50	0,09		0,22		0,23	
PROMEDIO				0,10		0,20		0,23	

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3. Espesores estructura de pavimento articulado carril ascendente (Sur-Norte)

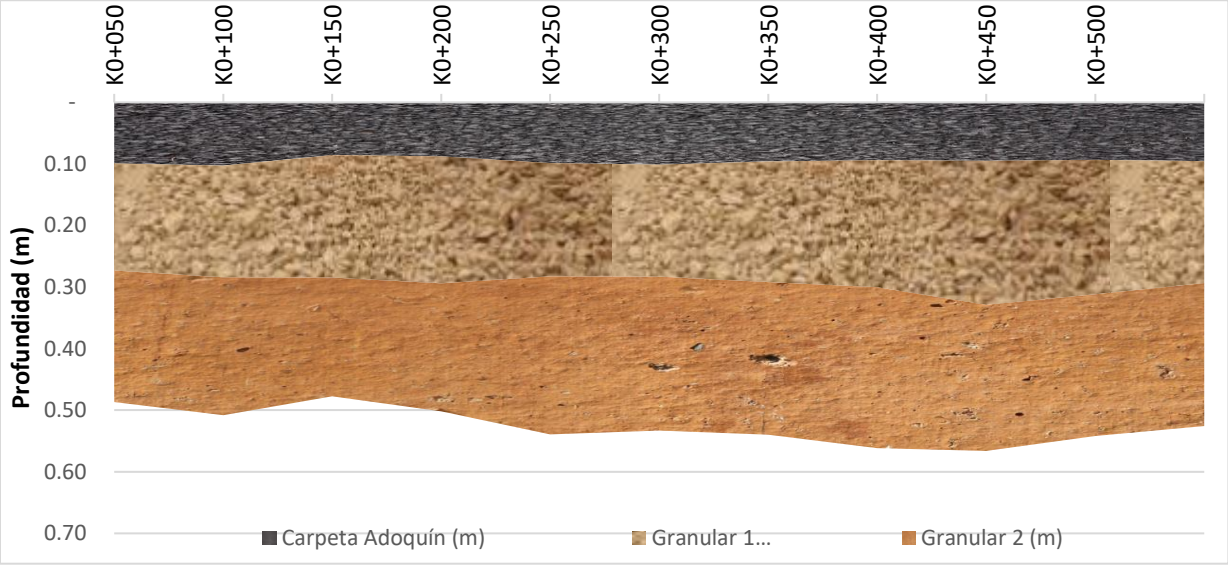
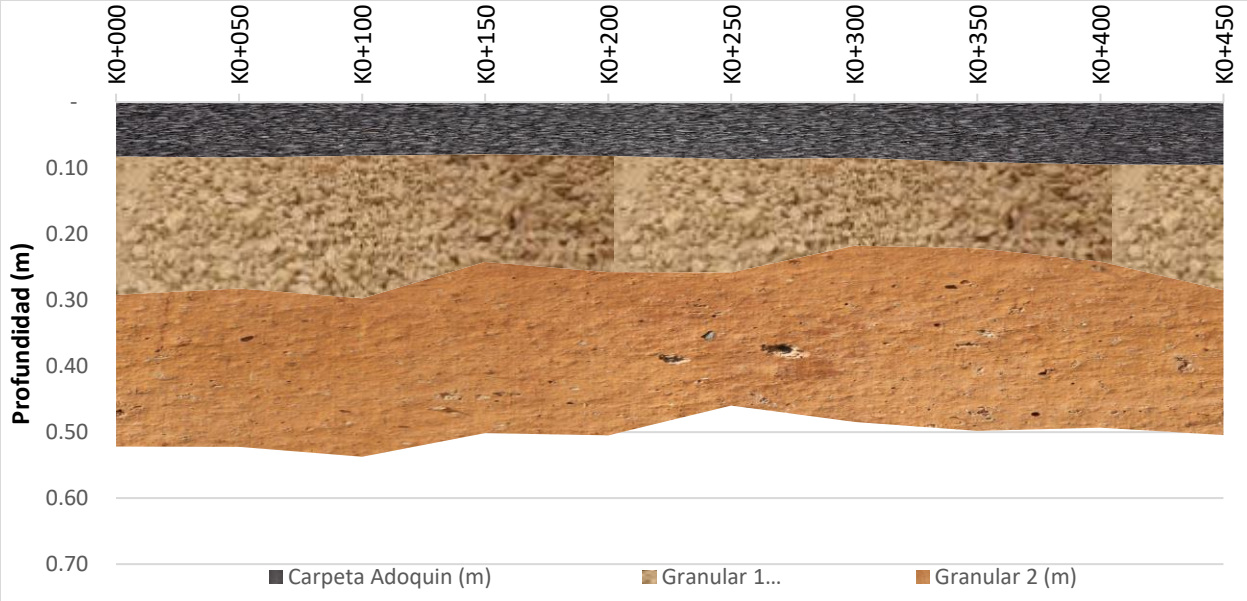


Tabla 37. Espesores y constante dieléctrica carril descendente (Norte - Sur)

DIAGNÓSTICO DE GEORADAR (GPR)									
	Desde	**Hasta**	**Longitud (m)**	**Adoquín (m)**	**Constante dieléctrica (adimens.)**	**Granular 1 (m)**	**Constante dieléctrica (adimens.)**	**Granular 2 (m)**	**Constante dieléctrica (adimens.)**
Sentido Norte - Sur	K0+000	K0+050	50	0,08	6.26	0,21	7.69	0,23	7.68
	K0+050	K0+100	50	0,08		0,20		0,24	
	K0+100	K0+150	50	0,08		0,22		0,24	
	K0+150	K0+200	50	0,08		0,16		0,26	
	K0+200	K0+250	50	0,08		0,18		0,25	
	K0+250	K0+300	50	0,09		0,17		0,20	
	K0+300	K0+350	50	0,08		0,13		0,27	
	K0+350	K0+400	50	0,09		0,13		0,28	
	K0+400	K0+450	50	0,09		0,15		0,25	
	K0+450	K0+500	50	0,10		0,19		0,22	
PROMEDIO				0,12		0,17		0,24	

Fuente: Elaboración propia.

Grafico 4. Espesores estructura de pavimento articulado carril descendente (Norte - Sur)

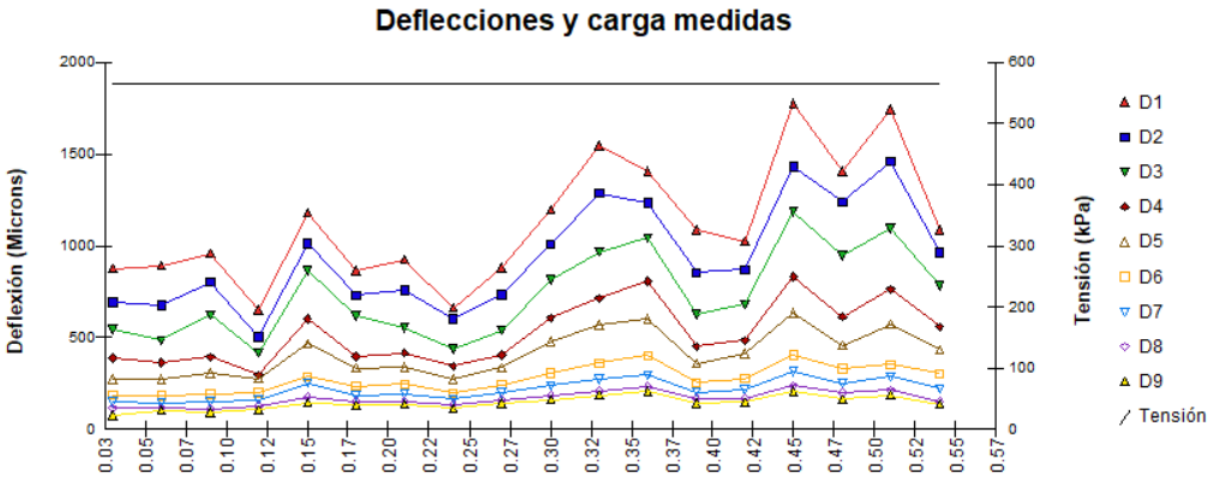


En el anexo H – se muestran los radargramas obtenidos de las mediciones de campo y el procesamiento realizado mediante el software Radan 7.

9.2.2 Deflectómetro de impacto

De acuerdo con las mediciones realizadas en campo, se obtuvieron las deflexiones mostradas en el Grafico 5, el cual representa los valores obtenidos para los nueve (9) geófonos en cada uno de los puntos evaluados a lo largo del tramo.

Grafico 5. Deflexiones obtenidas para los nueve geófonos

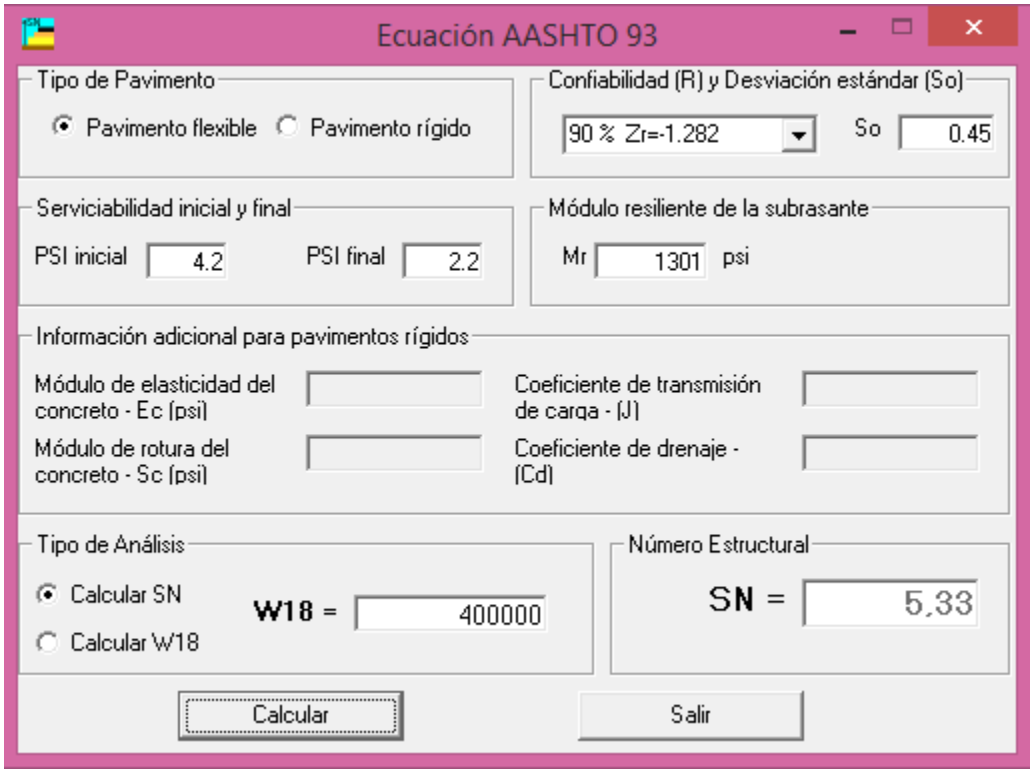


Fuente: Elaboración propia – Elmod 6

9.2.2.1 Calculo $SN_{Efectivo}$ y $SN_{Requerido}$

Con la evaluación estructural adelantada mediante la implementación del deflectómetro de impacto y procesamiento mediante retrocálculo de módulos por medio de las deflexiones obtenidas, en el anexo J se muestran los resultados obtenidos de las variables estructurales como: modulo resiliente de la subrasante, modulo efectivo y el numero estructural efectivo;

Figura 20. Calculo número estructural requerido



Fuente: Software AASHTO-93

De acuerdo con el SNrequerido obtenido determinamos la diferencia entre el SNefectivo, la Tabla 38 muestra los resultados obtenidos de acuerdo con los puntos evaluados dentro del tramo.

Tabla 38. Comparación SN_{Req} Vs. SN_{eff}

Abscisa	SN Requerido	SN Efectivo	ΔSNrq - Sneff
k0,+010	5,33	4,05	1,28
k0,+040	5,33	4,02	1,31
k0,+070	5,33	3,91	1,42
k0,+100	5,33	4,67	0,66
k0,+130	5,33	3,73	1,60
k0,+160	5,33	4,18	1,15
k0,+190	5,33	4,07	1,26
k0,+220	5,33	4,66	0,67
k0,+250	5,33	4,14	1,19

k0,+280	5,33	3,70	1,63
k0,+310	5,33	3,36	1,97
k0,+340	5,33	3,56	1,77
k0,+370	5,33	3,78	1,55
k0,+400	5,33	3,96	1,37
k0,+430	5,33	3,21	2,12
k0,+460	5,33	3,51	1,82

Figura 21. Deflexiones obtenidas en D0 en el tramo de 500 metros

Fuente: propia Software ELMOD

10. Análisis de resultados

- ✓ Se realizó el levantamiento de deterioros mediante la inspección visual y automatizada bajo la norma ASTM E2840-11 con el fin de calificar y categorizar los once (11) tipos de deterioros en la sección determinada. Para la evaluación visual funcional se encontró que los daños más recurrentes fueron el No. 1 referente a adoquines dañados, y el No. 2 denominado depresiones, y para el caso contrario, los deterioros que no comprenden grandes áreas de afectación son el No. 8 – Perdida de arena de junta y el No. 9 - Perdida de adoquines.

  Para la evaluación automatizada se encontraron dos principales diferencias, la primera tiene incidencia en las cantidades de deterioros calculados por cada una de las unidades, debido que se identificaron más deterioros por medio de este método, y por otro lado, se identificaron para ocho (8) unidades el deterioro No. 4 – Ancho excesivo de junta, que comparado con el método visual solo se encontró en una unidad. Finalmente, se mantienen los mismos daños recurrentes y no recurrentes identificados en la inspección visual.

- ✓ El índice de rugosidad es una medida del comportamiento funcional la cual fue calculada mediante el perfilómetro láser arrojando como resultado en la sección evaluada una condición mala encontrando valores mayores a 5.5 según la escala estándar del Banco Mundial, aunque en el abscisa K0+160 al k0+220 se encontró una condición regular entre los rangos 3.5 y 5.5. Esto traduce que los diferentes usuarios perciben una sensación poco cómoda para la circulación y adicional, se genera un aumento en los costos de operación de los vehículos.

- ✓ Mediante el equipo georadar se calcularon los espesores de las diferentes capas de la estructura del pavimento las cuales arrojaron en promedio 11cm para la capa de adoquín, 19cm para la capa granular No. 1 y 23cm para la capa granular No. 2. Por otro lado, el software Radan 7 calcula las constantes dieléctricas para las diferentes capas, en donde arrojo una constante de 5.21 (sentido S-N) y 6.26 (sentido N-S) para la capa de adoquín, para la capa granular No. 1 fue de 6.70 (sentido S-N) y 7.69 (sentido N-S) y finalmente, para la capa granular No. 2 arrojó como resultado 9.38 (sentido S-N) y 7.68 (sentido N-S), al comparar estas

constantes se identifica que coinciden con las constantes dieléctricas de los materiales referentes en la tabla No. 4.

- ✓ Para realizar un correcto análisis de los resultados arrojados con el equipo georadar, es de gran importancia realizar un exploración geotécnica con el objetivo de calcular los espesores y de esta manera, calibrar y realizar una comparación directa de los materiales encontrados.

11. Conclusiones

1) El proceso de evaluación de los diferentes deterioros mediante la inspección visual presenta un mayor grado de incertidumbre comparado con el método automatizado, debido que la valoración visual depende del criterio del inspector, donde es alta la probabilidad de ignorar algún tipo de deterioro y en especial con algunas tipologías que son dispendiosas al momento de medir, por otro lado, el rendimiento es bajo debido a las condiciones de trabajo, el margen de error al momento de medir el grado de severidad es alto debido a las herramientas que se usaron y finalmente, se debe emplear un plan de manejo de tránsito con el fin de realizar adecuadamente las actividades.

Mediante la evaluación automatizada, el levantamiento de deterioros se realizó en un menor tiempo, se disminuyó el margen de error, y se presentó una mayor precisión en la identificación y medición de los diferentes tipos de deterioros.

2) El cálculo del PCI de la sección del pavimento analizado mediante el levantamiento visual de deterioros arrojó un valor de 58.3 el cual se clasifica como bueno según la escala de valoración estandarizada. Por otro lado, por medio del vehículo multifuncional, se realizó el levantamiento automatizado y se elaboró el respectivo análisis arrojando un valor de 42.3 para el PCI clasificando la estructura del pavimento como regular.

Al comparar ambos métodos se identificó que la evaluación automatizada es más acertada, debido que se asemeja más a la realidad, ya que la sensación que percibe el usuario es de inconformidad al transitar por el tramo evaluado; la diferencia entre los resultados obtenidos es de 16 puntos, lo que indica que se omitieron algunos deterioros durante la recolección de datos en terreno mediante la inspección visual causando así la desvalorización del estado funcional.

3) Las principales ventajas del uso de equipos automatizados para realizar evaluaciones estructurales y funcionales se basan en la recolección de la información rápida y confiable, generando grandes ahorros en función del tiempo de dedicación, y adicional, el procesamiento de dicha información tiene un rendimiento muy alto gracias al análisis de resultados mediante el software.

Por otro lado, la principal desventaja del uso de estos equipos, son las condiciones climáticas mínimas que se exige para realizar el levantamiento de la información, debido que la sección a evaluar no puede encontrarse húmeda, ya que la onda se dispersa y no se logra sintetizar correctamente la información.

Finalmente, cabe aclarar que los costos asociados al uso de estos equipos no tienen punto de comparación con el ahorro en tiempo de evaluación y procesamiento de la información recolectada.

4) De acuerdo a los valores obtenidos con la evaluación deflectométrica se logró identificar que el tramo evaluado no cuenta con una buena estructura debido que se obtuvieron elevadas deflexiones, este resultado nos presenta posibles causas derivadas a la calidad de los materiales o espesores. Complementando lo anterior, el análisis del retrocálculo nos determinó un módulo característico de una arcilla blanda para la subrasante y un número estructural efectivo promedio de 3.9, comparando este SN con el requerido de 5.33, se considera que el tramo presenta fallas estructurales.

5) De acuerdo al análisis realizado respecto a la evaluación funcional y estructural, se determinó que la estructura del pavimento presenta un avanzado grado de deterioro, por lo cual se requiere acciones de reconstrucción y mantenimiento periódico con el fin de prolongar la vida útil del pavimento.

