



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS
TERRESTRES

METODOLOGÍA PARA LA RECOMENDACIÓN DE
TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN Y DELIMITACIÓN
DE ZONAS HOMOGÉNEAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

EDUARDO DANIEL RAYA GAMIÑO

ASESOR:

DR. JORGE ALARCÓN IBARRA

Co - ASESOR:

DR. LUIS ALBERTO MORALES ROSALES

Morelia, Michoacán, Noviembre de 2021



Resumen

Existen técnicas y tecnologías novedosas en lo que respecta a la conservación de pavimentos, que deben ser aprovechadas por los ingenieros y técnicos que participan en este sector de la construcción, pero también es necesario su estudio para definir las condiciones en las que son más efectivas y en qué tipo y nivel de daño presentan un mejor desempeño.

Considerando que existe una cantidad importante de tratamientos de conservación y que además se sigue en la búsqueda de nuevas opciones, cabe recalcar que actualmente el proceso de selección de las técnicas de conservación que mejor se adecue para un tramo carretero, se realiza principalmente de acuerdo con la experiencia del encargado de la conservación y sin pretender restarle importancia a este aspecto, no se cuenta con un análisis más objetivo que le de sustento a la toma de decisiones.

Atendiendo dicha necesidad, en esta tesis se presenta una metodología para la selección de tratamientos de conservación en pavimentos flexibles, que está conformada por cinco etapas principales. Incluyen el análisis integral de los factores de desempeño propuestos por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) para la auscultación de pavimentos (Índice de Regularidad Internacional 'IRI', la profundidad de roderas, deflexiones, coeficiente de fricción, macrotextura y deterioros superficiales), la delimitación de las zonas homogéneas, la evaluación difusa del daño superficial y la recomendación de los trabajos de conservación que resulten adecuados para el daño identificado.

La principal aportación de esta metodología radica en fortalecer las características de juicio durante el proceso de selección de los tratamientos de conservación, así como la de ofrecer una metodología integral para la obtención de zonas homogéneas, empleando de manera conjunta y jerárquica los factores de desempeño para que representen una mejor descripción de los deterioros presentes en el pavimento.

Palabras clave: tratamientos, conservación, desempeño, homogéneas, difuso.

Abstract

Exist novel techniques and technologies with regard to the conservation of pavements, which must be used by the engineers and technicians who participate in this construction sector, but their study is also necessary to define the conditions in which they are most effective and in what type and level of damage do they perform better.

Considering that there is a significant number of conservation treatments and that the search for new options is also being continued, it should be emphasized that currently the process of selecting the conservation techniques that is best suited for a road section is carried out mainly in accordance with the experience of the conservation manager and without trying to downplay this aspect, there is no more objective analysis to support decision-making.

In response to this need, this thesis presents a methodology for the selection of conservation treatments in flexible pavements, which is made up of five main stages. They include the comprehensive analysis of the performance factors proposed by the Ministry of Infrastructure, Communications and Transportation (SICT) for the auscultation of pavements (International Regularity Index 'IRI', the depth of ruts, deflections, coefficient of friction, macro-texture and deterioration surface areas), the delimitation of homogeneous areas, the diffuse evaluation of surface damage and the recommendation of conservation works that are adequate for the damage identified.

The main contribution of this methodology lies in strengthening the judgment characteristics during the selection process of conservation treatments, as well as offering a comprehensive methodology to obtain homogeneous areas, using jointly and hierarchically the performance factors to that represent a better description of the deterioration present in the pavement.

Keywords: treatments, conservation, performance, homogeneous, diffuse.

AGRADECIMIENTOS

A mi hermana Johana por su apoyo incondicional, acompañamiento constante y por las palabras de aliento en este camino. Agradezco el apoyo y los ánimos en las decisiones que he tomado.

A mis amigos, que siempre han sido parte fundamental en mi vida personal y académica, por motivarme a seguir adelante, a hacer cosas nuevas, perseverar, esforzarme y estar siempre presentes en lo bueno y en lo no tan bueno.

A mi asesor, el Dr. Jorge Alarcón por presentarme este tema que realmente me apasionó y por guiar mi recorrido por esta maestría y a lo largo del desarrollo de este proyecto.

A mi co-asesor, el Dr. Luis Alberto Morales en conjunto con el Dr. Jaime Saavedra por integrarse enteramente al equipo, el interés prestado en el proyecto, así como sus valiosas indicaciones y sugerencias.

A todo el personal académico, administrativo y compañeros de clase de la Maestría en Infraestructura del Transporte en la Rama de las Vías Terrestres, por todo el apoyo brindado durante esta etapa formativa de mi vida.

Al CONACYT por el apoyo económico para la elaboración de este proyecto.

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
AGRADECIMIENTOS	III
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Delimitaciones del proyecto	4
1.4 Objetivo principal	5
1.4.1 Objetivos particulares	6
1.5 Hipótesis	6
2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Niveles de conservación	8
2.1.1 Conservación rutinaria	8
2.1.2 Conservación periódica	8
2.1.3 Rehabilitación	9
2.1.4 Reconstrucción	9
2.1.5 Modernización	9
2.2 Factores de desempeño	10
2.2.1 Índice de Regularidad Internacional (IRI)	10
2.2.2 Profundidad de roderas (PR)	11
2.2.3 Coeficiente de fricción (CF)	12
2.2.4 Macrotextura (TX)	12
2.2.5 Deflexiones (DEF)	13
2.2.6 Deterioros superficiales (DET)	14
2.3 Marco conceptual	14
2.3.1 Normalización de datos	14
2.3.2 Diferencias acumuladas	16
2.3.3 Filtrado de señales para obtención de niveles de energía utilizando transformadas	17
2.3.4 Lógica difusa	21
3 ESTADO DEL ARTE	24

3.1	Trabajos relacionados con la selección de tratamientos de conservación . . .	24
3.2	Trabajos relacionados con el cálculo de zonas homogéneas	27
4	METODOLOGÍA PROPUESTA	29
4.1	Metodología para la recomendación de tratamientos de conservación y de- limitación de zonas homogéneas en pavimentos flexibles	29
4.2	Datos de entrada, especificaciones y consideraciones	31
4.3	Organización de los datos de entrada	34
4.4	Cálculo de zonas homogéneas	40
4.5	Análisis difuso del deterioro	46
4.5.1	Análisis de la clase 1: Agrietamiento (AGR)	52
4.5.2	Análisis de la clase 2: Defectos superficiales (DSUP)	66
4.5.3	Análisis de la clase 3: Deformaciones (DF)	67
4.5.4	Análisis de la clase 4: Baches y bacheo (BYB)	71
4.5.5	Análisis de la clase 5: Varios (VA)	73
4.5.6	Aplicación práctica de la fase 4: Análisis del deterioro	73
4.6	Recomendación de tratamientos de conservación	76
4.6.1	Paso 1: Interpretación del daño superficial	78
4.6.2	Paso 2: Combinaciones de niveles de severidad	80
4.6.3	Paso 3: Reglas de evaluación para combinaciones de severidad . . .	81
4.6.4	Paso 4: Tratamientos convencionales para conservación de pavimentos	82
4.6.5	Paso 5: Matriz de tratamientos de conservación	84
4.6.6	Paso 6: Clasificación de tratamientos de conservación	84
4.6.7	Paso 7: Combinación de tratamientos de conservación	85
4.6.8	Paso 8: Recomendación de tratamientos de conservación	87
4.6.9	Aplicación práctica de la fase 5: Recomendación de tratamientos de conservación	88
5	APLICACIÓN DE PROPUESTA METODOLÓGICA	90
5.1	Aplicación para caso práctico: FASE 1	90
5.2	Aplicación para caso práctico: FASE 2	92
5.3	Aplicación para caso práctico: FASE 3	96
5.4	Aplicación para caso práctico: FASE 4	101
5.5	Aplicación para caso práctico: FASE 5	104
6	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	107
6.1	Conclusiones	107
6.2	Trabajo futuro	109
A	Análisis del deterioro	111
B	Tratamientos de conservación	119