12. Recomendaciones

- ✓ Mediante la identificación, calificación y categorización de los diferentes deterioros en el tramo estudiado, identificamos varios tipos de deterioros que no comprende la norma ASTM E2840-11, en los cuales se encuentran: Fracturamiento de confinamiento externo e interno, y escalonamiento entre adoquines y confinamiento. Dicho esto, se sugiere realizar una comparación de la clasificación de los deterioros entre la norma internacional y los tipos de deterioros que propone el artículo denominado “Patología de pavimentos articulados” de la revista Ingenierías Universidad de Medellín, la finalidad de este proceso es analizar y proponer una nueva codificación de deterioros en los cuales se contemplen todas las patologías.

- ✓ Teniendo en cuenta la carencia de información referente al seguimiento, monitoreo y control de los diferentes daños o deterioros de la estructura de un pavimento articulado en Colombia, se recomienda comparar la metodología del cálculo del índice de la condición de un pavimento entre la norma ASTM y el artículo de patología. Con este análisis, se profundizaría la evaluación funcional de este tipo de pavimentos.

13. Referencias Bibliográficas

Higuera Sandoval , C. H., & Pacheco Mechán, O. F. (2010). Patología de pavimentos articulados. *Ingenierias Universidad Medellín, 9*(17), 75-97.

Higuera Sandoval, C. H. (2010). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras* (Vol. I). Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

International., A. (2015). *E2840 - 11: Standard Practice for Pavement Condition Index Surveys for Interlocking Concrete Roads and Parking Lots.* Filadelfia.

Rodríguez Velásquez , E. D. (05 de Octubre de 2009). *Slideshare*. Obtenido de https://es.slideshare.net/cesararruevinces/ici-180-41233639

Anexo A – Clasificación de deterioros

TIPO DE DETERIORO	CÓDIGO	UNIDAD DE MEDIDA
Adoquines dañados	1	m2
Depresiones	2	m2
Restricción de bordes dañado	3	ml
Ancho excesivo de junta	4	m2
Fallas o daños (Escalonamiento)	5	m2
Abultamiento	6	m2
Deslizamiento Horizontal	7	m2
Perdida/bombeo de arena de junta	8	m2
Perdida de adoquines	9	m2
Parches	10	m2
Ahuellamiento	11	m2

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Adoquines dañados	1	m2
Descripción	Mal estado de los adoquines representados mediante la presencia de grietas o astillas.		
Severidad	Nivel:	Descripción:	
	Baja (B)	Una o dos grietas sin separación, virutas o astillas en los adoquines	
	Media (M)	Avanzadas grietas sin separación, astillamiento o desprendimiento en los adoquines pero sin desintegrarse	
	Alta (A)	Adoquines agrietados en varias piezas o desintegrados por las grietas y astillas.	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Depresiones	2	m2
Descripción	Las depresiones son zonas de la superficie del pavimento que tienen áreas más bajas que las áreas circundantes.		
Severidad	Nivel:	Profundidad máxima de la depresión:	
	Baja (B)	3/16 in. a 1/2 in. (5-13 mm)	
	Media (M)	1/2 a 1 in. (13-25 mm)	
	Alta (A)	>1 in. (25 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Restricción de bordes dañado	3	ml
Descripción	Movimiento lateral del adoquín respecto al confinamiento.		
Severidad	Nivel:	Anchura de la junta:	
	Baja (B)	1/4 a 1/2 in. (6-13 mm)	
	Media (M)	3/8 a 1/4 in. (10-13 mm)	
	Alta (A)	>0,5 in. (13 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Ancho excesivo de junta	4	m2
Descripción	Ancho excesivo de la junta entre los adoquines.		
Severidad	Nivel:	Anchura de la junta:	
	Baja (B)	1/4 a 3/8 in. (6-10 mm)	
	Media (M)	3/8 a 1/2 in. (10-13 mm)	
	Alta (A)	>1/2 in. (13 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Fallas o daños (Escalonamiento)	5	m2
Descripción	Son áreas de la superficie en donde se observa una elevación de unos adoquines que difieren de los adoquines adyacentes.		
Severidad	Nivel:	Diferencia de altura:	
	Baja (B)	1/8 a 1/4 in. (3-6 mm)	
	Media (M)	1/4 a 3/8 in. (6-10 mm)	
	Alta (A)	>3/8 in. (10 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Abultamiento	6	m2
Descripción	Superficies del pavimento que tienen elevaciones comparado con las áreas colindantes.		
Severidad	Nivel:	Altura máxima:	
	Baja (B)	1/4 a 1/2 in. (6-13 mm)	
	Media (M)	1/2 a 1 in. (13-25 mm)	
	Alta (A)	>1 in. (25 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Deslizamiento Horizontal	7	m2
Descripción	Desplazamiento longitudinal del pavimento, principalmente presentado en las zonas de confinamiento.		
Severidad	Nivel:	Movimiento horizontal:	
	Baja (B)	1/4 a 1/2 in. (6-13 mm)	
	Media (M)	1/2 a 3/4 in. (13-20 mm)	
	Alta (A)	>3/4 in. (20 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Perdida/bombeo de arena de junta	8	m2
Descripción	Perdida de arena en las articulaciones de los adoquines.		
Severidad	Nivel:	Profundidad de la perdida de arena:	
	Baja (B)	<1/2 in. (13 mm)	
	Media (M)	1/2 a 1 in. (13-25 mm)	
	Alta (A)	>1 in. (25 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Perdida de adoquines	9	m2
Descripción	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos externos. En estados avanzados de deterioro, se presenta pérdida de material, permitiendo la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.		
Severidad	Nivel:	Profundidad de la perdida de arena:	
	Baja (B)	Adoquines individuales que faltan	
	Media (M)	Faltan dos o más adoquines y la calidad de marcha no se ve afectada	
	Alta (A)	Faltan 10 p más adoquines y se ve afectada la calidad de marcha	

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Parches	10	m2
Descripción	Es el deterioro y destrucción parcial o total de los confinamientos externos. En estados avanzados de deterioro, se presenta pérdida de material, permitiendo la incrustación de partículas y objetos extraños al pavimento.		

Severidad	Nivel:	Calidad del parche:
	Baja (B)	El parche se encuentra en buenas condiciones y la calidad de marcha no se ve afectada
	Media (M)	El parche se encuentra en regular estado y la calidad de marcha esta empezando a verse afectada
	Alta (A)	El parche se encuentra en malas condiciones y la calidad de marcha se ve afectada

Fuente: Elaboración propia.

TIPO DE DETERIORO	Ahuellamiento	11	m2
Descripción	Es el cambio brusco de nivel entre hiladas de adoquines.		
Severidad	Nivel:	Profundidad del ahuellamiento:	
	Baja (B)	1/4 a 1/2 in. (6-13 mm)	
	Media (M)	1/2 a 1 in. (13-25 mm)	
	Alta (A)	>1 in. (25 mm)	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo B – Registro fotográfico, inspección visual

Levantamiento fotográfico de los diferentes deterioros – Inspección visual:

Unidad 1

Unidad 2

Unidad 3

Unidad 4

Unidad 5

Unidad 6

Unidad 7

Unidad 8

Unidad 9

Anexo C – Formato y cálculo valor deducido (Manual)

E2840 – 11 (2015)

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT
ROADS AND PARKING LOTS
CONDITION SURVEY DATA SHEET FOR SAMPLE UNIT

BRANCH _____ DATE _____

SECTION _____ SAMPLE UNIT _____

SURVEYED BY _____ SAMPLE AREA (ft^2, m^2) _____

DISTRESS NUMBER AND TYPE

1. Damaged Pavers
2. Depressions
3. Edge Restraint
4. Excessive Joint Width
5. Faulting
6. Heave
7. Horizontal Creep
8. Joint Sand Loss/Pumping
9. Missing Pavers
10. Patching
11. Rutting

DISTRESS/ SEVERITY	QUANTITY				TOTAL	DENSITY (%)	DEDUCT VALUE

SKETCH

NOTES: _____

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 1

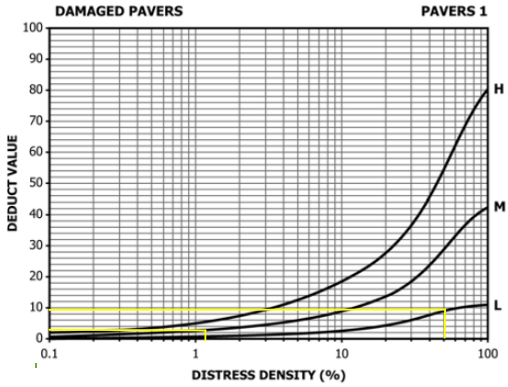


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

FIG. X3.5 Faulting (5)

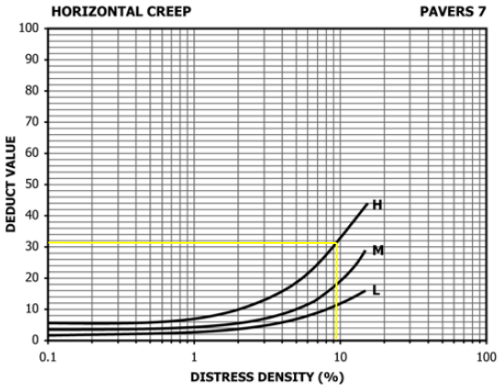


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 2

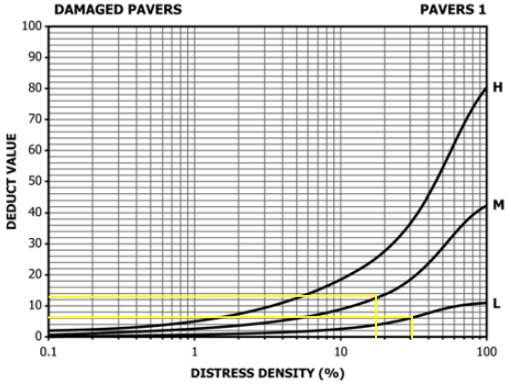


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

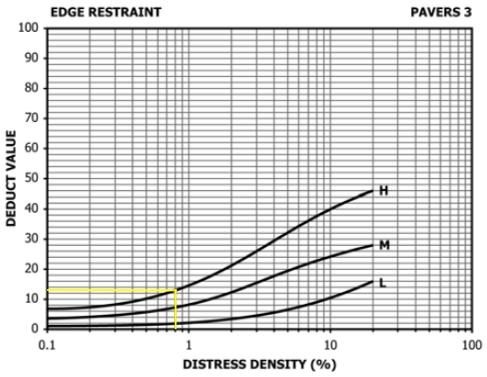


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

FIG. X3.5 Faulting (5)

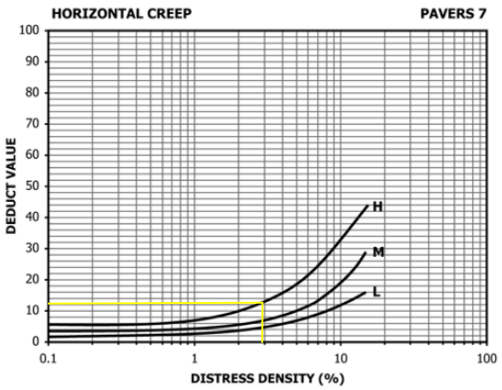


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

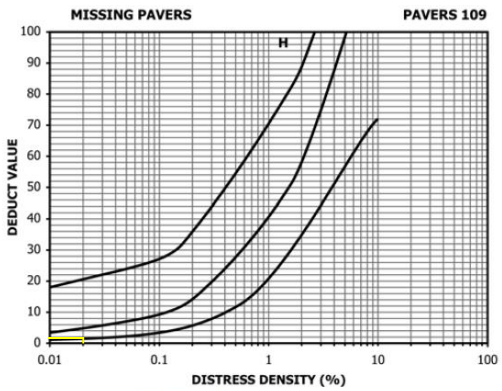


FIG. X3.9 Missing Pavers (9)

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 3

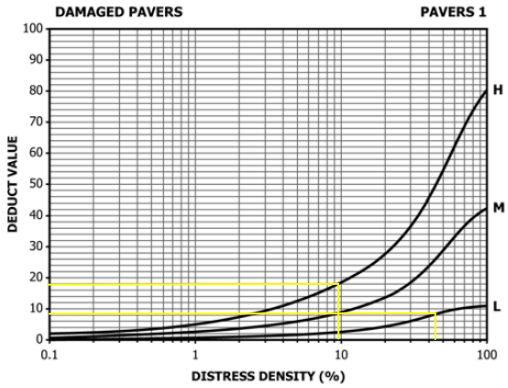


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

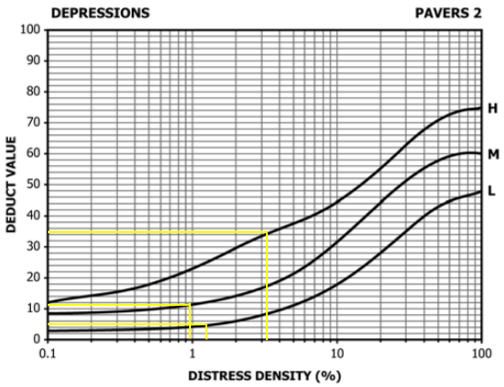


FIG. X3.2 Depressions (2)

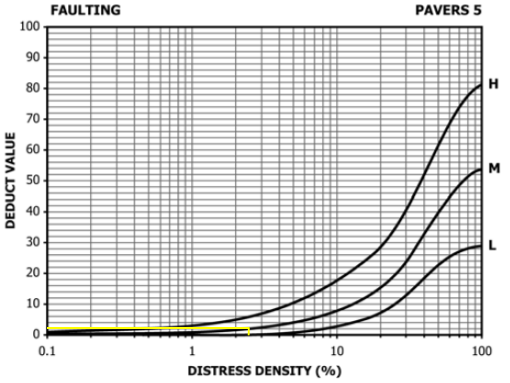


FIG. X3.5 Faulting (5)

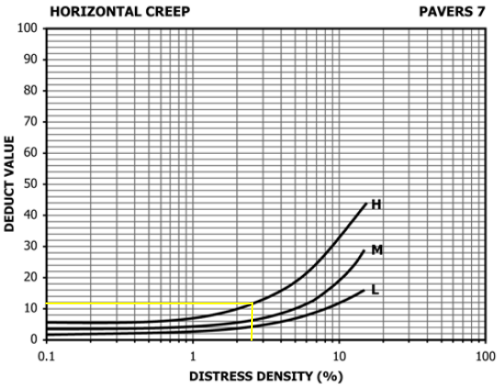


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 4

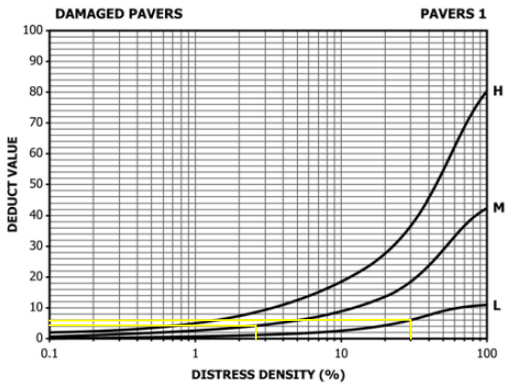


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

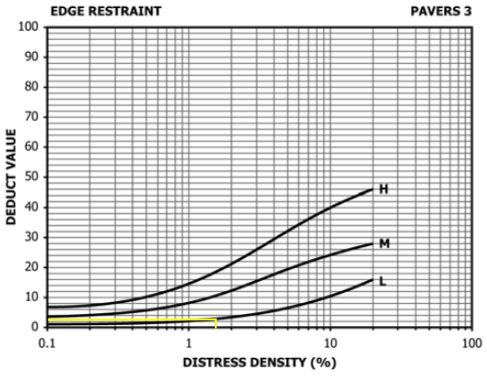


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

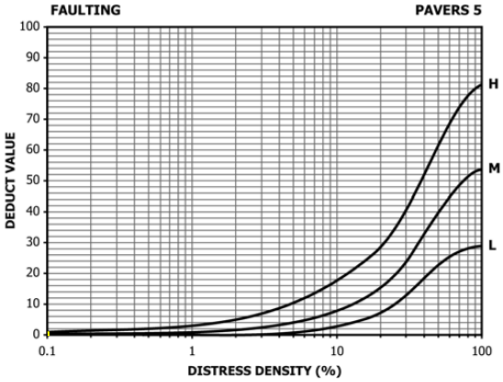


FIG. X3.5 Faulting (5)

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 5

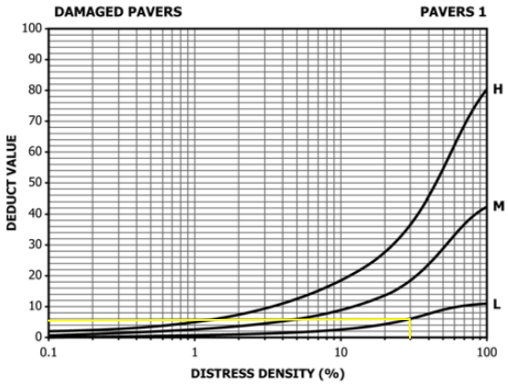


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

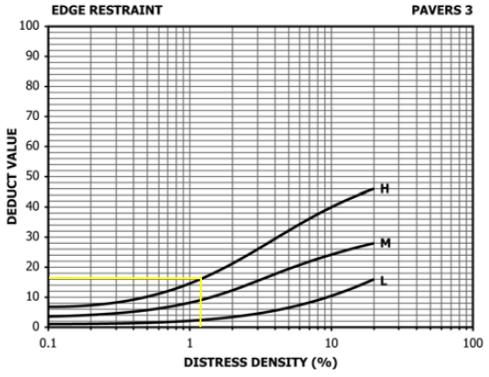


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

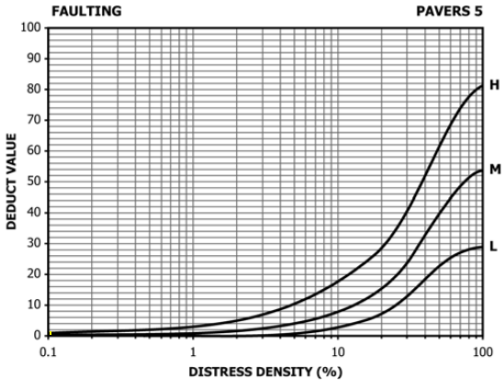


FIG. X3.5 Faulting (5)