Índice de figuras

1.1	Curva de deterioro del pavimento.	5
1.2	Sección de construcción de un pavimento.	5
2.1	Escala original del banco mundial para el IRI.	11
2.2	Esquema de una rodera.	11
2.3	Esquema del coeficiente de fricción (microtextura).	12
2.4	Esquema de la macrotextura.	13
2.5	Cuenca de deformación medida con los sensores tras el impacto.	13
2.6	Gráfica Zx vs Cadenamiento (Caso ejemplo).	17
2.7	Transformada de Fourier, para el sonido compuesto por las notas musicales RE, LA.	19
2.8	Transformadas Wavelet, para una señal ejemplo.	20
2.9	Comparativa de energía para dos señales con valores distintos y el nivel 3 de aproximación.	21
2.10	Diagrama bajo un análisis clásico de una grieta.	22
2.11	Diagrama bajo un análisis difuso de una grieta.	23
4.1	Metodología para la recomendación de tratamientos de conservación en pavimentos flexibles.	29
4.2	Normalización de valores IRI.	35
4.3	Gráfica de diferencias acumuladas: factor de desempeño IRI.	37
4.4	Pantalla inicial de MATLAB con señales cargadas.	38
4.5	Importar señal.	38
4.6	Transformada wavelet del IRI para nivel 4 de descomposición.	39
4.7	Índice de Regularidad Internacional, caso práctico.	41
4.8	Metodología para el cálculo de Zonas Homogéneas.	42
4.9	Parte I. Agrupamiento de los deterioros superficiales.	48
4.10	Agrupamiento de los deterioros superficiales en clases y sub-módulos.	50
4.11	Regla de evaluación del daño superficial en el pavimento.	50
4.12	Parte II. Análisis Modular.	51
4.13	Conjuntos difusos correspondiente a los deterioros que conforman al sub-módulo AGR1.	53
4.14	Conjunto difuso correspondiente a la SALIDA del sub-módulo AGR1.	54
4.15	Superficie de respuesta del sub-módulo AGR1.	56
4.16	Reglas y respuesta del sub-módulo AGR1.	57

4.17	Conjunto difuso correspondiente a los deterioros que conforman al sub-módulo AGR2.	58
4.18	Conjuntos difusos correspondiente a la SALIDA del sub-módulo AGR2. . .	58
4.19	Superficie de respuesta del sub-módulo AGR2.	60
4.20	Conjunto difuso para el deterioro agrietamiento en la orilla y agrietamiento por deslizamiento.	61
4.21	Conjunto difuso en la salida para clase AGRIETAMIENTO (AGR).	62
4.22	Superficie de respuesta. Clase: AGRIETAMIENTO (AGR).	65
4.23	Superficie de respuesta. Clase: DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP). . .	67
4.24	Superficie de respuesta: Sub-módulo deformaciones (DF1).	69
4.25	Superficie de respuesta: Sub-módulo deformaciones (DF2).	70
4.26	Superficie de respuesta. Clase: DEFORMACIONES (DF).	71
4.27	Superficie de respuesta. Clase: BACHES Y BACHEO (BYB).	73
4.28	Procedimiento para aplicación práctica de la fase 4: Análisis del deterioro.	74
4.29	Metodología para la construcción de fase 5: Recomendación de tratamientos de conservación.	77
4.30	Superficie de respuesta de los deterioros superficiales. Interacción cinco clases.	79
4.31	Rangos para niveles de severidad en la clase del AGRIETAMIENTO	80
4.32	Matriz de tratamientos convencionales para conservación de pavimentos flexibles vs clases de deterioros superficiales.	85
4.33	Procedimiento para aplicación práctica de la fase 5: Recomendación de tratamientos de conservación.	89
5.1	Carretera MEX-57. Tramo en estudio: San Luis Potosí - Matehuala.	91
5.2	Normalización: Deflexiones (DEF).	93
5.3	Normalización: Índice de regularidad internacional (IRI) y Profundidad de roderas (PR).	93
5.4	Normalización: Macrotextura (TX) y Coeficiente de fricción (CF).	93
5.5	Diferencias acumuladas: Deflexiones (DEF).	93
5.6	Diferencias acumuladas: Índice de regularidad internacional (IRI) y Profundidad de roderas (PR).	94
5.7	Diferencias acumuladas: Macrotextura (TX) y Coeficiente de fricción (CF).	94
5.8	Transformadas wavelet: Deflexiones (DEF).	94
5.9	Transformadas wavelet: Índice de regularidad internacional (IRI) y Profundidad de roderas (PR).	95
5.10	Transformadas wavelet: Macrotextura (TX) y Coeficiente de fricción (CF).	95
5.11	Seccionamiento: etapa 1.	97
5.12	Comparación de energía IRI - PR: tramo 76+500 - 82+000.	98
5.13	Seccionamiento: tramo 76+500 - 82+000.	98
5.14	Seccionamiento: Etapa 2.	99
5.15	Seccionamiento final: tramo San Luis Potosí - Matehuala.	100
5.16	Daño superficial: tramo 88+000 - 90+000.	104
A.1	Conjunto difuso para clase 2: DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP). . .	113
A.2	Conjunto difuso sub-módulo DF1.	113

A.3	Conjunto difuso sub-módulo DF2.	115
A.4	Conjunto difuso para clase 3: DEFORMACIONES (DF).	116
A.5	Conjunto difuso para clase 4: BACHES Y BACHEO (BYB).	118
A.6	Conjunto difuso. Clase: Varios (VA).	118