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 6

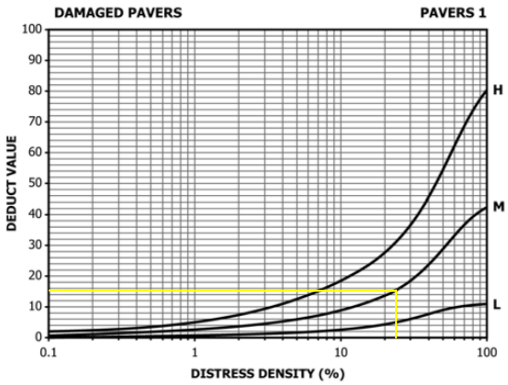


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

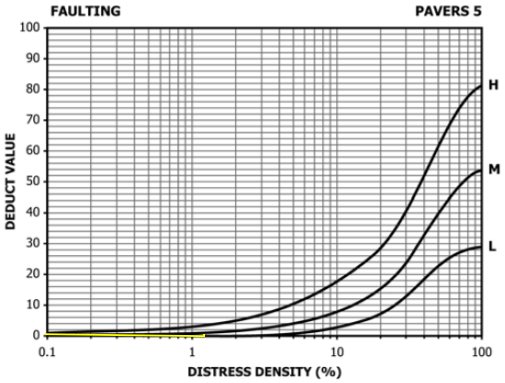


FIG. X3.5 Faulting (5)

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 7

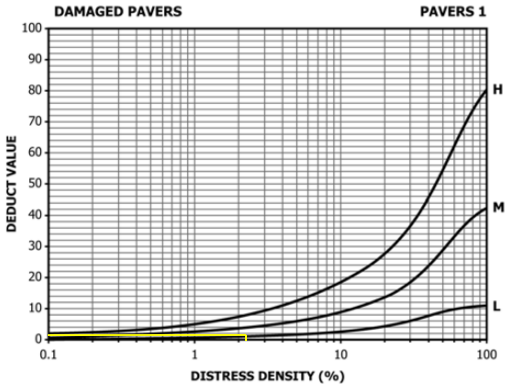


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

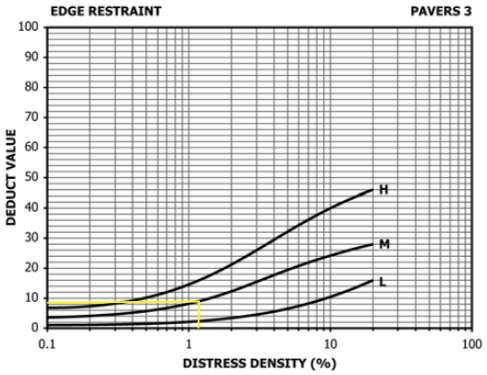


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

FIG. X3.6 Heave (6)

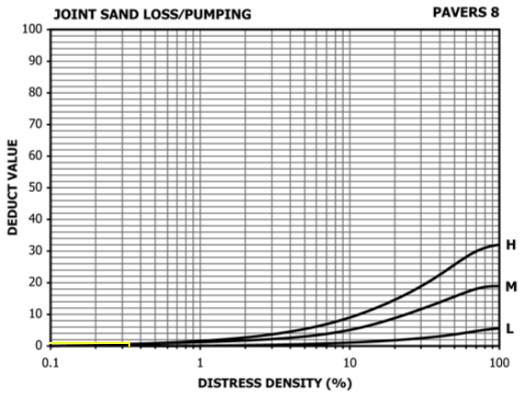


FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 8

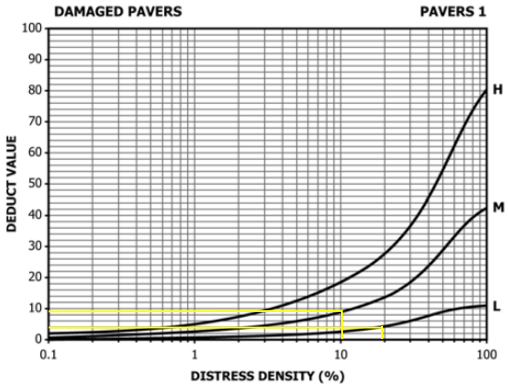


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

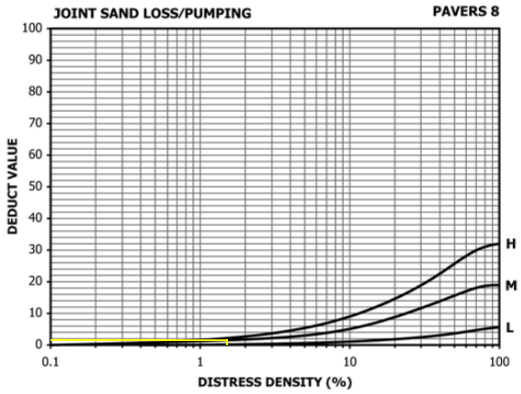


FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 9

FIG. X3.2 Depressions (2)

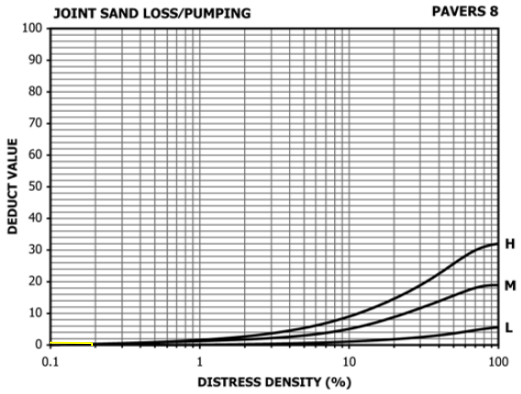


FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D – Cálculo del valor deducido corregido (CDV-Manual)

Unidad 1

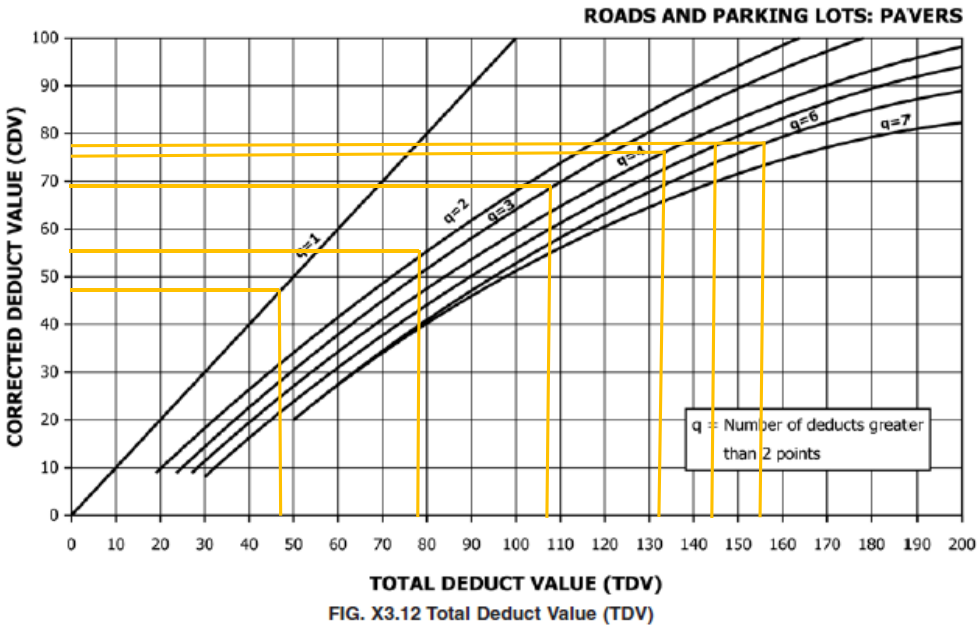


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 2

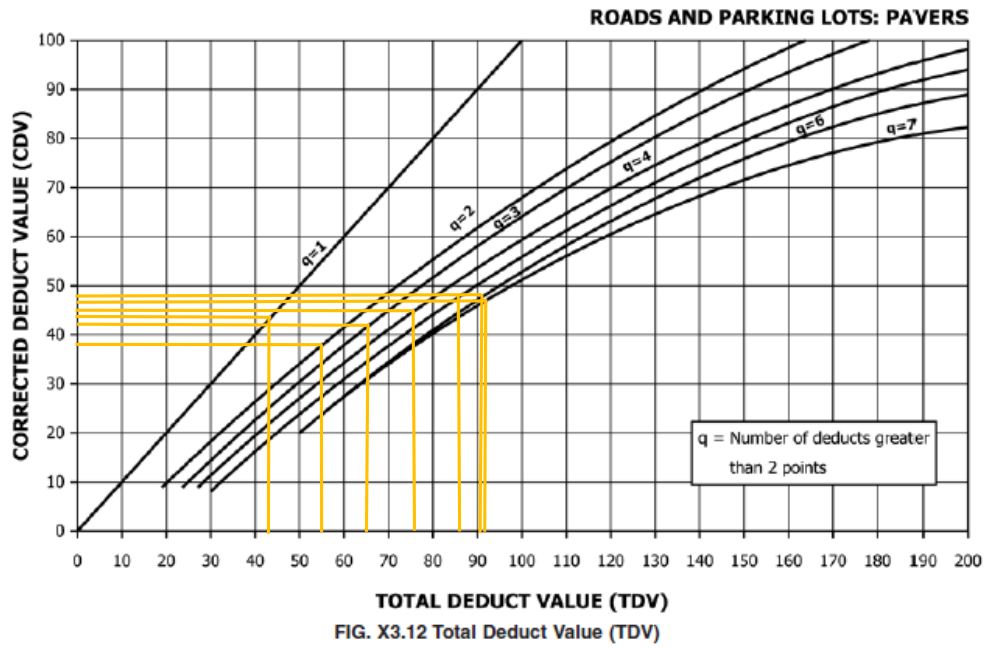


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 3

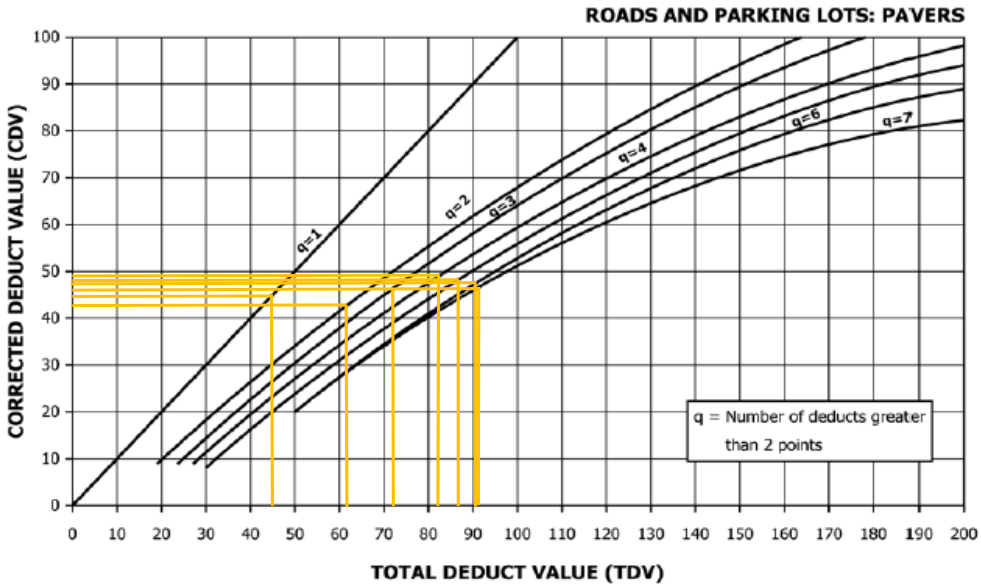


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 4

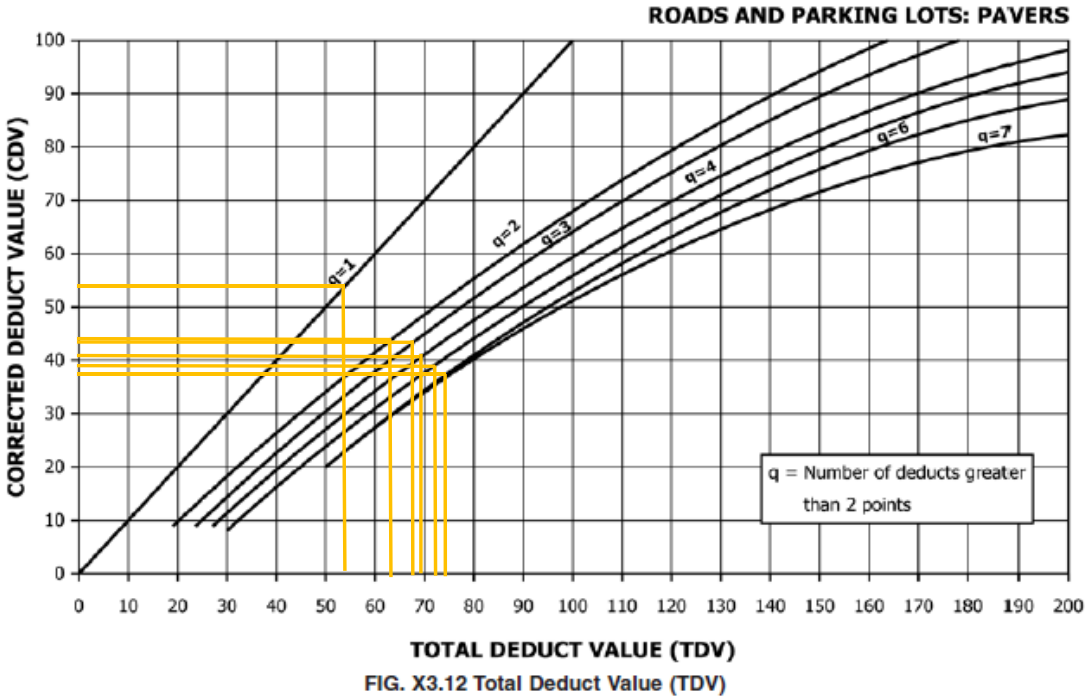


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 5

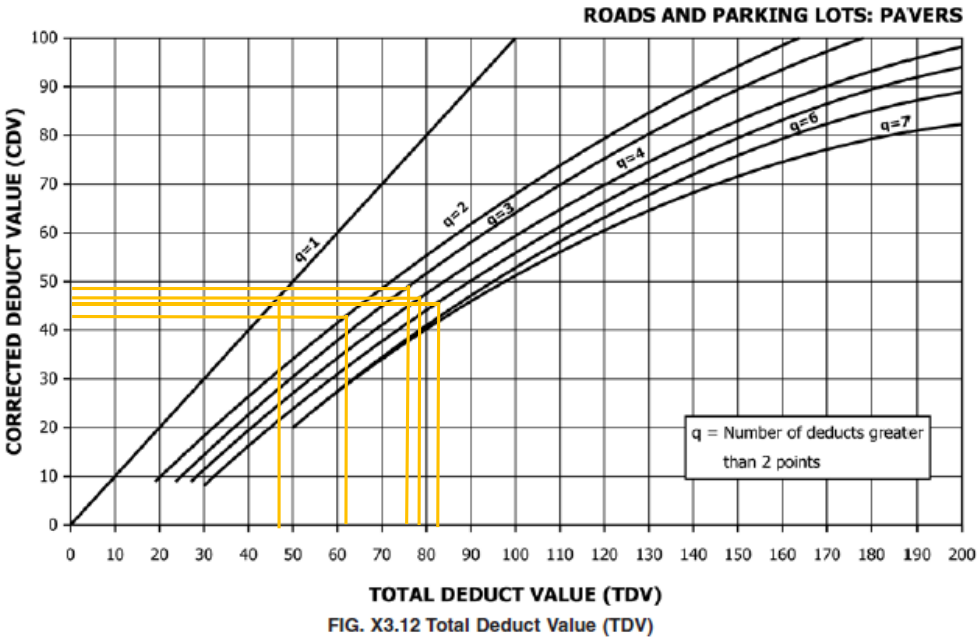


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 6

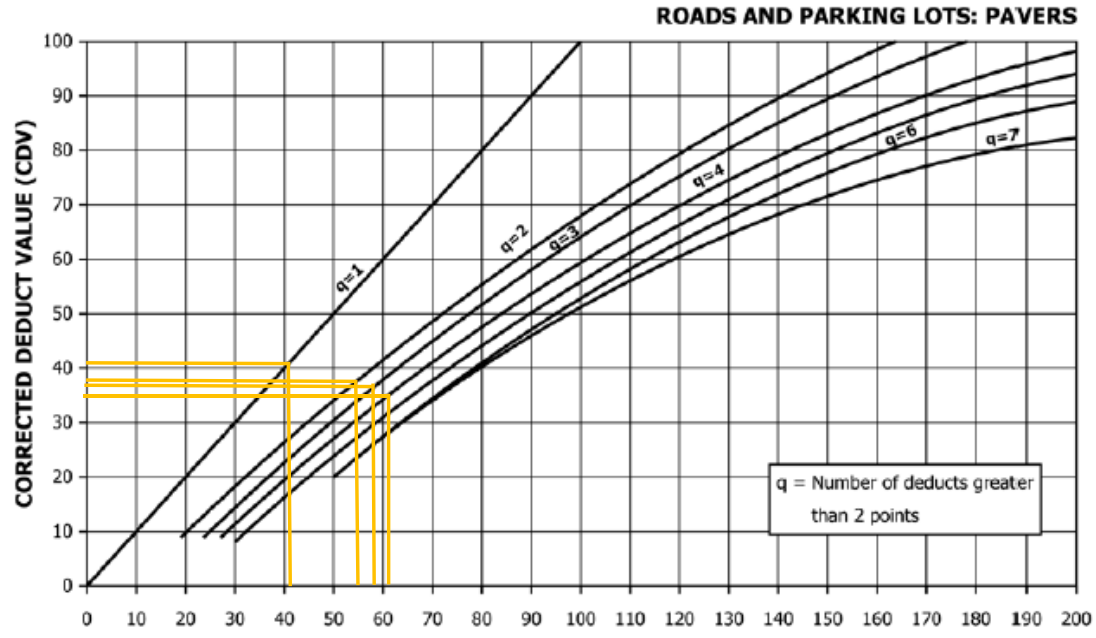


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 7

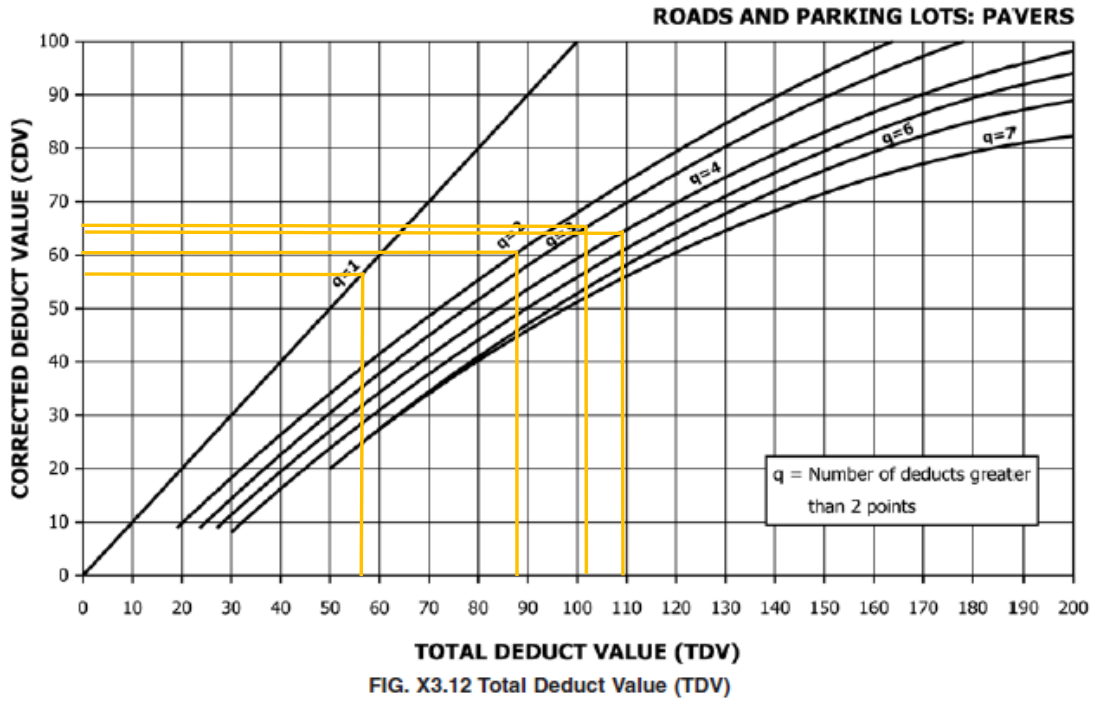


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 8

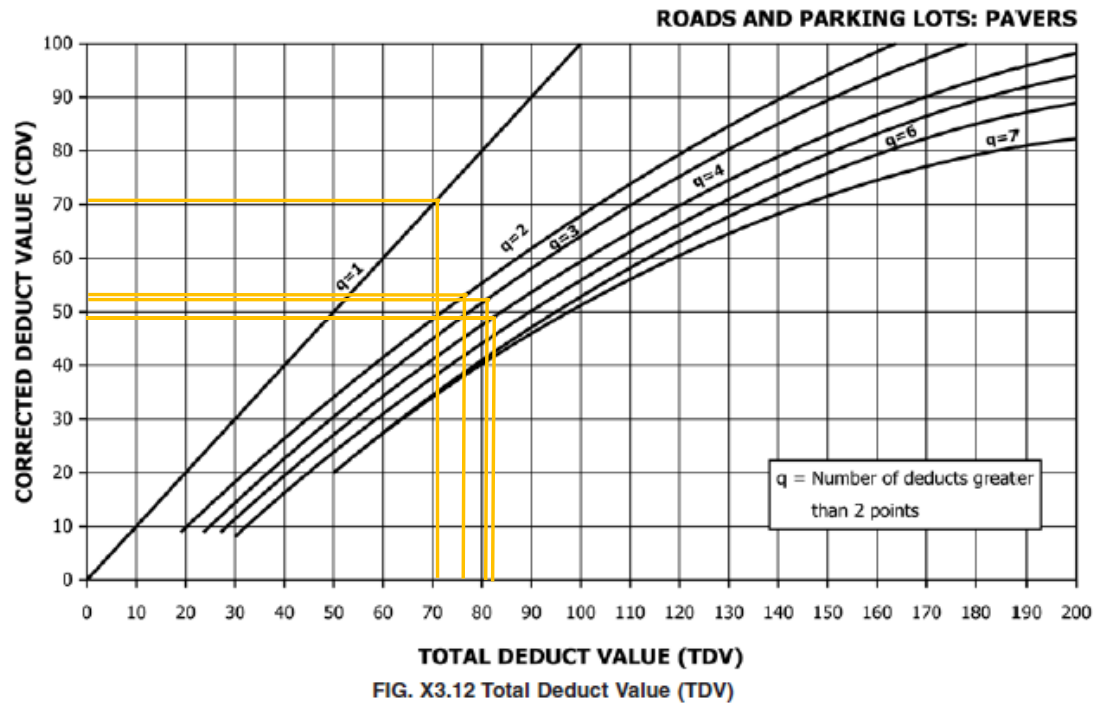


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 9

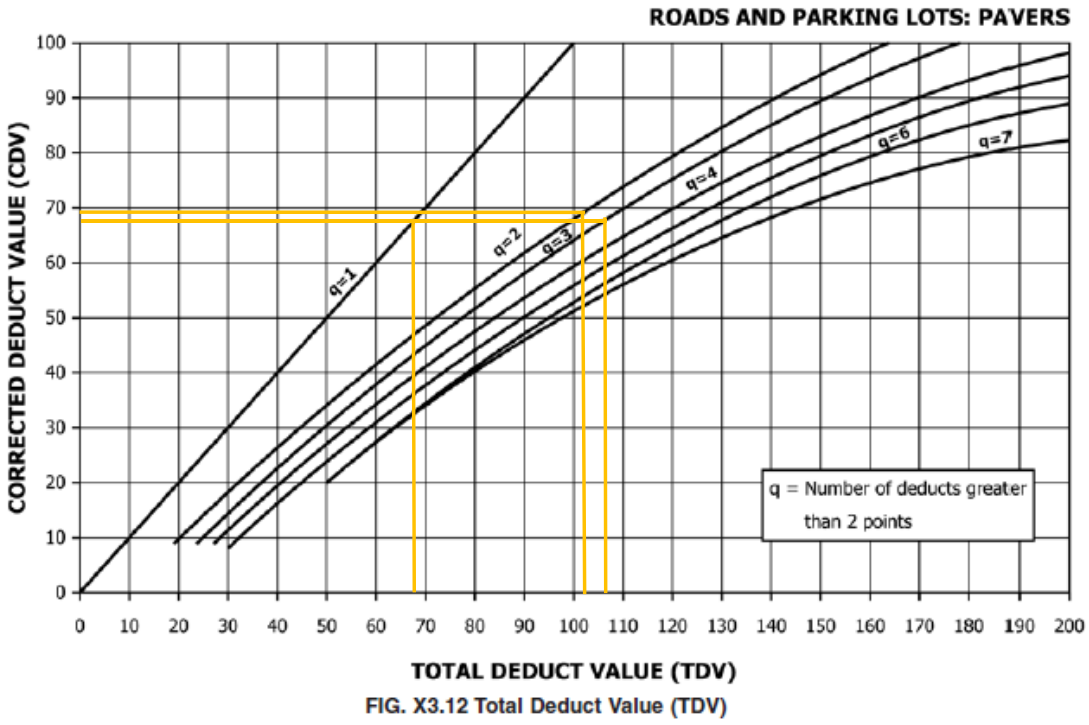


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Anexo E – Formato y cálculo valor deducido (Automatizado)

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 1

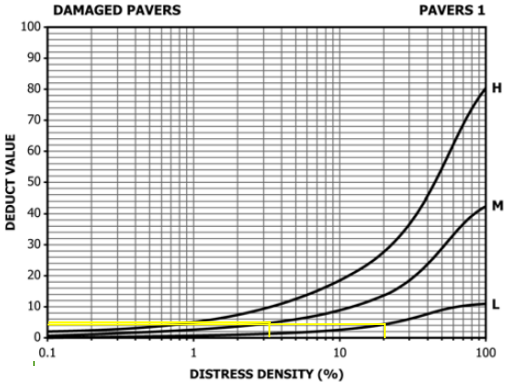


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

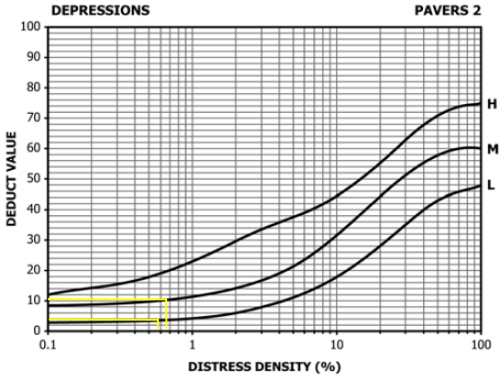


FIG. X3.2 Depressions (2)

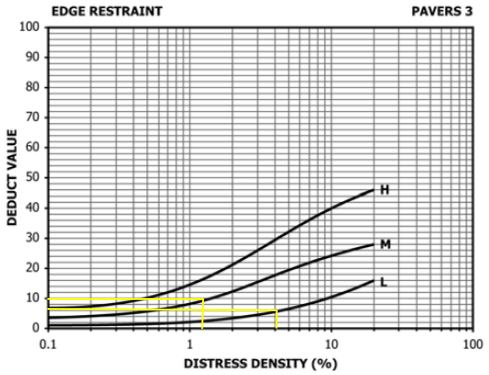


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

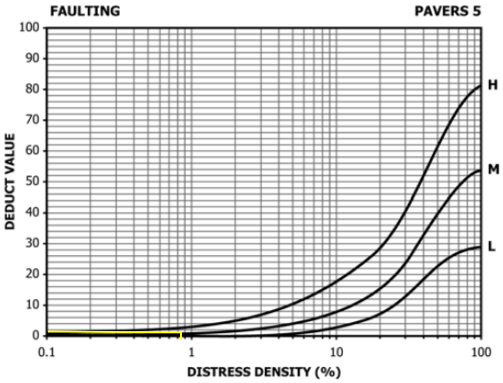


FIG. X3.5 Faulting (5)

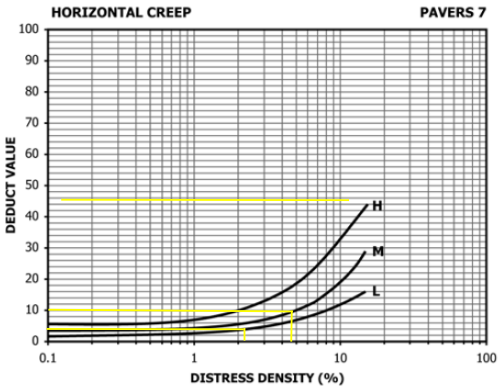


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 2

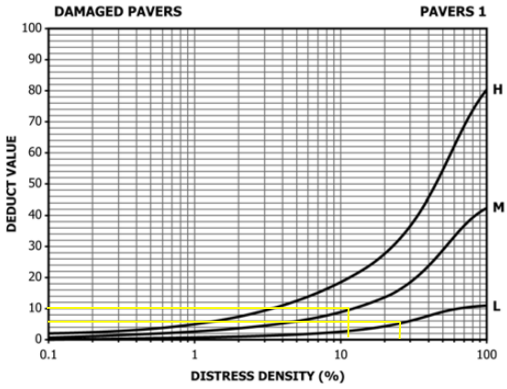


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

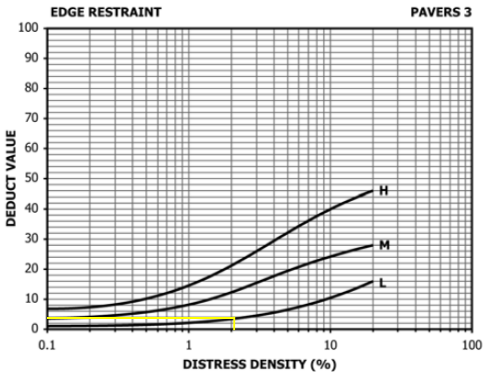


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

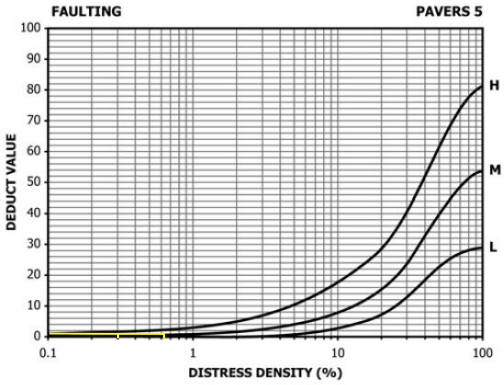


FIG. X3.5 Faulting (5)

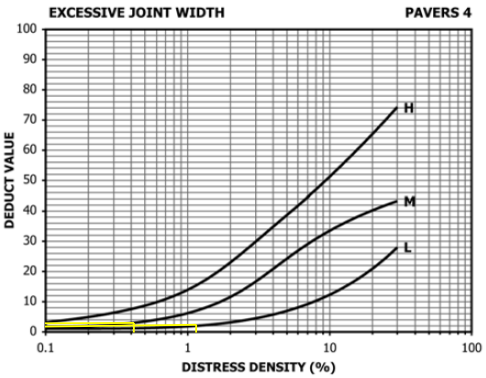


FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

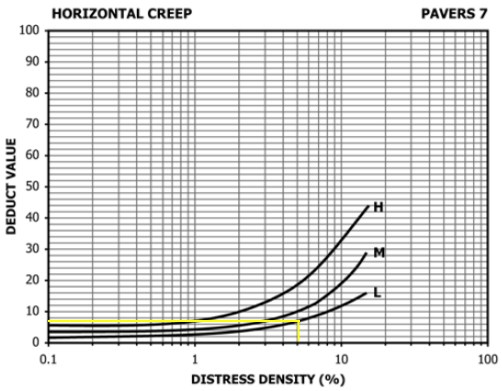


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 3

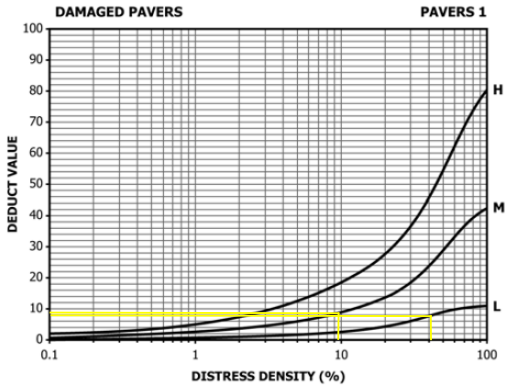


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

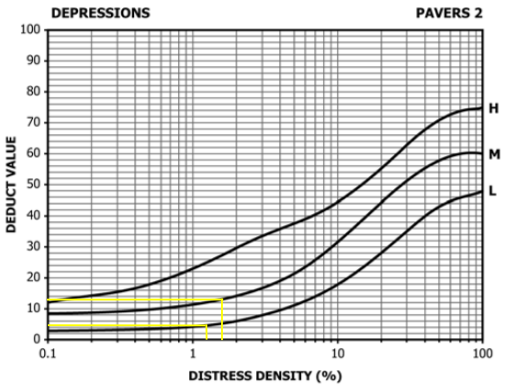


FIG. X3.2 Depressions (2)

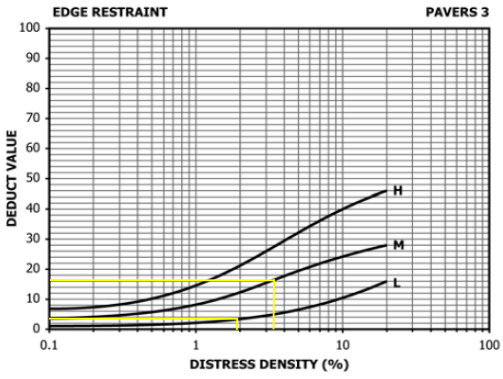


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

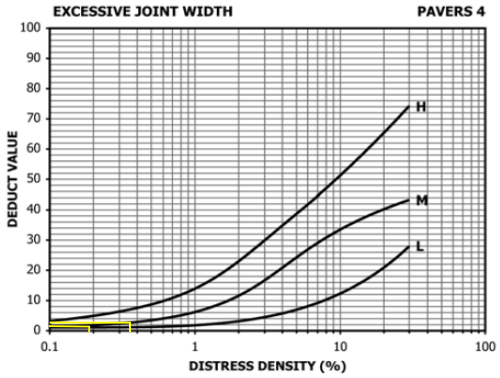


FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

FIG. X3.5 Faulting (5)

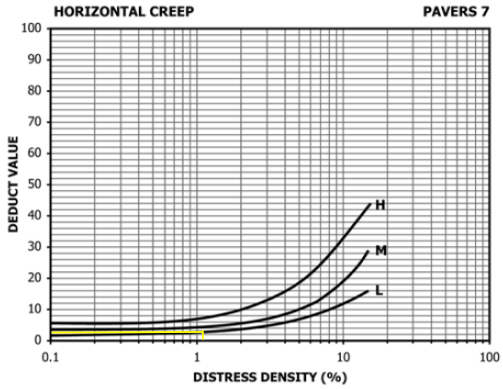


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

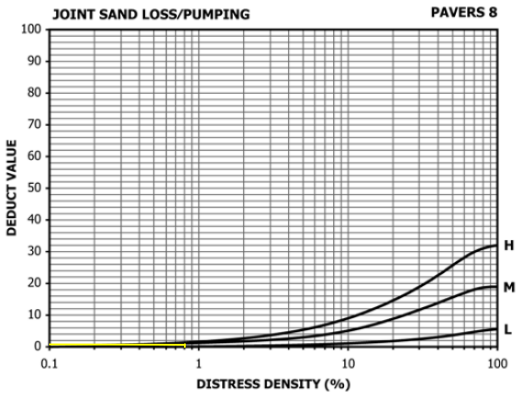


FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 4

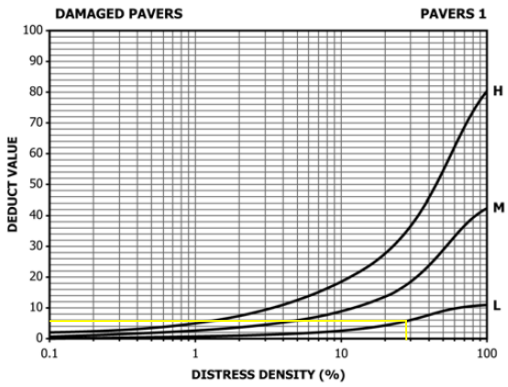


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

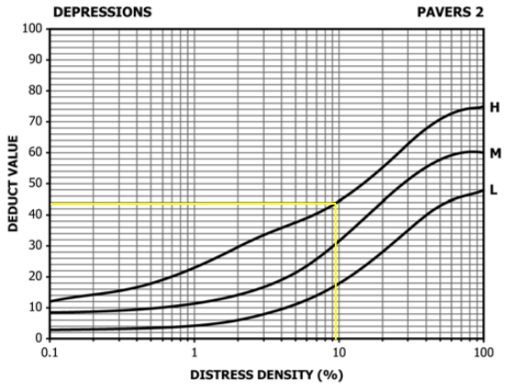


FIG. X3.2 Depressions (2)