Índice de tablas

3.1	Parámetros de evaluación utilizados en las investigaciones del estado del arte	25
3.2	Factores de desempeño y aportaciones adicionales en que se basan los proyectos del estado del arte.	26
3.3	Trabajos relacionados con la delimitación de zonas homogéneas	28
4.1	Datos de entrada, especificaciones y consideraciones	32
4.2	Procedimiento de cálculo para diferencias acumuladas.	35
4.3	Funciones de membresía en la ENTRADA para los deterioros que conforman al sub-módulo AGR1.	53
4.4	Funciones de membresía en la SALIDA para el AGR1.	54
4.5	Reglas obtenidas de la interacción de los deterioros que conforman al sub-módulo AGR1.	55
4.6	Funciones de membresía en la ENTRADA para los deterioros que conforman al sub-módulo AGR2.	57
4.7	Funciones de membresía en la SALIDA para el AGR2.	58
4.8	Reglas obtenidas de la interacción de los deterioros que conforman al sub-módulo AGR2.	59
4.9	Funciones de membresía en la ENTRADA para los deterioros que conforman la clase AGRIETAMIENTO (AGR).	62
4.10	Reglas obtenidas para la interacción de los sub-módulos y deterioros que conforman la clase Agrietamiento (AGR).	63
4.11	Funciones de membresía en la SALIDA para la clase AGRIETAMIENTO (AGR).	64
4.12	Rangos para niveles de severidad de cada una de las 5 clases de deterioros superficiales.	79
4.13	Ejemplos de combinaciones de niveles de severidad de las cinco clases de deterioros superficiales.	81
4.14	Ejemplos de combinaciones de severidad y su correspondiente nivel de conservación asignado.	82
4.15	Tratamientos de conservación: rehabilitación baja y rehabilitación alta. . .	86
4.16	Combinación de tratamientos de conservación: Rehabilitación baja (RB). .	86
4.17	Ejemplo: interpretación del daño superficial (Combinación 200).	88

4.18	Recomendación de tratamientos de conservación para una combinación 'NSSNS'.	88
5.1	Evaluación de deterioros superficiales: tramo 88+000 - 90+000.	102
5.2	Evaluación parcial difusa tramo 88+000 - 90+000: sub-módulos AGR1, AGR2, DF1 y DF2.	102
5.3	Evaluación difusa tramo 88+000 - 90+000: Clases AGR, DSUP,DF, BYB y VA.	103
5.4	Interpretación de daño para cada clase de deterioros superficiales.	105
5.5	Tratamientos de conservación.	106
A.1	Parámetros de funciones de membresía para clase 2: DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP).	112
A.2	Reglas de interacción de niveles de severidad. Clase de DEFECTOS SUPERFICIALES.	112
A.3	Parámetros de funciones de membresía para sub-módulos DF1 y DF2.	114
A.4	Reglas de interacción de niveles de severidad. Sub-módulos DF1 y DF2.	114
A.5	Parámetros de funciones de membresía para clase 3: DEFORMACIONES (DF).	115
A.6	Reglas de interacción de niveles de severidad. Clase de DEFORMACIONES (DF).	116
A.7	Parámetros de funciones de membresía para clase 4: BACHES Y BACHEO (BYB).	117
A.8	Reglas de interacción de niveles de severidad. Clase de BACHES Y BACHEO.	117
B.1	Combinación de tratamientos de conservación: Periódica baja (PB).	120
B.2	Tabla A. Combinación de tratamientos de conservación: Periódica alta (PA).	121
B.3	Tabla B. Combinación de tratamientos de conservación: Periódica alta (PA).	122
B.4	Combinación de tratamientos de conservación: Rehabilitación alta (RA).	123
B.5	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	124
B.6	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	125
B.7	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	126
B.8	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	127
B.9	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	128
B.10	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	129
B.11	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	130
B.12	Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.	131

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Evitar sobre costos durante la operación de los pavimentos y que además estos se mantengan en un buen estado, es uno de los principales factores para el desarrollo de un país. Además, es vital el poder ofrecer a los usuarios que transitan sobre las vialidades niveles altos de confort y seguridad; es por esta razón que se genera el interés de desarrollar metodologías o herramientas que permitan gestionar correctamente los tratamientos de conservación para pavimentos. El principal objetivo de las herramientas de gestión en el tema de conservación de pavimentos es el desarrollar criterios de selección de los trabajos adecuados que simplifiquen la toma de decisiones, así como ofrecer alternativas realistas que también consideren el aspecto económico.

El tema de conservación de pavimento, ha generado un auge bastante importante de investigación en el país en los últimos años, debido a la existencia de una red carretera consolidada que cubre los principales puntos de movimiento de mercancías y pasajeros. Con la construcción de nuestra red carretera nacional, ha surgido la necesidad de desarrollar investigaciones que proporcionen metodologías y técnicas que permitan conservar la calidad de dicha red y alargar su vida útil.

La conservación de pavimentos está definida como el conjunto de actividades a realizar, orientadas a ofrecer y a mantener en condiciones óptimas, o al menos buenas, los pavimentos, tendiendo a mantener a lo largo de su vida útil un nivel de servicio lo más parecido al que se tenía cuando se construyó la vía o mínimamente un valor aceptable de servicio de la misma [1].

Con aplicar trabajos de conservación a un tramo carretero no solo se busca cubrir las necesidades económicas y de tiempos de ejecución del constructor al momento de seleccionar la técnica que satisfaga las características particulares del sitio. Además, es necesario presentar a las autoridades que competen, un esquema validado que explique el por qué y cómo será distribuida su inversión, para que puedan alcanzar las metas del proyecto de que se trate, y también ofrecer al usuario una vialidad con un buen nivel de servicio, que le brinde confort y seguridad.

Es importante mencionar que, actualmente en los planes de infraestructura carretera, el peso que recae en el tema de conservación de pavimentos es bastante significativo. A nivel nacional e internacional, el plan de infraestructura carretera va enfocado principalmente a la conservación de las carreteras existentes con un aporte económico anual, por encima del presupuesto destinado a la construcción de nuevos tramos.

Además, en el área de la conservación de pavimentos, está comprobado que resulta más conveniente realizar trabajos de conservación de manera periódica a los pavimentos, resultando en un costo bajo al momento de realizar este tipo de trabajos en comparación con el caso de no hacer nada [1].

Realizar entonces trabajos de conservación, involucran una inversión económica y de tiempo, motivo por el cual es de vital importancia desarrollar una metodología formal que permita seleccionar el tratamiento de conservación que convenga aplicar en el caso particular que se esté trabajando; en esta tesis, se propone desarrollar la metodología que permita solventar dicha situación, en la cual se consideren los diferentes factores de desempeño propuestos por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

1.1. Justificación

Al existir una gran gama de tratamientos de conservación de pavimentos que son aplicables para diferentes condiciones y características del mismo, la elección del tratamiento que debe ser aplicado, se ve afectada por la expertis del constructor.

La investigación que se desarrolla con esta tesis considera entonces un compendio de técnicas para la conservación, contemplando diferentes condiciones y características del pavimento. La investigación se enfoca únicamente en la sección y capas del pavimento, ya que es la primera imagen que los usuarios evalúan, traduciendo cualquier daño de la zona como factor de inseguridad y bajo nivel de confort al circular por la vía.

No se debe restar importancia a los demás elementos que conforman la sección transversal de una carretera, como son las obras hidráulicas, el señalamiento, puentes, entre otros, pero así como el usuario básicamente lo primero que procesa al circular por la vía es la superficie de rodadura del pavimento, el vehículo también presenta una relación muy cercana con dicha superficie al encontrarse ambos elementos en contacto directo.

La relación vehículo - superficie de rodadura, le suma importancia al momento elegir a la estructura del pavimento como el elemento sobre el cual se debe trabajar en una primera instancia, para disminuir la accidentalidad que de no hacer nada se presentaría.

La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT) en su página oficial, sugiere para auscultar un pavimento, una serie de factores de desempeño que describen el comportamiento estructural del mismo con la obtención de las deflexiones, el comportamiento funcional con el índice de regularidad internacional y la profundidad de roderas y el comportamiento por seguridad con la obtención del coeficiente de fricción y la macrotextura, además del aspecto superficial físico de estos factores con los deterioros superficiales.

Con la medición de los factores de desempeño mencionados se tiene una base para seleccionar los tratamientos de conservación, pero aun cuando son resultados cuantitativos, la experiencia del tomador de decisiones tiene un papel muy importante, teniendo casos en los que la decisión se basa únicamente en recomendaciones por casos de éxito o en su defecto por que el personal que toma la decisión busca implementar tratamientos innovadores.

Entonces, en esta tesis se realiza un análisis integral de los factores de desempeño propuesto por la SICT, utilizando técnicas estadísticas como las diferencias acumuladas,

transformadas Wavelet y la lógica difusa, que nos permitan trabajarlos de manera conjunta.

Se busca fortalecer las características de juicio de los tomadores de decisiones durante el proceso de selección de los trabajos de conservación de un pavimento flexible, ya que éstos en la mayoría de los casos toman la decisiones de manera arbitraria, basándose en la experiencia, y aun cuando se tenga un amplio conocimiento de diferentes tratamientos de conservación, la situación no es del todo adecuada.

La investigación expuesta en esta tesis, ofrece y describe una metodología formal, que permite simplificar la selección del tipo de trabajos que es adecuado de aplicar en el caso de estudio del que se trate, bajo las condiciones y características del mismo, además se propone una metodología particular para delimitar tramos homogéneos de un pavimento.

1.2. Planteamiento del problema

Realizar investigaciones sobre el tema de conservación de pavimentos, adquiere un alto nivel de importancia, considerando que generalmente se busca aprovechar al máximo la existencia del pavimento. Se puede prolongar la vida útil de un pavimento aplicándole una conservación programada adecuadamente, disminuyendo además, el costo de la realización de los trabajos si se compara con el costo que se puede tener de no hacer nada.

La idea se puede presentar con la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo seleccionar el tratamiento de conservación adecuado para el pavimento correcto, en un tiempo oportuno?

La comprensión de término ‘adecuado’, en lo que a la selección de los trabajos de conservación se refiere, depende en la mayoría de los casos, de la apreciación y experiencia del constructor, pudiendo de esta manera errar con mucha facilidad y de manera inconsciente, presentándose así la necesidad de disminuir ese error que nos aleja del objetivo que se tiene en la selección adecuada tanto del nivel de conservación como del tratamiento de conservación adecuados.

Uno de los agentes importantes que se mencionan es que una vez que las obras han sido terminadas y empiezan a operar, es muy posible que las personas que se encarguen de los trabajos de mantenimientos y conservación, no sean los mismos que llevaron a cabo la construcción, lo cual provoca que no se tenga el conocimiento completo de las características y condiciones del sitio, esto reflejándose en una mala selección de los trabajos de conservación que se debería aplicar y por lo tanto se generan pérdidas económicas y de calidad en el pavimento.

Otro factor que interviene en la incorrecta selección de los trabajos, es una posible falta de experiencia por parte de las personas que tienen adjudicados estos trabajos, en el desempeño de los tratamientos aplicables a la conservación o incluso teniendo experiencia en este campo de ingeniería, lo que puede ocurrir es que el desconocimiento vaya más enfocado a las condiciones en que los tratamientos presentan un déficit en su desempeño.

Por todo ello es necesario diseñar una metodología formal que sustente y simplifique la toma de decisiones durante el proceso de selección de los trabajos necesarios para un

tramo carretero en estudio, que satisfaga las necesidades tanto del constructor como del usuario y las propias del sitio, dejando únicamente a criterio del encargado de los trabajos la decisión de elegir o no, las recomendaciones de tratamientos de conservación que arroje la metodología desarrollada en esta tesis.

1.3. Delimitaciones del proyecto

El tema de conservación de carreteras es un tema muy extenso si se aborda desde el punto de vista de los cinco niveles de conservación y de los elementos que conforman una vialidad, es por ello que se marcaron delimitaciones para alcanzar los objetivos en tiempo y forma, cubriendo también los intereses de la investigación.

Para el caso se delimita el proyecto bajo tres consideraciones:

I. Esquema de contratación.

La propuesta metodológica para recomendar tratamientos de conservación y delimitar zonas homogéneas, es concebida para ser aplicada en cualquier esquema de contratación y para los requerimientos a los que están sujetos.

Se debe tener en cuenta que las especificaciones y factores de desempeño a los que están sujetos los esquemas de contratación pueden variar. Entonces, para que la metodología pueda ser aplicada en su totalidad, es necesario que las especificaciones y factores de desempeño, se alineen con lo considerado en esta tesis, caso contrario los resultados podrían ser desiguales en comparación con el caso de contar con la totalidad de los insumos.

II. Niveles de conservación.

Para el caso se considera desarrollar el proyecto para los niveles dos y tres de conservación:

2. Conservación periódica

3. Rehabilitación

En la figura 1.1 se puede observar el comportamiento de la calidad del pavimento con respecto al tiempo tanto el caso de no realizar ningún trabajo de conservación (pavimento deteriorado), como de realizar una intervención con trabajos de conservación en un punto de la curva de deterioro del pavimento (curva en color rojo) y cuál sería el comportamiento de dicha curva en el tiempo, una vez aplicado el mantenimiento.

Además, la vida útil del pavimento se puede prolongar, dándole un seguimiento de conservación, logrando incluso recuperar el nivel de servicio inicial del pavimento si los tratamientos se aplican en el tiempo correcto y para el pavimento también correcto.

III. Elementos de la sección transversal.

Como tercer limitante, y sin desestimar la importancia que tienen los demás elementos de la sección transversal del camino, como son las obras hidráulicas o los taludes,

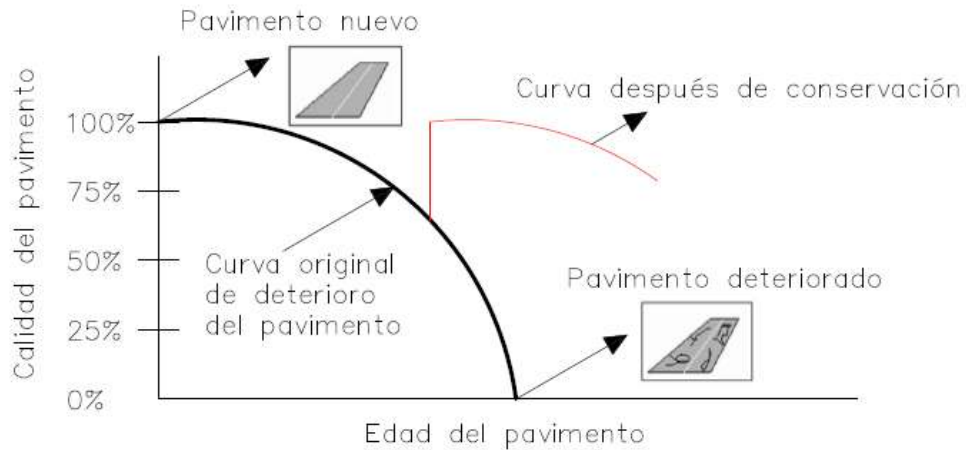


Figura 1.1: Curva de deterioro del pavimento.