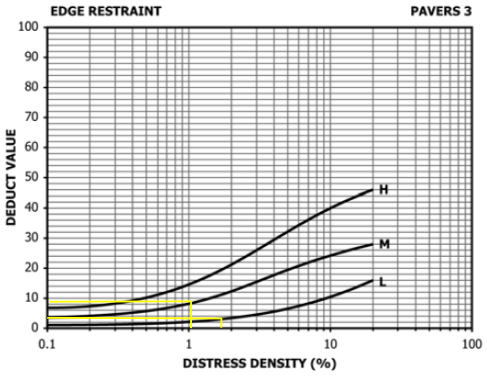


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

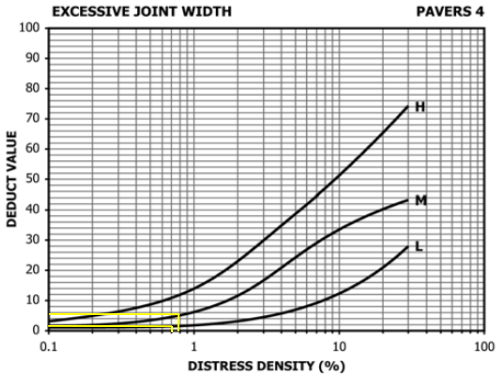


FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

FIG. X3.5 Faulting (5)

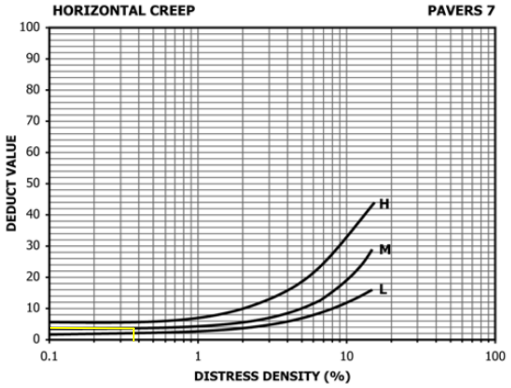


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

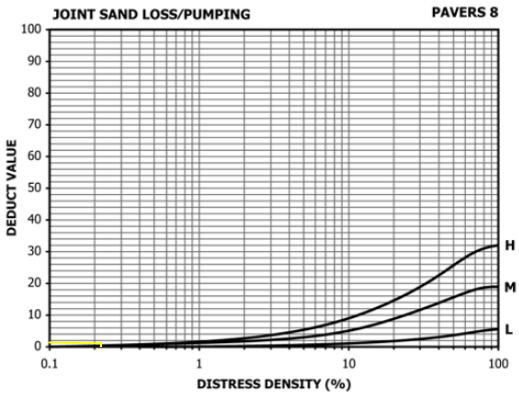


FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 5

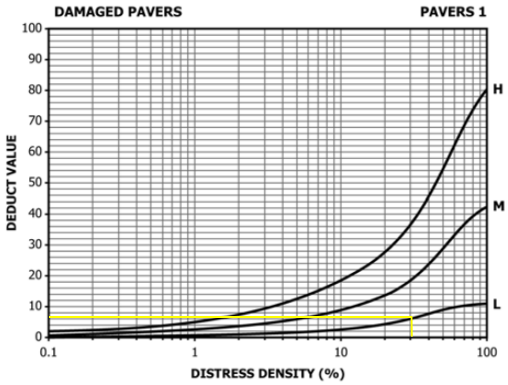


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

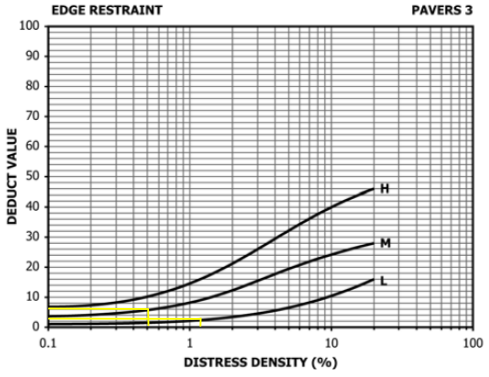


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

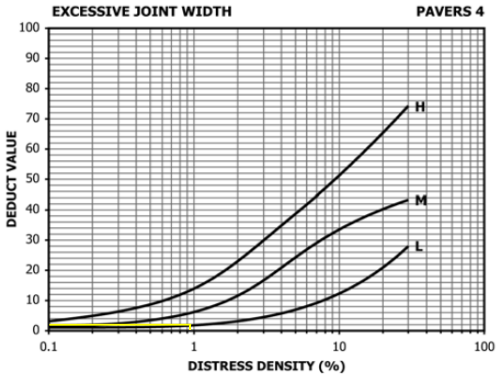


FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

FIG. X3.5 Faulting (5)

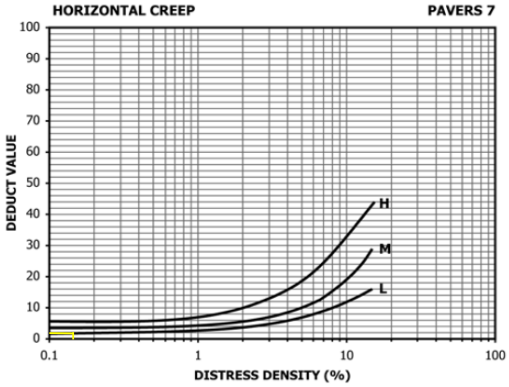


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 6

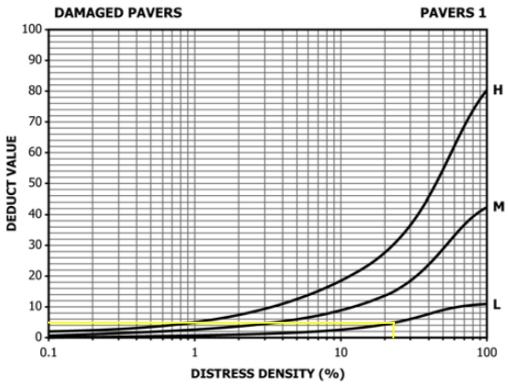


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

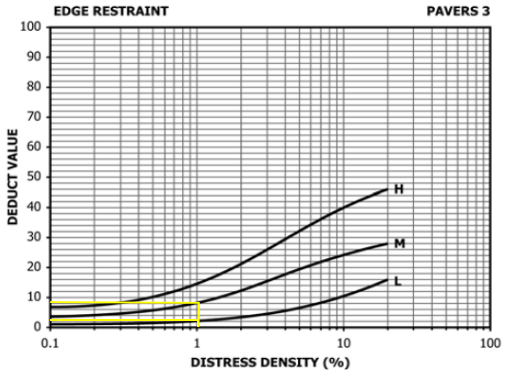


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

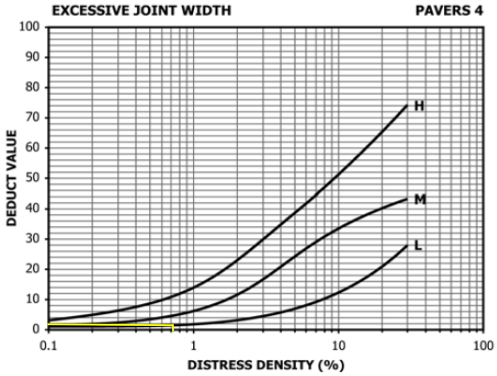


FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

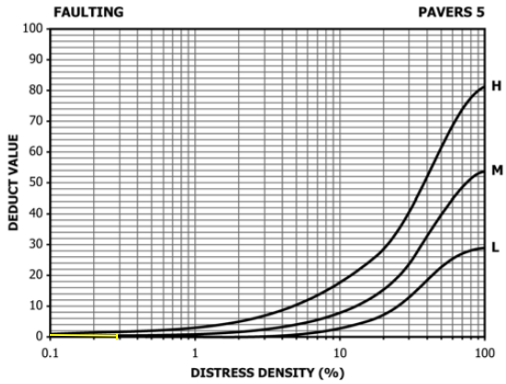


FIG. X3.5 Faulting (5)

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 7

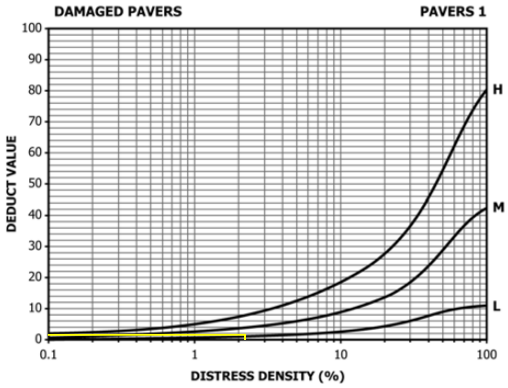


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

FIG. X3.5 Faulting (5)

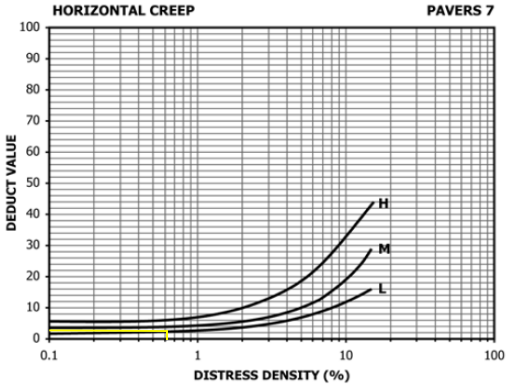


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 8

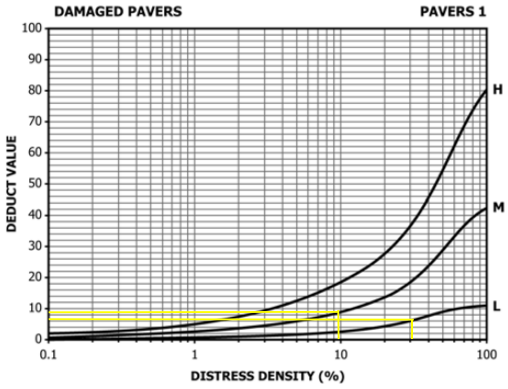


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

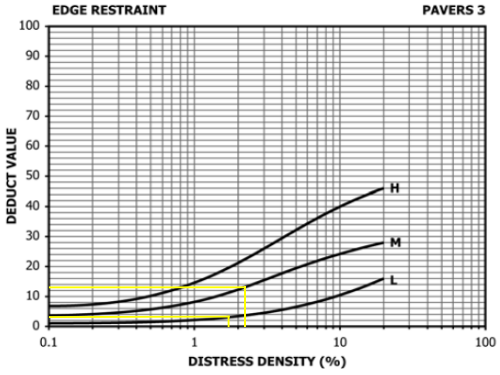


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

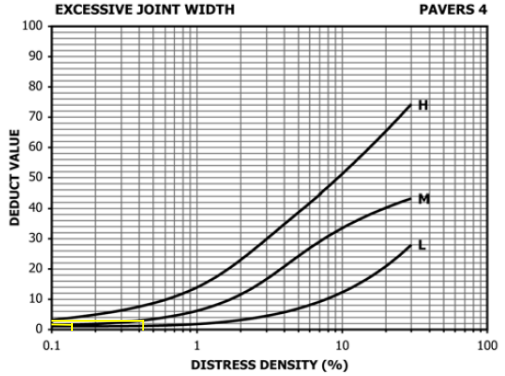


FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

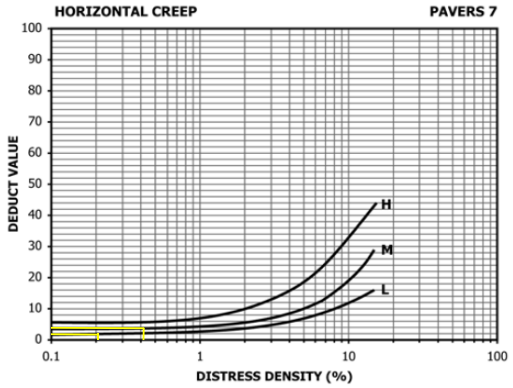


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

FIG. X3.8 Joint Sand Loss/Pumping

CÁLCULO DEL VALOR DEDUCIDO - UNIDAD 9

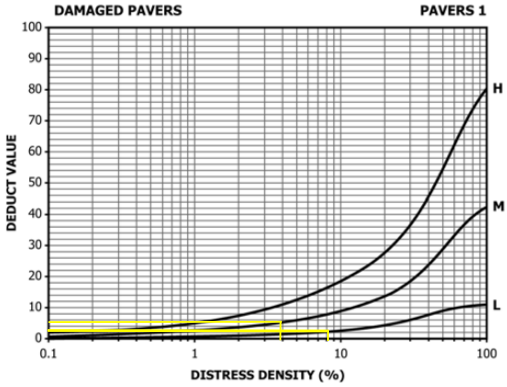


FIG. X3.1 Damaged Pavers (1)

FIG. X3.2 Depressions (2)

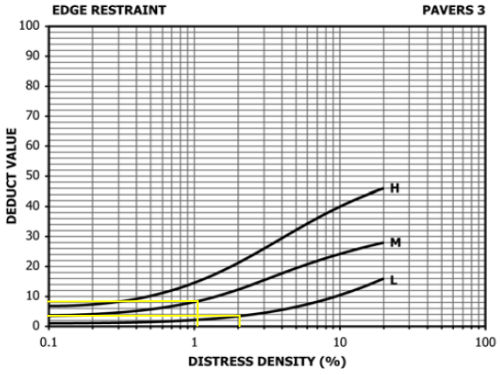


FIG. X3.3 Edge Restraint (3)

FIG. X3.4 Excessive Joint Width (4)

FIG. X3.5 Faulting (5)

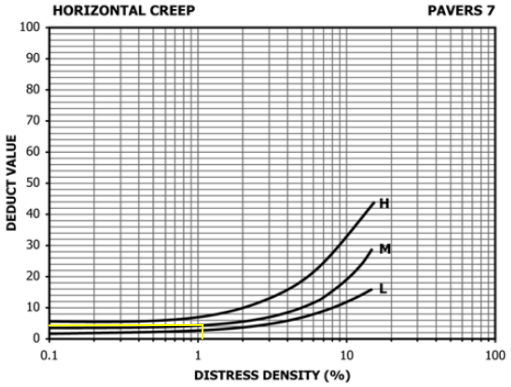


FIG. X3.7 Horizontal Creep (7)

Anexo F – Cálculo del valor deducido Corregido (Automatizado)