se delimita el enfoque deseado en este proyecto, dirigiéndolo en lo correspondiente a la sección del pavimento.

e. Sección del pavimento

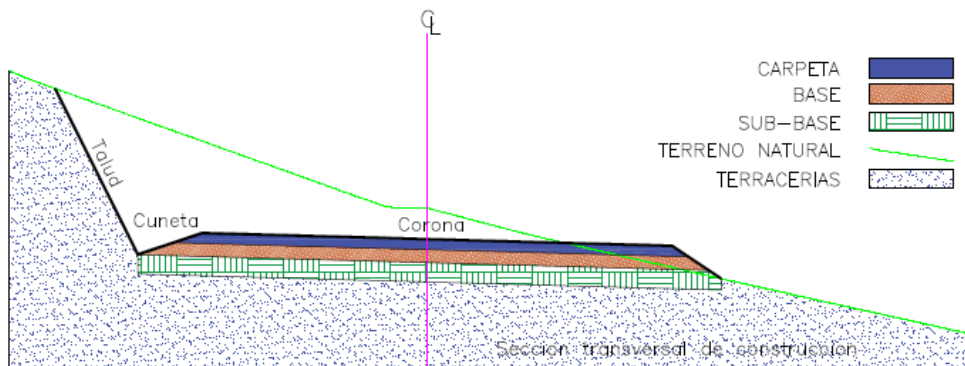


Figura 1.2: Sección de construcción de un pavimento.

Ya que, por el tercer nivel de conservación, el cual es una de las limitantes del proyecto, afecta la parte estructural del pavimento, en la figura 1.2 se observa no solo la capa superficial, también se presentan todas las capas que conforman la sección del pavimento, que es la segunda limitante que el proyecto toma en consideración.

1.4. Objetivo principal

Como no existe una metodología de análisis de tratamientos de conservación que permita realizar la extrapolación del conocimiento acumulado en incontables casos en los que se han implementado programas de conservación, se tiene como objetivo principal:

“Desarrollar una metodología formal que permita simplificar el proceso de selección de tratamientos de conservación y delimitación de zonas homogéneas, basada en un análisis de factores estructurales, funcionales y de seguridad”.

Es necesario alcanzar objetivos particulares que le den soporte al objetivo principal, particularidades que se enfocan en estudiar diferentes tratamientos de conservación aplicadas de manera individual o en conjunto, tomando en cuenta tanto calidad como nivel de servicio que cada una de estas técnicas aporta a la red vial. Se proponen objetivos particulares que a medida que se alcancen, el objetivo principal se encontrará en un horizonte cada vez más próximo.

1.4.1. Objetivos particulares

1. Identificar los factores de desempeño que nos permitan evaluar el pavimento y caracterizarlo con el objetivo de conocer la condición actual del mismo, desde el aspecto estructural, funcional y de seguridad.
2. Definir la metodología con la que se pueda realizar un correcto seccionamiento de tramos carreteros en secciones que compartan similitudes en cuanto a su condición estructural, funcional y de seguridad.
3. Adaptar los conocimientos y valores empíricos de la condición de un pavimento, realizando su conversión numérica con el fin de lograr resultados analíticos e imparciales, haciendo uso de las herramientas estadísticas necesarias como la lógica difusa.
4. Identificar los principales tratamientos de conservación que son aplicados en la actualidad para crear con ellos un conjunto de información que permita realizar combinaciones de tratamientos.
5. Definir las características que influyen en la selección de los tratamientos de conservación, las ventajas y desventajas en su aplicación y las condiciones para las que su desempeño se considera exitoso.
6. Relacionar tratamientos de conservación con los niveles de conservación periódica y rehabilitación, permitiéndonos realizar recomendaciones para diferentes grados de daño en un pavimento sujeto a conservación.

1.5. Hipótesis

La adecuada selección y aplicación de tratamientos de conservación para pavimentos flexibles y la correcta delimitación de tramos homogéneos, son factores determinantes para el correcto desempeño de un programa de conservación de pavimentos; estos procedimientos se han venido desarrollando principalmente, de manera subjetiva con el conocimiento de los experimentados en el tema.

Es con la intención de eliminar subjetividades y errores de juicio en los tomadores de decisiones para la conservación de carreteras, que se requiere del desarrollo de metodologías

estándar que permitan recomendar tratamientos de conservación de acuerdo al nivel de daño del tramo homogéneo para un pavimento.

La hipótesis que se propone confirmar es:

"Se puede desarrollar una metodología integral que permita delimitar correctamente los tramos homogéneos de un pavimento y recomendar tratamientos de conservación acordes al nivel de daño identificado para cada tramo; esta metodología debe basarse en un análisis de la condición estructural, funcional y de seguridad del pavimento".

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

La conservación de pavimentos está definida como las actividades que se desarrollan u orientan a mantener las vialidades carreteras. La conservación de pavimentos se realiza implementando tratamientos que se han analizado y tienen como única finalidad el aprovechar al máximo los pavimentos alargando su vida útil.

Profundizando en el tema de conservación, que aun cuando podría parecer simple, no lo es; se comienza por explicar que se cuenta con varios niveles que se enfocan en diferentes aspectos y se pueden aplicar en tiempos diferentes uno del otro.

Se tienen entonces cinco niveles de conservación, de acuerdo a lo descrito en la guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México [2], que son presentados en los párrafos siguientes, de manera ordenada ascendente; dicho orden va referido al tiempo en que deben aplicarse cada uno para que sea lo más económico posible y que satisfaga los requerimientos de desempeño, seguridad y confort de la estructura del pavimento.

2.1. Niveles de conservación

2.1.1. Conservación rutinaria

Este nivel de conservación se encuentra enfocado en conservar en buenas condiciones la superficie de rodadura, las zonas laterales, las obras de drenaje, cortes, terraplenes, señalamiento y todos los elementos del camino dentro de la franja del derecho de vía.

En resumen, los trabajos que se llevan a cabo con la conservación rutinaria pueden ser limpieza y retiro de basura, reparaciones y reposiciones de algunos elementos etc. Teniendo en cuenta que en este nivel se enfoca en la capa de rodadura o espacios laterales a ésta, sin afectar o modificar la parte estructural de nuestro pavimento.

2.1.2. Conservación periódica

Se denomina conservación periódica a toda aquella obra de rehabilitación que en forma periódica o eventual son necesarias para que un camino siga ofreciendo unas condiciones adecuadas de servicio muy parecidas a las condiciones iniciales del pavimento.

De la misma manera que la conservación rutinaria, este segundo nivel de conservación, se enfoca en los tratamientos sobre la capa superficial del pavimento, sin afectar la parte estructural del mismo.