Unidad 1

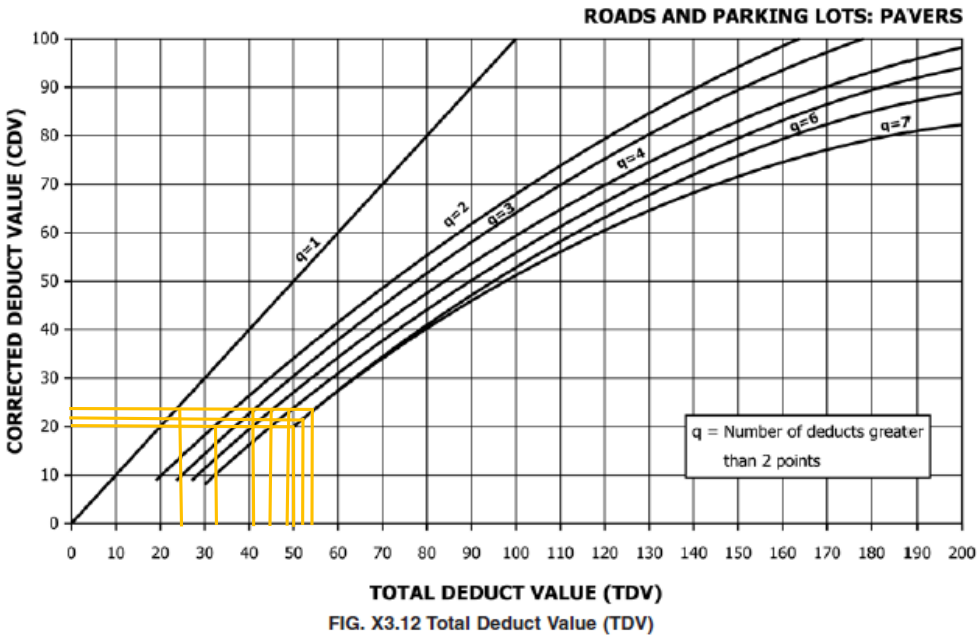


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 2

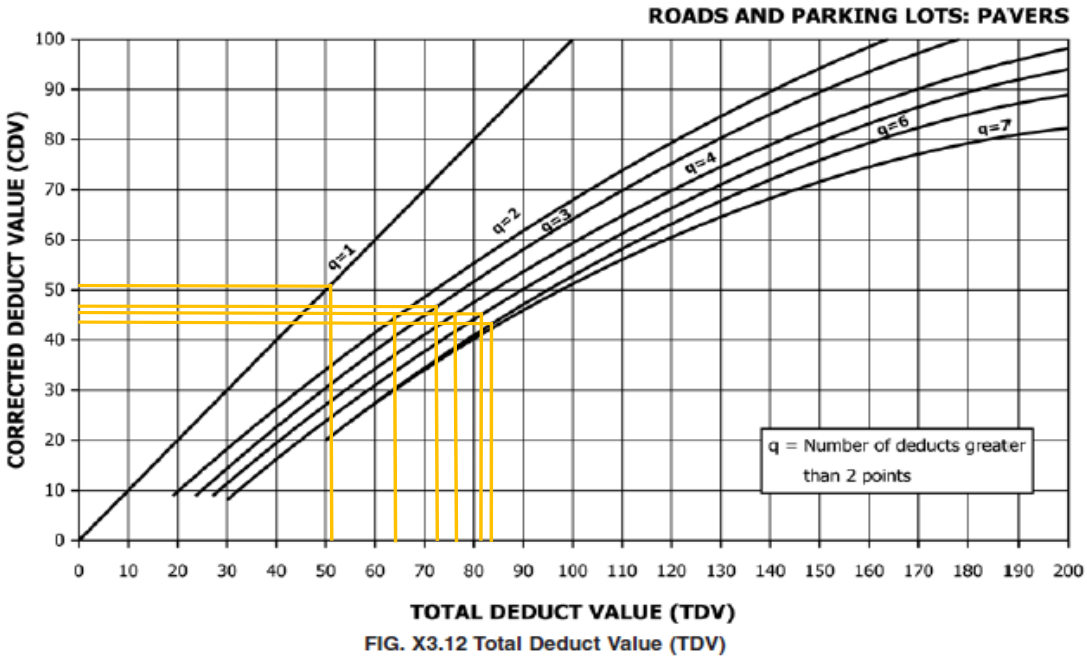


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 3

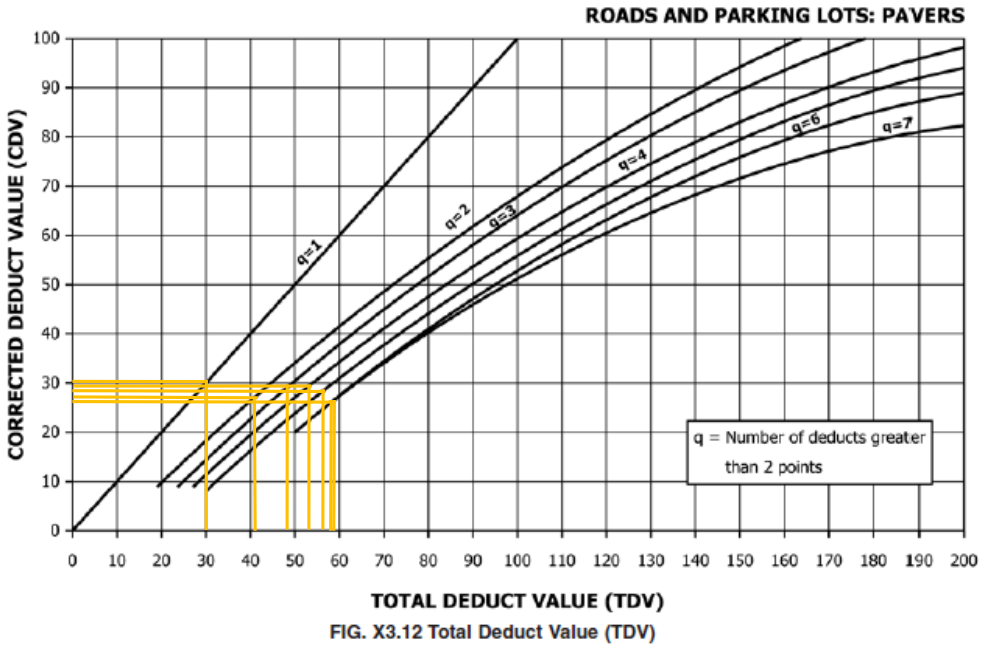


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 4

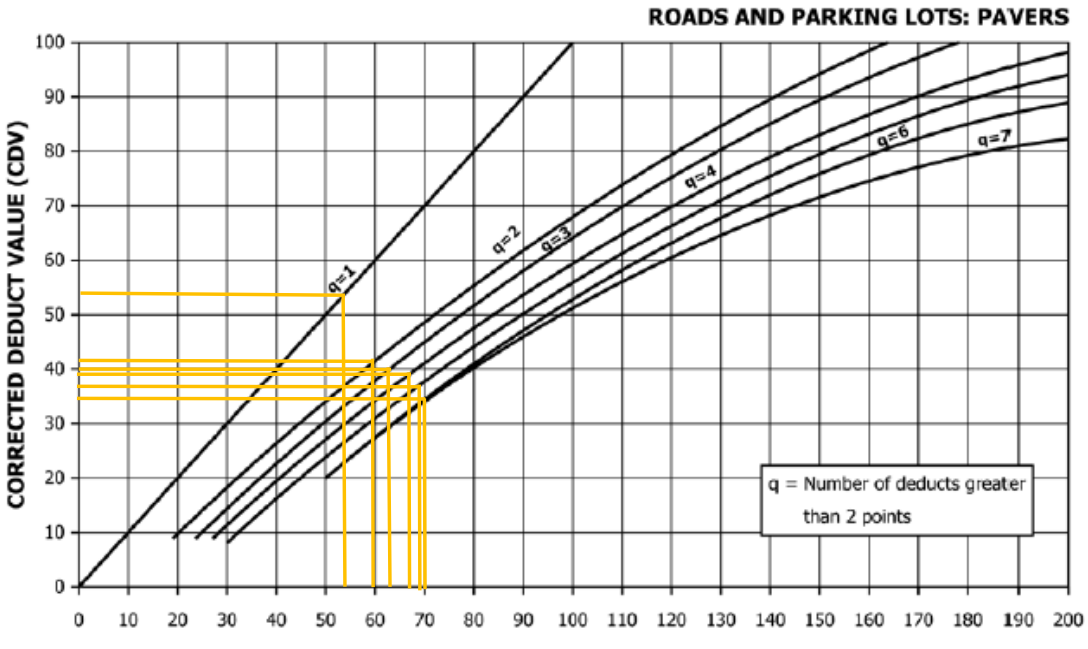


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 5

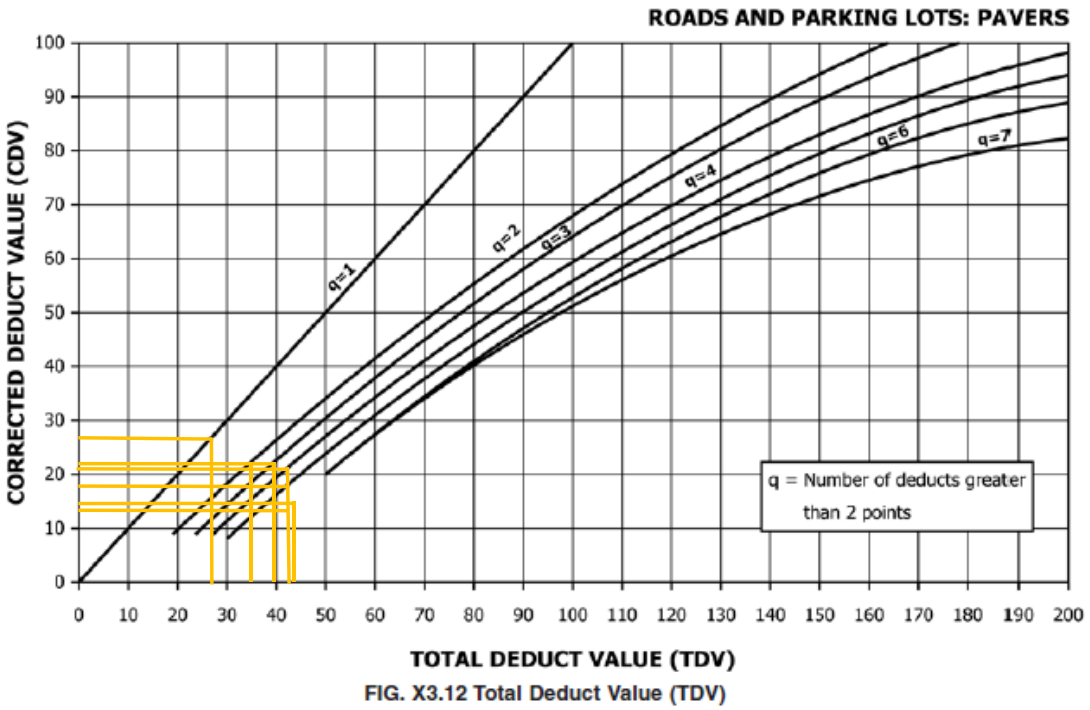


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 6

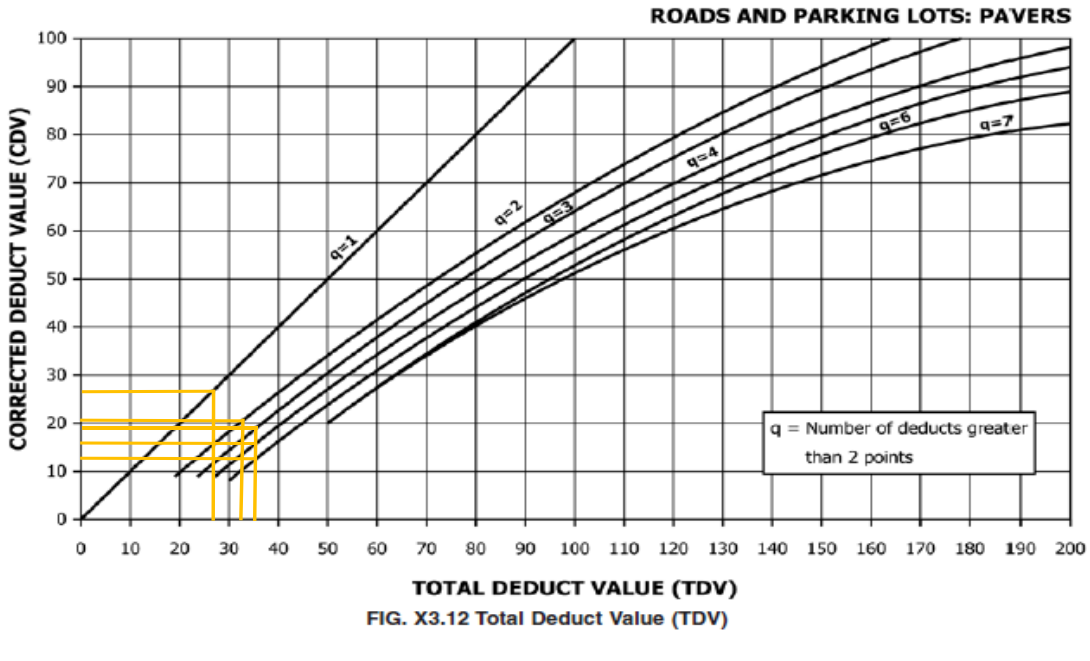


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 7

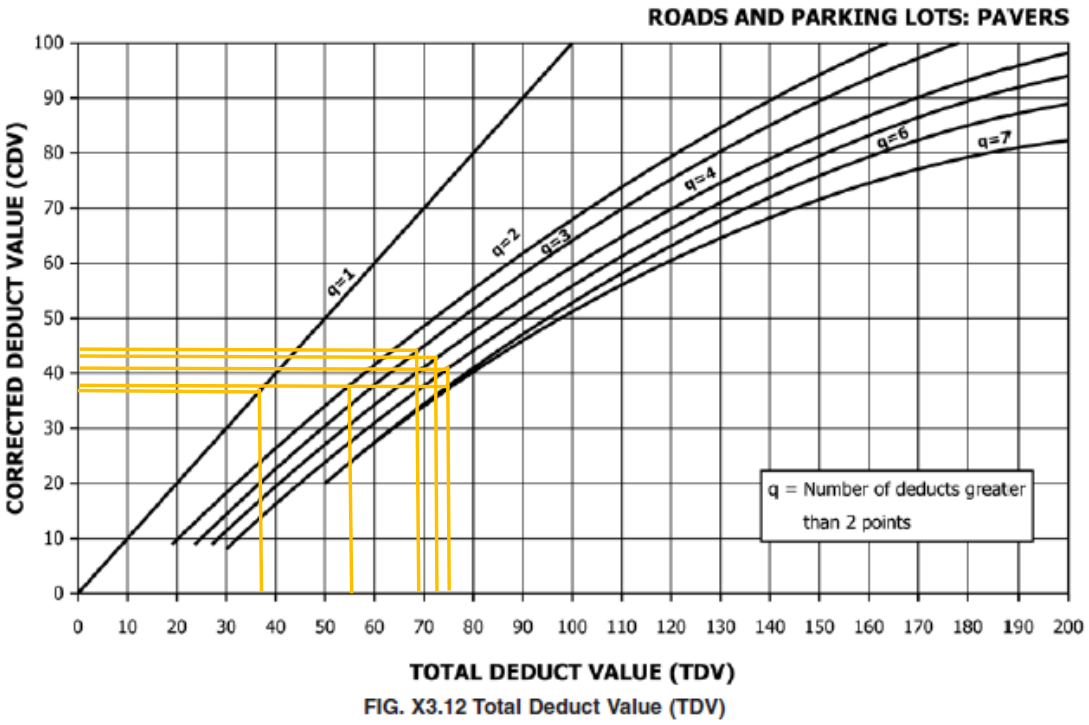


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 8

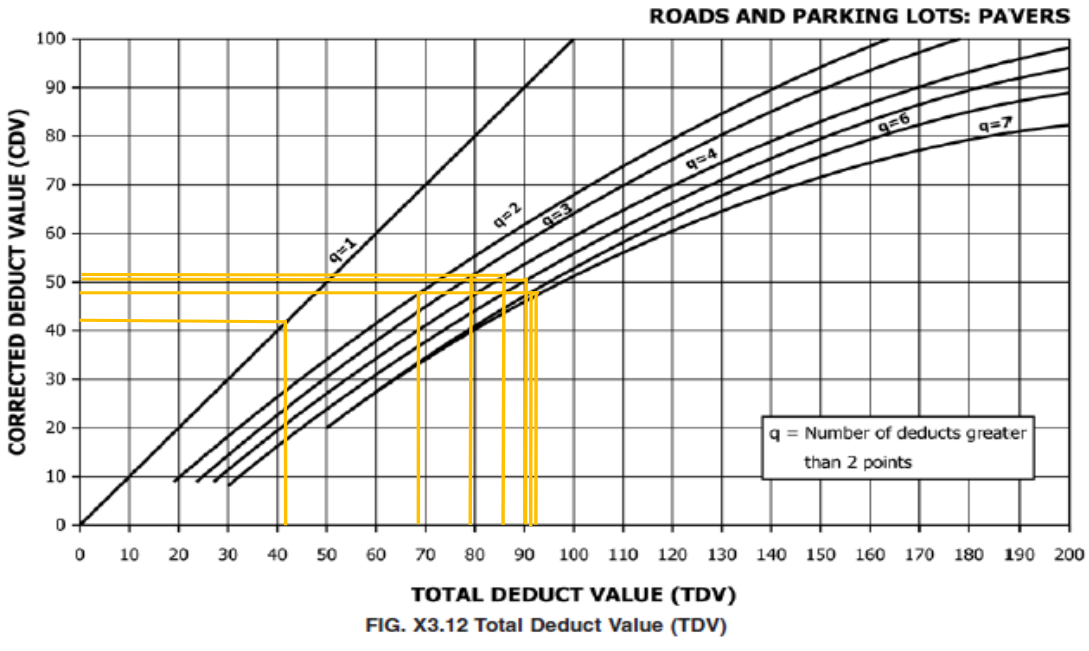


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Unidad 9

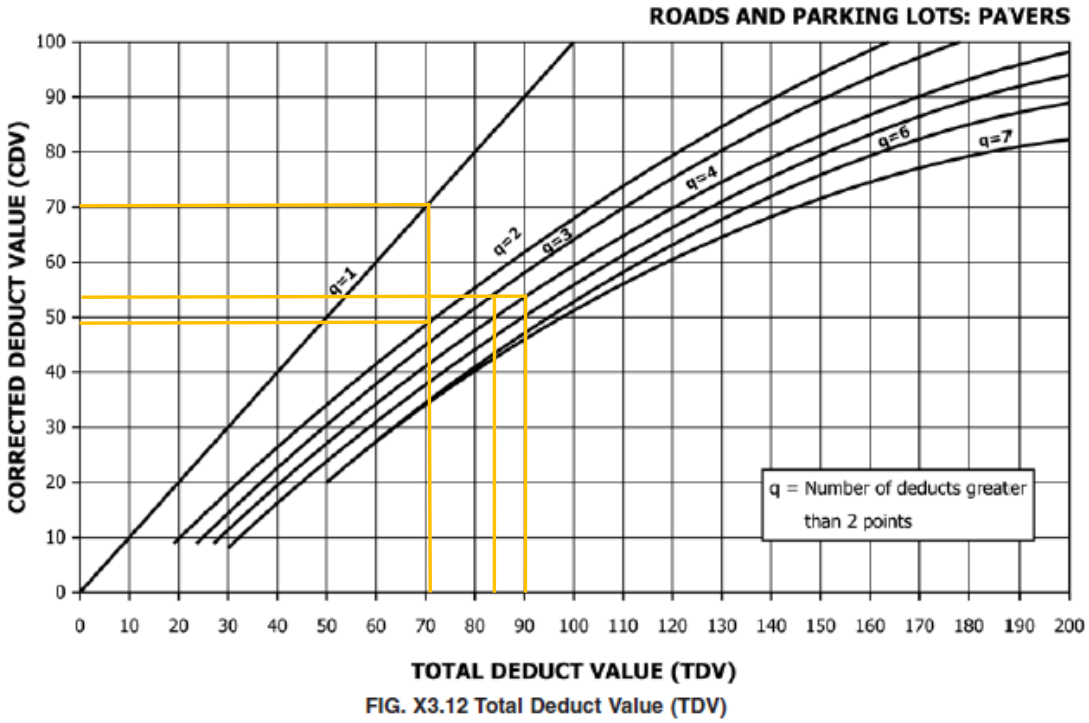


FIG. X3.12 Total Deduct Value (TDV)

Anexo G – Cálculo valor de PCI (Automatizado)

Unidad 1

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
1	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	10,62	6,90	6,04	8,76	15,30	10,58	6,03	64,23	20,48	4,00
1/M	6,99	3,74						10,73	3,42	5,00
2/B	1,82							1,82	0,58	4,00
2/M	2,38							2,38	0,76	10,00
3/B	2,59	3,82	2,97	3,77				13,15	4,19	6,00
3/M	4,21							4,21	1,34	10,00
7/B	3,33	2,35	1,31					6,99	2,23	4,00
7/M	1,55	1,52	1,78	10,50				15,35	4,89	10,00
5/B	1,08	1,57						2,65	0,84	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
9,3	≈	9,0

No.	VALOR DEDUCIDO									TOTAL	q	CDV
1	10,00	10,00	10,00	6,00	5,00	4,00	4,00	4,00	1,00	54,00	8	24
2	10,00	10,00	10,00	6,00	5,00	4,00	4,00	2,00	1,00	52,00	7	22
3	10,00	10,00	10,00	6,00	5,00	4,00	2,00	2,00	1,00	50,00	6	20
4	10,00	10,00	10,00	6,00	5,00	2,00	2,00	2,00	1,00	48,00	5	24
5	10,00	10,00	10,00	6,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	45,00	4	24
6	10,00	10,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	41,00	3	24
7	10,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	33,00	2	20
8	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	25,00	1	24