2.1.3. Rehabilitación

En el tercer nivel se tiene lo referente a la rehabilitación, en la cual se realizan trabajos mediante los cuales el pavimento es restaurado a su condición original de soporte mejorando sus características estructurales.

Para dicho nivel y en comparación con los dos niveles anteriores, en este se ve afectada la parte estructural del pavimento y los materiales provenientes del pavimento existente pueden formar parte de la nueva estructura.

2.1.4. Reconstrucción

Para este penúltimo nivel, los trabajos a realizar van enfocados a restituir o mejorar las características estructurales y/o geométricas del pavimento, utilizando en su mayoría materiales nuevos.

2.1.5. Modernización

El último nivel de conservación, más allá de modificar alguna característica estructural del pavimento con métodos tradicionales, va enfocado en aplicar tecnologías nuevas a nuestra carretera, incluso adicionando sistemas inteligentes de transporte (ITS), reconstrucciones de tramos, ampliaciones del mismo, etc.

Los cinco niveles descritos pueden ser aplicables a todos los elementos que conforman una vialidad, como son:

- a) Derecho de vía.
- b) Señalamiento:
 - Horizontal.
 - Vertical.
- c) Obras hidráulicas..
- d) Taludes:
 - Cortes.
 - Terraplenes.
- e) Sección del pavimento.

2.2. Factores de desempeño

La conservación de pavimentos consiste en un trabajo planificado y que se realiza para mantener o recuperar las condiciones de la vialidad, y lograr un buen estado del mismo.

De dichos trabajos se desprenden los tratamientos de conservación los cuales deben cumplir con aspectos de rentabilidad y extensión de la vida útil del pavimento. Dependiendo del nivel de conservación que requiera el pavimento, los tratamientos pueden agregar capacidad estructural a los mismos o simplemente enfocarse en la funcionalidad de la vía.

Información sobre los costos, condición del pavimento, historial de construcción, características de los materiales utilizados, clima, niveles de tráfico, así como la distribución del mismo, son factores que influyen directamente en la efectividad de los tratamientos de conservación y la forma de evaluarlos es analizando niveles de gravedad en algunos factores de desempeño del pavimento.

En México, de acuerdo a la página oficial de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), la evaluación de pavimentos se puede realizar con la medición de factores como el índice de regularidad internacional (IRI), profundidad de roderas (PR), coeficiente de fricción (CF), deterioros superficiales (DET), macro textura (TX) y deflexiones (DEF).

De acuerdo al valor que se obtiene de los mencionados factores se le puede asignar a los mismos un descriptor de “bueno”, “aceptable”, “no satisfactorio” y para el caso del coeficiente de fricción también “no aceptable (pulido)” o “no aceptable (áspero)”.

2.2.1. Índice de Regularidad Internacional (IRI)

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) de acuerdo a la norma N-CVS-CAR-1-03-004 de la SICT, se define como la medida de referencia que representa la regularidad de la superficie de un pavimento medido en m/km y se calcula con la relación entre el desplazamiento acumulado de la suspensión de un vehículo específico y la distancia recorrida por el mismo a una velocidad de 80 km/h.

El valor de IRI varía entre cero y dieciséis metros por kilómetro o incluso valores superiores. El banco mundial propuso una escala de IRI la cual se presenta en la figura 2.1.

Si prestamos atención a la figura 2.1, nos damos cuenta que la escala manejada es de 0 a 16 m/km, pero de manera general la escala aceptada y manejada de manera internacional para caminos pavimentados es de 0 a 12 m/km donde cero representa una vialidad con superficie perfectamente uniforme y el doce representa entonces una vialidad considerada intransitable.

Para México la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transportes cuenta con una norma de IRI, en la que presenta los rangos o valores de tolerancia de éste y la clasificación que entonces le corresponde a un determinado tramo carretero, de acuerdo a su evaluación.

El IRI además es uno de los factores de mucha relevancia a nivel internacional; la determinación y evaluación de este proporciona un panorama bastante claro de la condición superficial del pavimento y de acuerdo a su valor obtenido es posible considerar el tiempo y tipo de intervención que deberá darse al pavimento.

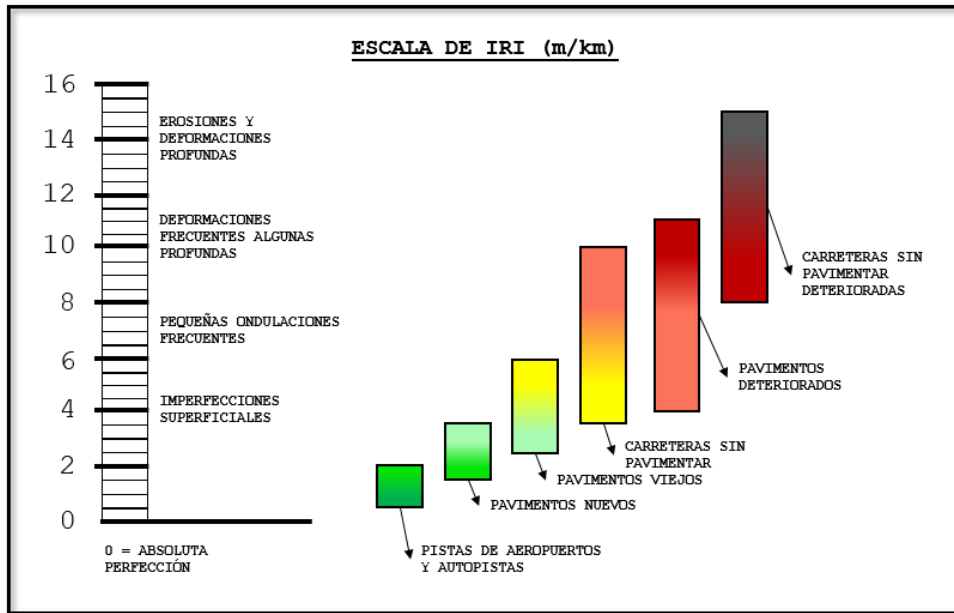


Figura 2.1: Escala original del banco mundial para el IRI.

2.2.2. Profundidad de roderas (PR)

La Profundidad de Roderas (PR) en milímetros, es un factor que representa la profundidad máxima de los surcos o huellas que se presentan en la superficie de una carretera pavimentada y que son resultado de la densificación o movimiento lateral por efectos del tránsito, de los materiales que la constituyen.

La figura 2.2, nos presenta un esquema de las roderas mismas que se miden en mm.

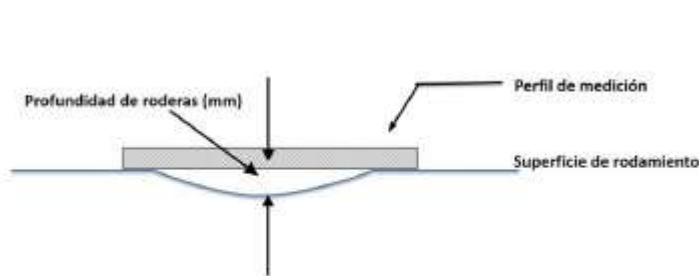


Figura 2.2: Esquema de una rodera.