Máx. CDV	24
PCI	76
CLASIFICACIÓN	Muy bueno

Unidad 2

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
2	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	17,36	6,79	0,59	5,37	9,48	25,41	65,00	20,73	6,00
1/M	3,59	1,44	6,19	5,54	23,15		39,91	12,73	10,00
2/B	2,04	13,50	12,42				27,96	8,92	16,00
2/A	3,93	18,50					22,43	7,15	41,00
3/B	1,85	4,51					6,36	2,03	4,00
4/B	4,34						4,34	1,38	2,00
4/M	1,32						1,32	0,42	3,00
7/B	3,43	1,11	2,31	8,90			15,75	5,02	7,00
8/B	2,06	1,91					3,97	1,27	2,00
5/B	1,97						1,97	0,63	1,00
5/M	0,95						0,95	0,30	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
6,4	≈	6,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	41,00	16,00	10,00	7,00	6,00	4,00	84,00	6	44
2	41,00	16,00	10,00	7,00	6,00	2,00	82,00	5	46
3	41,00	16,00	10,00	7,00	2,00	2,00	78,00	4	46
4	41,00	16,00	10,00	2,00	2,00	2,00	73,00	3	47
5	41,00	16,00	2,00	2,00	2,00	2,00	65,00	2	46
6	41,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	51,00	1	51

Máx. CDV	51
PCI	49
CLASIFICACIÓN	Regular

Unidad 3

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
3	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	45,51	5,14	8,53	5,47	63,47	1,08	129,19	41,20	8,00
1/M	1,51	10,33	17,74				29,57	9,43	9,00
2/B	2,31	2,15					4,46	1,42	5,00
2/M	4,22	1,20					5,42	1,73	13,00
3/B	3,26	2,46	0,51				6,23	1,99	2,00
3/M	3,81	4,78	2,10				10,69	3,41	16,00
4/B	0,56						0,56	0,18	1,00
4/M	1,15						1,15	0,37	3,00
7/B	2,27	1,40					3,67	1,17	3,00
8/B	1,00	2,03					3,03	0,97	1,00
5/B	1,06	0,46					1,52	0,49	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
8,7	≈	8,0

No.	VALOR DEDUCIDO								TOTAL	q	CDV
1	16,00	13,00	9,00	8,00	5,00	3,00	3,00	2,00	59,00	8	26
2	16,00	13,00	9,00	8,00	5,00	3,00	3,00	2,00	59,00	7	26
3	16,00	13,00	9,00	8,00	5,00	3,00	2,00	2,00	58,00	6	26
4	16,00	13,00	9,00	8,00	5,00	2,00	2,00	2,00	57,00	5	28
5	16,00	13,00	9,00	8,00	2,00	2,00	2,00	2,00	54,00	4	29
6	16,00	13,00	9,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	48,00	3	29
7	16,00	13,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	41,00	2	27
8	16,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	30,00	1	30

Máx. CDV	30
PCI	70
CLASIFICACIÓN	Bueno

Unidad 4

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
4	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	13,91	23,91	23,94	13,72	5,06	2,96	2,00	3,63	89,12	28,42	6,00
3/B	2,70	3,16							5,86	1,87	3,00
3/M	3,29								3,29	1,05	8,00
4/B	1,88								1,88	0,60	2,00
4/M	2,49								2,49	0,79	5,00
7/M	1,17								1,17	0,37	4,00
8/B	0,77								0,77	0,25	1,00
5/B	1,27								1,27	0,41	1,00
2/A	13,52	17,65							31,17	9,94	44,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
6,1	≈	6,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	44,00	8,00	6,00	5,00	4,00	3,00	70,00	6	35
2	44,00	8,00	6,00	5,00	4,00	2,00	69,00	5	37
3	44,00	8,00	6,00	5,00	2,00	2,00	67,00	4	39
4	44,00	8,00	6,00	2,00	2,00	2,00	64,00	3	40
5	44,00	8,00	2,00	2,00	2,00	2,00	60,00	2	42
6	44,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	54,00	1	54

Máx. CDV	54
PCI	46
CLASIFICACIÓN	Regular

Unidad 5

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
5	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	55,86	15,48	7,41	7,63	3,69	2,21	2,70	3,50	98,46	31,40	6,00
2/B	14,08								14,08	4,49	10,00
2/M	2,48	1,71	1,91						6,10	1,95	14,00
3/B	1,96	2,16							4,13	1,32	2,00
3/M	1,59								1,59	0,51	6,00
4/B	1,80	1,16							2,96	0,94	2,00
7/B	0,47								0,47	0,15	2,00
5/B	0,50								0,50	0,16	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
8,9	≈	8,0

No.	VALOR DEDUCIDO								TOTAL	q	CDV
1	14,00	10,00	6,00	6,00	2,00	2,00	2,00	1,00	43,00	7	15
2	14,00	10,00	6,00	6,00	2,00	2,00	2,00	1,00	43,00	6	14
3	14,00	10,00	6,00	6,00	2,00	2,00	2,00	1,00	43,00	5	18
4	14,00	10,00	6,00	6,00	2,00	2,00	2,00	1,00	43,00	4	21
5	14,00	10,00	6,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	39,00	3	22
6	14,00	10,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	35,00	2	22
7	14,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	27,00	1	27

Máx. CDV	27
PCI	73
CLASIFICACIÓN	Muy bueno

Unidad 6

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
6	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD							TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	44,22	2,75	11,76	2,31	13,85			74,89	23,88	5,00
2/M	10,21							10,21	3,26	18,00
3/B	1,25	2,10						3,35	1,07	2,00
3/M	1,76	1,93						3,69	1,18	8,00
4/B	2,25							2,25	0,72	2,00
5/B	0,90							0,90	0,29	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
8,5	≈	8,0

No.	VALOR DEDUCIDO						TOTAL	q	CDV
1	18,00	8,00	5,00	2,00	2,00	1,00	36,00	5	13
2	18,00	8,00	5,00	2,00	2,00	1,00	36,00	4	16
3	18,00	8,00	5,00	2,00	2,00	1,00	36,00	3	19
4	18,00	8,00	2,00	2,00	2,00	1,00	33,00	2	21
5	18,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	27,00	1	27

Máx. CDV	27
PCI	73
CLASIFICACIÓN	Muy bueno

Unidad 7

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
7	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	33,77	3,04	31,71	3,79			72,31	23,06	1,00
2/B	20,42	2,34	21,60	10,56			54,91	17,51	24,00
2/M	13,03						13,03	4,15	20,00
3/B	3,29	3,89	1,81				8,98	2,86	4,00
3/M	2,77	4,71	2,73				10,21	3,26	16,00
4/B	2,21	0,15	2,78				5,13	1,64	2,00
4/M	1,64	1,03					2,67	0,85	6,00
7/B	0,65	1,33					1,98	0,63	2,00
5/B	0,32	0,74					1,06	0,34	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
8,0	≈	8,0

No.	VALOR DEDUCIDO								TOTAL	q	CDV
1	24,00	20,00	16,00	6,00	4,00	2,00	2,00	1,00	75,00	7	38
2	24,00	20,00	16,00	6,00	4,00	2,00	2,00	1,00	75,00	6	38
3	24,00	20,00	16,00	6,00	4,00	2,00	2,00	1,00	75,00	5	41
4	24,00	20,00	16,00	6,00	2,00	2,00	2,00	1,00	73,00	4	44
5	24,00	20,00	16,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	69,00	3	45
6	24,00	20,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	55,00	2	38
7	24,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00	37,00	1	37

Máx. CDV	45
PCI	55
CLASIFICACIÓN	Regular

Unidad 8

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
8	5,65	55,5	313,575

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD								TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	24,81	53,67	1,94	2,61	1,70	3,35	3,02	3,82	94,92	30,27	6,00
1/M	24,15	7,06							31,21	9,95	9,00
2/B	51,67	11,22							62,89	20,05	28,00
2/A	2,18	0,49	4,52						7,19	2,29	30,00
3/B	1,50	4,14							5,64	1,80	3,00
3/M	3,67	3,81							7,49	2,39	13,00
4/B	0,20	0,30							0,50	0,16	2,00
4/M	1,15	0,20							1,35	0,43	3,00
7/B	0,65								0,65	0,21	2,00
7/M	1,33								1,33	0,42	4,00
8/B	1,65								1,65	0,53	1,00

NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
7,6	≈	7,0

No.	VALOR DEDUCIDO							TOTAL	q	CDV
1	30,00	28,00	13,00	9,00	6,00	4,00	3,00	93,00	7	48
2	30,00	28,00	13,00	9,00	6,00	4,00	2,00	92,00	6	48
3	30,00	28,00	13,00	9,00	6,00	2,00	2,00	90,00	5	51
4	30,00	28,00	13,00	9,00	2,00	2,00	2,00	86,00	4	52
5	30,00	28,00	13,00	2,00	2,00	2,00	2,00	79,00	3	52
6	30,00	28,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	68,00	2	48
7	30,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	42,00	1	43

Máx. CDV	52
PCI	48
CLASIFICACIÓN	Regular

Unidad 9

LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS			
UNIDAD	**ANCHO**	**LONGITUD**	**ÁREA**
9	5,65	53,3	301,145

CÓDIGOS DE LOS DETERIOROS

1. Adoquines dañados	5. Fallas o daños (Escalonamiento)	9. Perdida de adoquines
2. Depresiones	6. Abultamiento	10. Parches
3. Restricción de bordes dañado	7. Deslizamiento Horizontal	11. Ahuellamiento
4. Ancho excesivo de junta	8. Perdida/bombeo de arena de junta	

CÓDIGO DE DETERIORO/SEVERIDAD	CANTIDAD						TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
1/B	5,75	3,47	6,02	4,93	1,45	3,43	25,05	8,32	2,00
1/M	3,47	2,99	2,10	3,23			11,80	3,92	5,00
2/M	3,69	3,35	0,98	1,83			9,85	3,27	8,00
2/A	41,04	30,84	11,53	12,15	3,85		99,42	33,02	65,00
3/B	1,53	3,71	0,88				6,11	2,03	4,00
3/M	3,33						3,33	1,10	8,00
4/B	1,17	0,23					1,41	0,47	2,00
4/M	2,10	2,66					4,76	1,58	9,00
7/M	1,75	1,82					3,56	1,18	4,00
5/B	0,27	0,69	1,31				2,27	0,75	1,00

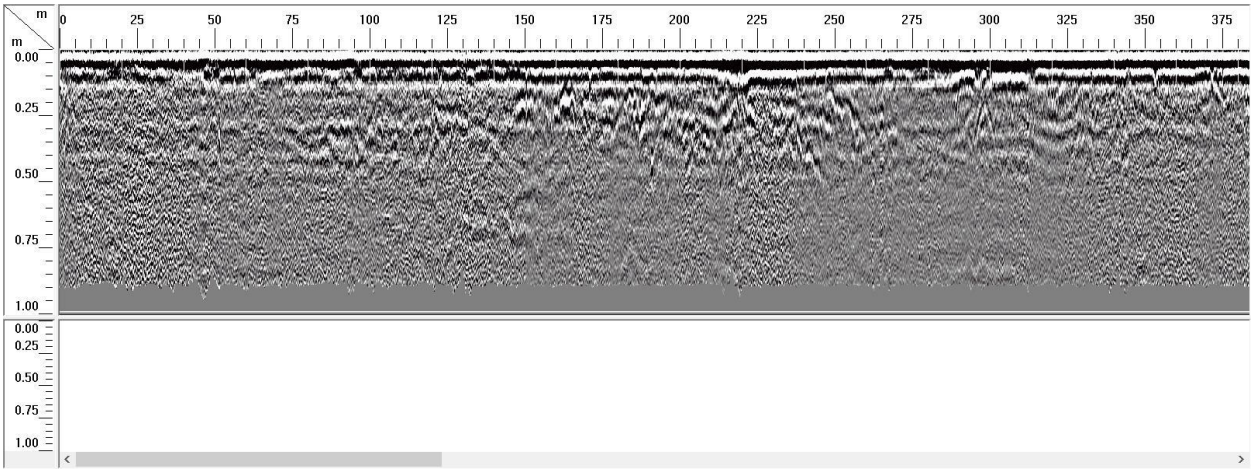
NÚMERO MÁXIMO ADMISIBLE DE VALORES DEDUCIDOS		
4,2	≈	4,0

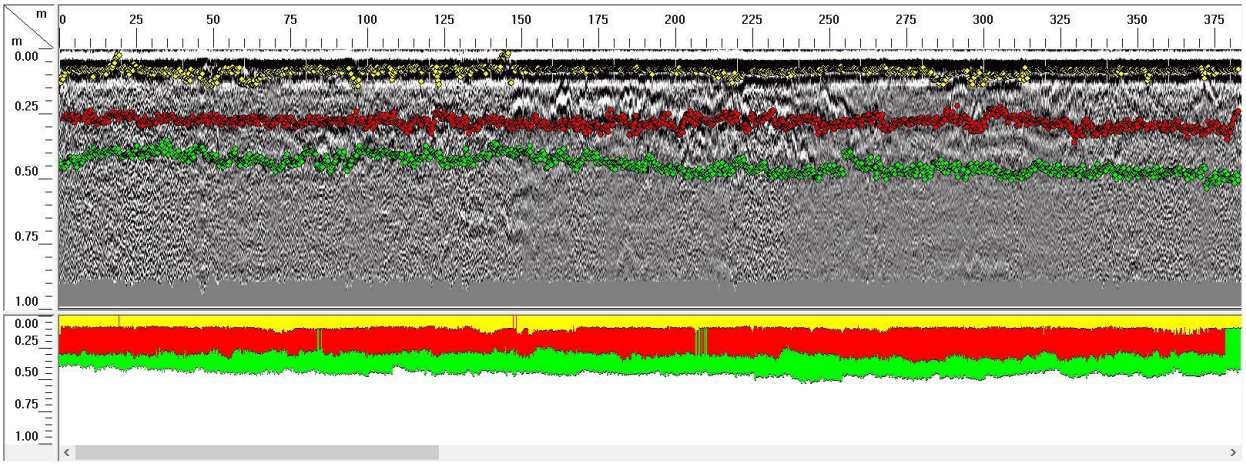
No.	VALOR DEDUCIDO				TOTAL	q	CDV
1	65,00	9,00	8,00	8,00	90,00	4	54
2	65,00	9,00	8,00	2,00	84,00	3	54
3	65,00	2,00	2,00	2,00	71,00	2	49
4	65,00	2,00	2,00	2,00	71,00	1	71