Las roderas se forman principalmente por tres razones:

1. Por flujo lateral en la mezcla de concreto asfáltico.
2. Por deformación vertical permanente o plástica en una dimensión en las capas del concreto asfáltico.
3. Deformación mecánica de las capas inferiores a la capa superficial del pavimento.

La profundidad de roderas esencialmente representa un daño estructural del pavimento, pudiendo presentarse el daño a causa de la capa superficial o incluso por el debilitamiento de las capas inferiores. En síntesis, la resistencia del pavimento no es suficiente para dar respuesta a las cargas a las que es sometido.

2.2.3. Coeficiente de fricción (CF)

El factor Coeficiente de Fricción (CF) representa un factor de gran valor, y este se refiere a la resistencia que presenta la superficie de rodadura al movimiento relativo instantáneo entre los neumáticos de un vehículo y dicha superficie.

En la figura 2.3 se ejemplifica en un esquema simple, el concepto de coeficiente de fricción.

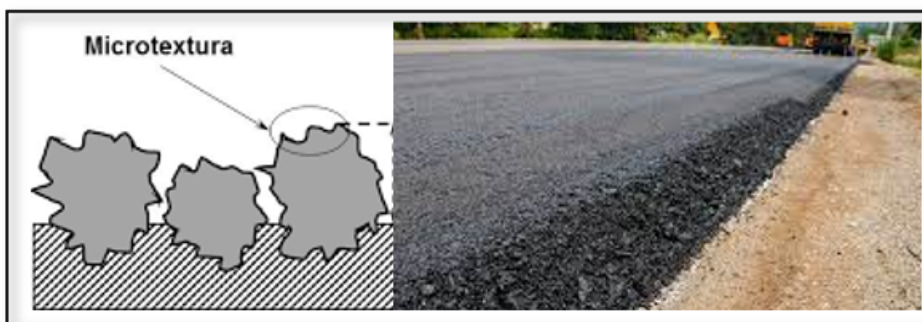


Figura 2.3: Esquema del coeficiente de fricción (microtextura).

Como se mencionó, para este factor además de su tipo de descriptor, cuando los valores que resulten de su medición sean muy bajos se dice que la superficie presenta pulimento y si por el contrario el valor es muy grande con respecto a sus rangos normados, se dirá que la superficie es áspera.

Si bien el coeficiente de fricción no representa precisamente un daño estructural del pavimento, su importancia recae en el hecho de la seguridad del usuario ya que una superficie con valores bajos de este coeficiente podría presentar derrape de los vehículos; en el otro extremo tenemos un desgaste excesivo e innecesario de los neumáticos del vehículo generándole pérdidas económicas al usuario.

2.2.4. Macrotextura (TX)

La macrotextura (TX) es el factor que representa el relieve de la capa de rodamiento del pavimento y depende de la composición de la mezcla, lechada de asfalto o del tratamiento que se le haya dado a la superficie y su unidad de medida son los milímetros.

En la figura 4.13 se ejemplifica en un esquema simple, el concepto de la macrotextura.

El factor macrotextura es el complemento del coeficiente de fricción, el cual está relacionado con la textura de los agregados y presenta la microtextura de la superficie, mientras que la macrotextura está relacionada principalmente con la composición de los agregados.

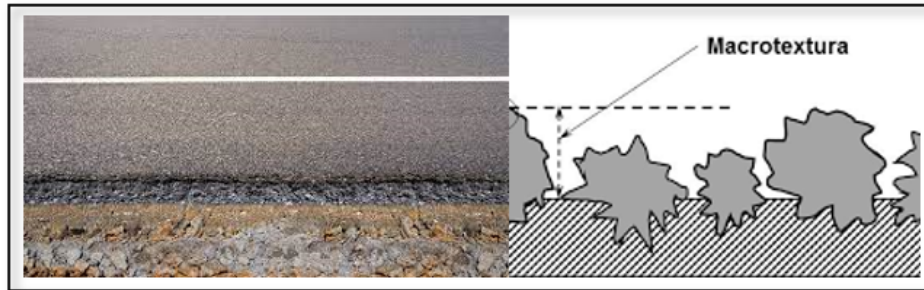


Figura 2.4: Esquema de la macrotextura.

También es interesante mencionar que de la misma manera que el coeficiente de fricción, la macrotextura no representa daños estructurales en el pavimento y la importancia de este factor se encuentra en el sentido de la seguridad del usuario.

El objetivo de una macrotextura adecuada es el ofrecer una alta resistencia al derrape de los neumáticos de los vehículos a altas velocidades y con el pavimento mojado, desplazando el agua de la superficie de contacto del neumático asegurando además un contacto directo con el pavimento evitando el hidroplaneo.

Algunos otros beneficios de una macrotextura adecuada es el evitar la pulverización de agua brindando seguridad adicional a la visibilidad del usuario.

La disminución del ruido con una macrotextura adecuada es un factor de comodidad para los usuarios, es un indicador relevante desde el punto de vista del usuario.

2.2.5. Deflexiones (DEF)

La deflexión (DEF) es un factor que representa el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento como respuesta a una carga externa (figura 2.5). Es un factor medido en milímetros de desplazamiento vertical.

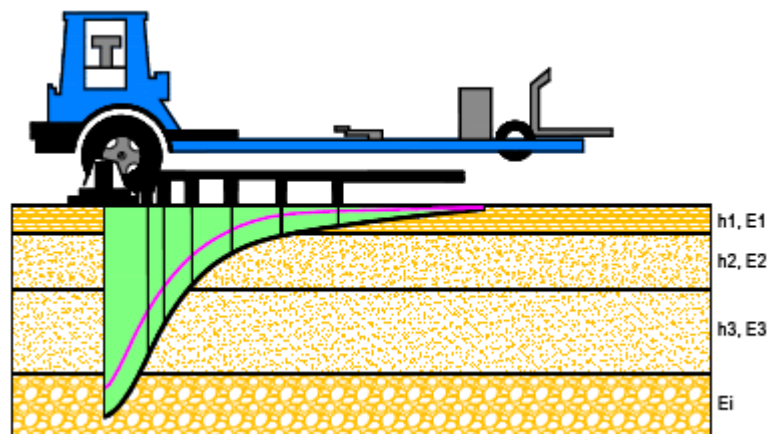


Figura 2.5: Cuenca de deformación medida con los sensores tras el impacto.

Cuando una carga es aplicada a la superficie del pavimento, las capas inferiores también

muestran deformaciones, por ello al determinar los valores de deflexión del pavimento, tenemos un indicativo del estado estructural del pavimento en conjunto.

Desde el punto de vista de los usuarios, los valores altos de deflexiones representan un nivel de confort bajo, además de afectaciones en los tiempos y costo de recorrido; además, desde un enfoque de rehabilitación con este panorama, se tendría necesidad de trabajos mayores que involucrarían tiempo y costos más elevados.

De acuerdo al valor que se obtenga de las deflexiones en la auscultación se podría presentar una propuesta del refuerzo que requiere el pavimento y una variación en el espesor de dicho refuerzo implicaría una sobre elevación de la obra en cuanto a su costo.