Máx. CDV	71
PCI	29
CLASIFICACIÓN	Malo

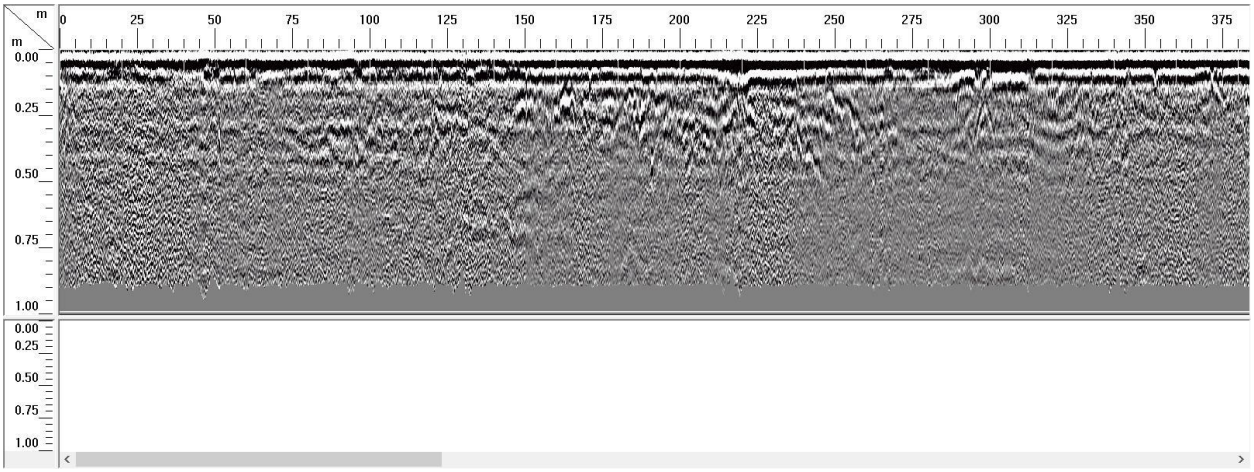
Anexo H – Imágenes Radargrama

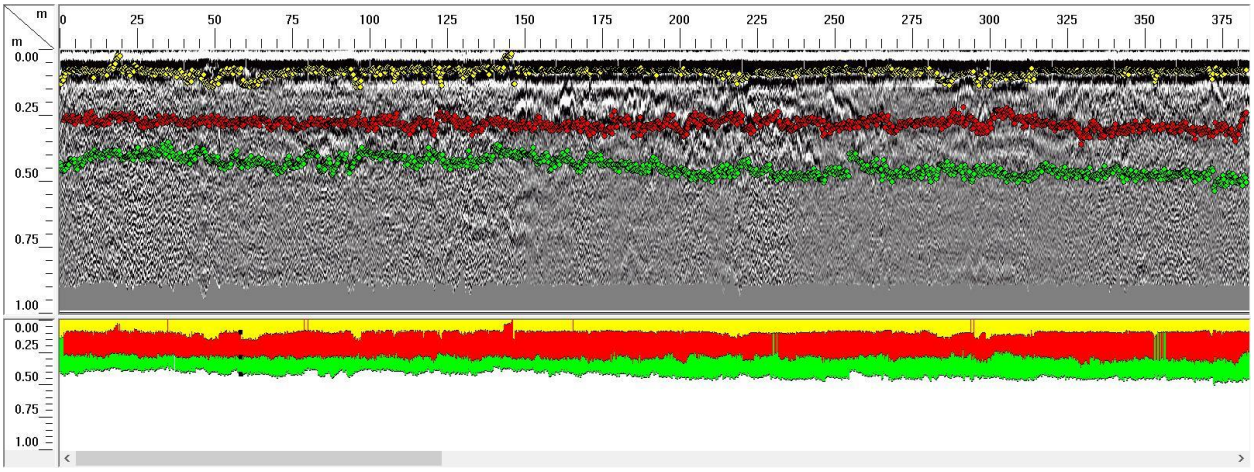
Sentido Norte – Sur





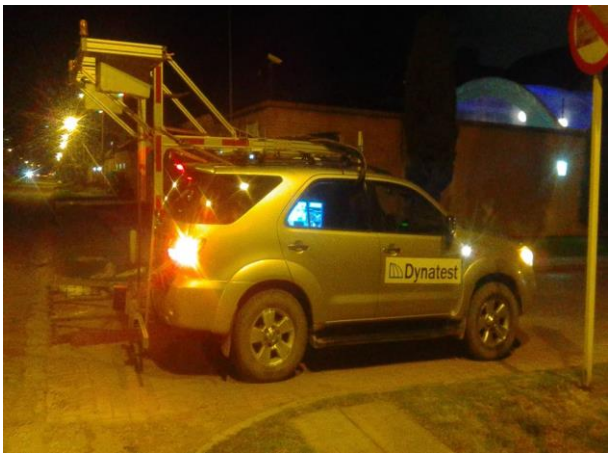
Sentido Sur –Norte





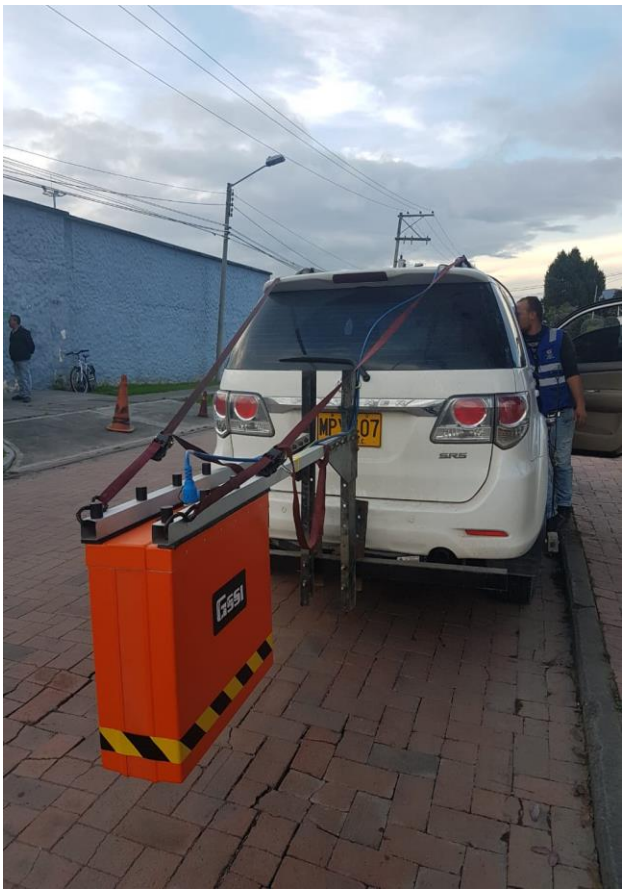
Anexo I Registro fotográfico – Equipos:

Vehículo multifuncional



Perfilómetro

Georadar



Deflectómetro de impacto

ANEXO J – Resultados análisis deflectómetria

PROYECTO:	Evaluacion Estructural Pav. Articulado	FECHA PRUEBA:	05-may-18
CLIENTE:	Universidad Militar Nueva Granada	FECHA REPORTE:	16/06/2018
UBICACIÓN:	Carrera 76 entre Calles 170 y 175		

FWD 01

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA - HWD - NORMA AASHTO 93

EJECUTÓ: Adriana Cubides - Camilo Falla
CALCULÓ: Adriana Cubides - Camilo Falla

EQUIPO: DYNATEST HWD 8082-153

Sensor		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	
Ubicación	m	0.00	0.20	0.30	0.45	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	

Carga Normalizada: 40 kN
Temperatura Normalizada: 20 °C

DATOS CRUDOS																	CORRECCIÓN CARGA										TEMPERATURA SUPERFICIAL	TEMPERATURA ESTRUCTURA	FACTOR DE CORRECCIÓN T°			VALOR PROMEDIO									
Abscisa	Localización		Espesor (cm)		Prueba	Imp	Load	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	Load	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9				D1	LOC	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
	Latitud	Longitud	Asfalto	Granulares		Num	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	kN	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	°C	°C		µm		µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm	µm
K 0+30	4.7618333	-74.0669017	10	70	1	1	40.50	898	693	553	392	263	186	151	112	16	40.0	887	684	546	387	260	183	149	110	15	18.8	16.2	1.0594	939.9	K 0+30	935	688	548	388	267	185	151	112	45
					1	2	40.15	890	693	554	393	270	189	154	116	46	40.0	887	690	552	392	269	188	154	116	46	18.8	16.2	1.0594	939.2											
					1	3	40.08	876	691	546	387	271	185	150	112	75	40.0	874	689	545	387	271	184	149	111	75	18.8	16.2	1.0594	925.8											
K 0+60	4.7620534	-74.0667383	10	70	2	1	40.79	925	691	484	368	279	182	141	112	109	40.0	907	678	475	361	274	178	138	110	107	18.6	16.1	1.0594	961.1	K 0+60	947	675	479	361	274	179	139	112	103
					2	2	40.93	905	689	491	369	281	184	142	115	100	40.0	885	673	479	360	274	180	138	112	98	18.6	16.1	1.0594	937.4											
					2	3	40.93	911	690	494	370	279	184	143	115	106	40.0	890	674	483	362	273	179	139	113	103	18.6	16.1	1.0594	943.4											
K 0+90	4.76226	-74.0665883	10	70	3	1	41.07	1006	825	630	400	303	191	147	108	97	40.0	980	803	613	390	295	186	144	105	94	19.2	16.5	1.0594	1037.9	K 0+90	1022	800	617	389	300	189	147	105	93
					3	2	40.93	981	816	631	395	309	193	152	108	95	40.0	959	797	616	386	302	189	148	105	93	19.2	16.5	1.0594	1015.5											
					3	3	40.57	970	811	631	397	308	194	152	107	93	40.0	957	800	622	392	304	191	150	105	92	19.2	16.5	1.0594	1013.4											
K 0+120	4.7624734	-74.066425	10	70	4	1	41.42	689	516	434	315	280	204	167	129	109	40.0	666	498	419	304	271	197	162	125	106	18.3	15.9	1.0694	711.7	K 0+120	703	501	419	299	275	199	162	126	105
					4	2	41.35	682	522	436	310	288	208	171	133	110	40.0	660	505	421	300	279	201	165	129	107	18.3	15.9	1.0694	705.3											
					4	3	41.07	665	514	427	302	284	203	165	128	107	40.0	648	501	415	294	276	198	160	125	104	18.3	15.9	1.0694	693.0											
K 0+150	4.7626917	-74.0662733	10	70	5	1	38.24	1128	971	827	549	443	274	241	171	137	40.0	1180	1016	865	574	463	287	252	179	144	18.5	16.0	1.0594	1250.4	K 0+150	1250	1014	863	592	466	288	250	178	142
					5	2	38.10	1125	966	820	574	446	276	237	171	133	40.0	1181	1014	861	603	469	290	249	179	140	18.5	16.0	1.0594	1251.4											
					5	3	38.17	1125	966	824	571	445	273	239	169	137	40.0	1179	1012	863	599	466	286	250	177	143	18.5	16.0	1.0594	1249.3											
K 0+180	4.7629033	-74.0661117	10	70	6	1	40.43	869	739	625	400	337	237	181	156	148	40.0	860	731	618	395	334	234	179	154	147	18.8	16.2	1.0594	911.1	K 0+180	914	730	617	395	333	233	182	151	138
					6	2	40.08	866	731	620	397	334	233	185	151	138	40.0	865	730	618	397	333	232	184	151	138	18.8	16.2	1.0594	916.0											
					6	3	40.22	869	732	619	397	334	235	182	148	131	40.0	864	728	615	394	333	233	181	147	131	18.8	16.2	1.0594	915.2											
K 0+210	4.7631184	-74.06595	10	70	7	1	41.21	965	779	572	420	342	251	198	159	149	40.0	937	756	555	407	332	244	192	155	145	19.0	16.3	1.0594	992.6	K 0+210	987	758	552	413	335	245	192	154	140
					7	2	41.14	959	781	567	427	346	253	199	159	144	40.0	932	759	551	415	336	246	193	155	140	19.0	16.3	1.0594	987.8											
					7	3	41.42	958	784	569	431	349	253	198	157	141	40.0	925	757	549	416	337	244	191	152	137	19.0	16.3	1.0594	979.6											
K 0+240	4.7633367	-74.0657883	10	70	8	1	41.07	693	629	456	351	281	205	171	130	115	40.0	675	613	444	342	274	199	166	127	112	19.5	16.7	1.0594	715.1	K 0+240	708	606	439	342	272	197	164	128	110
					8	2	41.00	686	622	450	350	279	201	168	128	107	40.0	669	607	439	341	272	196	164	125	104	19.5	16.7	1.0594	709.1											
					8	3	41.14	679	616	448	351	279	200	167	137	116	40.0	660	599	436	342	271	195	163	133	113	19.5	16.7	1.0594	699.6											
K 0+270	4.7686916	-74.0618483	10	70	26	1	41.42	926	761	558	412	341	245	198	155	142	40.0	894	735	539	398	330	237	191	150	138	12.8	15.5	1.0694	956.2	K 0+270	945	732	538	401	332	239	195	153	140
					26	2	40.86	896	747	549	411	339	245	201	158	145	40.0	877	731	537	402	332	239	197	155	141	12.8	15.5	1.0694	937.6											
					26	3	40.86	898	747	549	413	341	246	202	159	144	40.0	879	731	538	405	334	241	198	155	141	12.8	15.5	1.0694	940.3											
K 0+300	4.7684683	-74.0620167	10	70	25	1	39.65	1223	1021	820	602	474	303	233	183	154	40.0	1234	1030	827	608	478	306	235	184	155	13.3	15.2	1.0694	1319.5	K 0+300	1292	1016	819	605	476	305	235	184	157
					25	2	40.08	1197	1011	816	603	474	305	234	183	157	40.0	1195	1009	814	602	473	304	234	183	157	13.3	15.2	1.0694	1277.5											
					25	3	39.94	1196	1009	815	605	477	306	235	183	159	40.0	1197	1010	816	606	477	306	235	183	160	13.3	15.2	1.0694	1280.4											
K 0+330	4.76826	-74.0621717	10	70	24	1	39.37	1550	1260	929	689	542	345	261	201	177	40.0	1575	1280	944	700	551	351	265	205	180	13.1	15.5	1.0694	1683.9	K 0+330	1671	1288	958	710	561	357	269	208	183
					24	2	38.95	1527	1263	938	698	551	351	265	204	180	40.0	1568	1297	963	717	566	360	272	210	185	13.1	15.5	1.0694	1676.7											
					24	3	39.09	1510	1258	944	697	553	352	265	206	181	40.0	1545	1287	966	713	566	360	271	210	185	13.1	15.5	1.0694	1651.8											
K 0+360	4.7680367	-74.0623383	10	70	23	1	39.94	1391	1226	1020	770	586	387	287	232	196	40.0	1393	1228	1022	771	587	388	287	232	196	13.0	15.6	1.0694	1490.2	K 0+360	1492	1230	1032	791	594	395	291	231	203
					23	2	39.94	1385	1226	1032	795	593	396	291	230	206	40.0	1387	1228	1033	797	594	397	291	230	207	13.0	15.6	1.0694	1483.5											
					23	3	39.37	1383	1216	1025	793	590	395	289	228	204	40.0	1406	1236	1041	805	600	401	294	231	208	13.0	15.6	1.0694	1503.0											
K 0+390	4.76785	-74.0624833	10	70	22	1	41.85	1234	961	665	462	372	258	201	169	127	40.0	1179	918	635	441	355	247	192	161	122	13.1	15.5	1.0500	1238.1	K 0+390	1176	878	630	447	356	251	197	166	131
					22	2	41.14	1126	889	647	462	365	259	203	171	135	40.0	1095	864	629	450	355	252	198	166	131	13.1	15.5	1.0500	1149.5											
					22	3	40.93	1110	873	640	460	365	260	205	174	143	40.0	1085	853	625	449	357	254	201	170	140	13.1	15.5	1.0500	1139.3											
K 0+420	4.767625	-74.0626383	10	70	21	1	41.00	1065	879	681	488	412	279	219	169	144	40.0	1039	858	665	476	402	272	214	165	141	13.1	15.2	1.0500	1091.3	K 0+420	1081	868	675	481	408	275	216	165	145
					21	2	40.08	1030	878	682	485	413	278	218	166	147	40.0	1028	876	680	484	412	277	218	166	147	13.1	15.2	1.0500	1079.2											
					21	3	40.08	1025	872	682	485	412	277	216	166	147	40.0	1023	870	681	484	411	276	216	165	147	13.1	15.2	1.0500	1073.8											
K 0+450	4.7673883	-74.0628083	10	70	20	1	35.13	1721	1368	1123	789	601	386	301	227	195	40.0	1959	1558	1279	899	684	439	343	258	221	13.1	15.3	1.0500	2057.4	K 0+450	1933	1471	1214	853	650	416	324	245	211
					20	2	38.59	1721	1378	1138	800	610	390	304	230	198	40.0	1783	1428	1179	829	632	405	315	238	205	13.1	15.3	1.0500	1872.6											
					20	3	38.52	1713	1376	1140	801	611	391	303	228	199	40.0	1779	1428	1184	832	634	406	315	237	206	13.1	15.3	1.0500	1867.6											
K 0+480	4.7671933	-74.0629633	10	70	19	1	40.36	1438	1256	957	629	459	327	249	192	163	40.0	1425	1245	948	623	455	324	246	190	162	13.1	15.5	1.0500	1496.3	K 0+480	1485	1243	949	635	455	328	249	194	160
					19	2	40.36	1424	1256	958	677	459	333	253	198	160	40.0	1411	1245	949	670	455	330	251	196	158	13.1	15.5	1.0500	1481.4											
					19	3	40.08	1410	1242	950	612	457	331	251	196	162	40.0	1407	1239	948	611	456	330	250	196	161	13.1	15.5	1.0500	1477.8											

ANEXO k – Resultados parámetros estructurales AASHTO

PROYECTO: Evaluacion Estructural Pav. Articulado
CLIENTE: Universidad Militar Nueva Granada
UBICACIÓN: Carrera 76 entre Calles 170 y 175

EVALUACIÓN DEFLECTOMÉTRICA- PARÁMETROS ESTRUCTURALES - FWD - NORMA AASHTO 93

Radio de placa: 15 cm (5.9 in)
EQUIPO: DYNATEST HWD 8082-153
EJECUTÓ: Adriana Cubides - Camilo Falla

Sensor	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Ubicación	0.00	0.20	0.30	0.45	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80

Carga Normalizada: 40 kN
Temperatura Normalizada: 20 °C

	VALOR PROMEDIO									ESPESORES DE PAVIMENTO				CUENCO				VARIABLES ESTRUCTURALES						
LOC	D1 µm	D2 µm	D3 µm	D4 µm	D5 µm	D6 µm	D7 µm	D8 µm	D9 µm	Capas Ligadas (m)	Capas Granulares (m)	H total (m)	H total (in)	AREA	BCI	BDI	SCI	Mr AASHTO (kg/cm²)	Mr AASHTO (psi)	Mr AASHTO Diseño (kg/cm²)	Mr AASHTO Diseño (psi)	Ep AASHTO (psi)	Ep AASHTO (kg/cm²)	SN efectivo AASHTO
15.0																								
	935	688	548	388	267	185	151	112	45	0.10	0.70	0.80	31.5	19.72	122	159	387	586	8,366	205	2,928	23,372	1,636	4.1
K 0+60	947	675	479	361	274	179	139	112	103	0.10	0.70	0.80	31.5	18.37	87	118	468	605	8,648	212	3,027	22,794	1,596	4.0
K 0+90	1,022	800	617	389	300	189	147	105	93	0.10	0.70	0.80	31.5	19.58	89	228	405	575	8,214	201	2,875	20,995	1,470	3.9
K 0+120	703	501	419	299	275	199	162	126	105	0.10	0.70	0.80	31.5	20.59	24	119	285	501	7,151	175	2,503	35,678	2,497	4.7
K 0+150	1,250	1,014	863	592	466	288	250	178	142	0.10	0.70	0.80	31.5	22.20	126	271	387	377	5,382	132	1,884	18,235	1,276	3.7
K 0+180	914	730	617	395	333	233	182	151	138	0.10	0.70	0.80	31.5	21.48	62	222	297	465	6,639	163	2,324	25,728	1,801	4.2
K 0+210	987	758	552	413	335	245	192	154	140	0.10	0.70	0.80	31.5	19.77	77	139	435	443	6,327	155	2,215	23,634	1,654	4.1
K 0+240	708	606	439	342	272	197	164	128	110	0.10	0.70	0.80	31.5	21.55	69	98	269	495	7,066	173	2,473	35,517	2,486	4.7
K 0+270	945	732	538	401	332	239	195	153	140	0.10	0.70	0.80	31.5	20.04	70	137	407	453	6,476	159	2,267	24,836	1,739	4.1
K 0+300	1,292	1,016	819	605	476	305	235	184	157	0.10	0.70	0.80	31.5	21.44	129	214	473	355	5,072	124	1,775	17,781	1,245	3.7
K 0+330	1,671	1,288	958	710	561	357	269	208	183	0.10	0.70	0.80	31.5	19.99	149	248	713	304	4,338	106	1,518	13,356	935	3.4
K 0+360	1,492	1,230	1,032	791	594	395	291	231	203	0.10	0.70	0.80	31.5	23.05	197	241	460	280	3,993	98	1,398	15,854	1,110	3.6
K 0+390	1,176	878	630	447	356	251	197	166	131	0.10	0.70	0.80	31.5	18.80	91	183	546	432	6,176	151	2,162	18,974	1,328	3.8
K 0+420	1,081	868	675	481	408	275	216	165	145	0.10	0.70	0.80	31.5	21.10	73	194	406	394	5,633	138	1,971	21,734	1,521	4.0
K 0+450	1,933	1,471	1,214	853	650	416	324	245	211	0.10	0.70	0.80	31.5	20.85	203	361	719	260	3,718	91	1,301	11,577	810	3.2
K 0+480	1,485	1,243	949	635	455	328	249	194	160	0.10	0.70	0.80	31.5	20.63	180	314	537	330	4,719	116	1,652	15,163	1,061	3.5