2.2.6. Deterioros superficiales (DET)

Los deterioros superficiales (DET), corresponden a los defectos visuales en la superficie del pavimento, que evidencian su degradación por efecto de la carga del tránsito, agentes abrasivos o erosivos, las características de los materiales o la interacción entre ellos.

Las mediciones de deterioros superficiales podrán calificarse en tres niveles de acuerdo a su severidad:

- **Severidad baja:** la superficie del pavimento ha perdido su textura uniforme y se muestra ligeramente áspera o rugosa, con irregularidades de hasta 3 mm aproximadamente.
- **Severidad media:** en este nivel la profundidad de las irregularidades es mayor de 3 mm y puede llegar a ser de hasta 10 mm. Además, se observan expuestas las partículas de agregado grueso, se siente la vibración y una diferencia de sonido de las llantas al transitar sobre el pavimento.
- **Severidad alta:** para el caso, en la superficie ha comenzado a producirse la desintegración de la capa de rodadura y se presentan desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada.

2.3. Marco conceptual

La metodología que se desarrolla en el presente proyecto, requiere de la interacción de varios temas estadísticos que se exponen en las secciones siguientes y que se pueden fácilmente relacionar con la ingeniería civil y a su vez con la auscultación y la conservación de pavimentos, para permitir el análisis de los datos que se manejan y con esto poder presentar soluciones que sustenten los procesos que se proponen.

2.3.1. Normalización de datos

Cuando se está trabajando con dos o más tipos de datos y se desea realizar análisis en conjunto de los mismos es necesario el buscar un medio que nos permita realizar este tipo de acciones; es de esta necesidad que surge la normalización y escalado de los datos, tema que se define como:

"La normalización es la transformación de escala de una variable que tiene como objetivo el poder realizar comparaciones con otros elementos, mediante la eliminación de características particulares."[17]

En otras palabras, las normalizaciones son proporciones de una variable, a la que a través de este proceso se le eliminan las unidades de medida y tiene como objetivo el homogeneizar un conjunto de variables con unidades de medida diferentes y de distinta naturaleza, para que puedan ser comparables.

Cuando se desea realizar un análisis integral de datos provenientes de diferentes conjuntos y debido a la naturales de cada conjunto, su dimensión y su orden de magnitud, si no se realiza un proceso de normalización de la información, los resultados serán poco confiables e incluso erróneos ya que al manejar los datos originales, resaltarán los de las variables con valores más altos y debilitará así relativamente el papel de los valores más bajos del conjunto de información que se esté analizando.

Es por lo anterior que resulta importante garantizar la confiabilidad de los valores y por consiguiente de los resultados, a través de una estandarización de los datos originales.

Algunos métodos estadísticos de normalización de datos son:

- Puntuación tipificada o estándar: normaliza los errores cuando los parámetros de publicación son conocidos. Trabaja bien para poblaciones que están normalmente distribuidas.
- T de student: normalización residual cuando los parámetros de población son desconocidos, trabajando entonces con parámetros estimados.
- El coeficiente de variación: utiliza la media como medida de escala a diferencia de la puntuación tipificada y la T de Student que utilizan la desviación estándar. La distribución se normaliza para las distribuciones de Poisson y exponencial.
- El momento estandarizado: puede aplicarse a cualquier distribución de probabilidad que tenga una función generadora de momentos. En otras palabras, que las integrales de los momentos sean convergentes.
- Máximos y mínimos: este método permite traer a los valores que se estén normalizando, a un rango entre cero y uno. Se le asigna el valor de 1 al valor máximo que se presente en las especificaciones del proyecto de que se trate y el valor de 0 al valor mínimo permitido de las especificaciones del proyecto.

Para el desarrollo del proyecto expuesto en este documento, se eligió para su aplicación en las secciones que así se requiera, el uso de este último método de normalización (máximos y mínimos), ya que se adapta con los requerimientos del proyecto para el cual se busca delimitar umbrales de aceptación y rechazo de factores de desempeño para pavimentos.

La forma en que se aplicó se detalla en la sección 4.3 correspondiente a la fase 2 de la propuesta metodológica de esta tesis y la ecuación correspondiente para el cálculo es la ecuación 2.1 que se describe y detalla en la misma sección.

$$X = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2.1)$$

2.3.2. Diferencias acumuladas

El tema de las diferencias acumuladas es considerado de interés para el desarrollo de la propuesta en esta tesis, ya que actualmente en lo que a conservación de pavimentos se refiere, es la única herramienta analítica que se utiliza para seccionar tramos homogéneos de una carretera.

El éxito de un programa de rehabilitación en gran medida depende de la correcta definición de unidades de trabajo estadísticamente homogéneas. Para delimitar los tramos homogéneos de una carretera, el ingeniero se basa en antecedentes históricos, en la inspección visual del daño superficial del pavimento y la medición de variables que permiten definir la condición actual de los pavimentos.

Parte importante del cálculo de tramos homogéneos en la actualidad se realiza de manera subjetiva revisando visualmente gráficas y diagramas que muestren el comportamiento de una o más variables a lo largo de un proyecto, limitando así este tipo de trabajos para las personas expertas en el tema.

El único método analítico para la determinación de las zonas homogéneas que podemos encontrar en una revisión del estado del arte y en propuestas de proyectos de conservación de pavimentos, es a través del cálculo de las diferencias acumuladas, descrito en el apéndice J de la guía de diseño de pavimentos AASHTO 1993.

El método de las diferencias acumuladas es una herramienta que nos permite delimitar zonas homogéneas haciendo uso de mediciones de respuesta del pavimento; dichas variables de respuesta en las que se puede desarrollar esta metodología, pueden ser de variada índole, pudiendo ser valores de deflexiones, serviciabilidad del pavimento, fricción, índices de deterioro, entre otros.

Haciendo referencia al párrafo anterior, la metodología de cálculo de las diferencias acumuladas hace uso de un valor de respuesta, pero de uno y solo uno de ellos a la vez, siendo en este mismo punto donde cae la mayor limitante de utilizar esta metodología en comparación con lo que se tiene por objetivo en este proyecto, donde se pretende seccionar tramos haciendo un análisis integral de los factores de respuesta propuestos por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, entonces al tratarse de más de un factor, la simple utilización del método de las diferencias acumuladas resulta inviable.

Por las bondades de la metodología de cálculo de las diferencias acumuladas, se propone su utilización para seccionar tramos carreteros. El proceso de cálculo de las diferencias acumuladas, queda implícito en la metodología para el cálculo de zonas homogéneas que se expone en la sección 4.3 de esta tesis, en la que se complementa con otros aspectos teóricos y métodos estadísticos.

Profundizando en el tema de las diferencias acumuladas, lo que se menciona con su teoría es que después de realizar el proceso de cálculo y con los valores de Z_x (diferencias acumuladas), se realiza la gráfica correspondiente y cada vez que el gráfico cambie de pendiente este punto determinará una nueva sección.

La descripción de la teoría de las diferencias acumuladas, con un ejemplo práctico es como se muestra en la figura 2.6, en la que podemos apreciar que se tienen tres zonas homogéneas para el caso.

Como se observa en la figura 2.6, al unir los puntos máximos y mínimos que se iden-

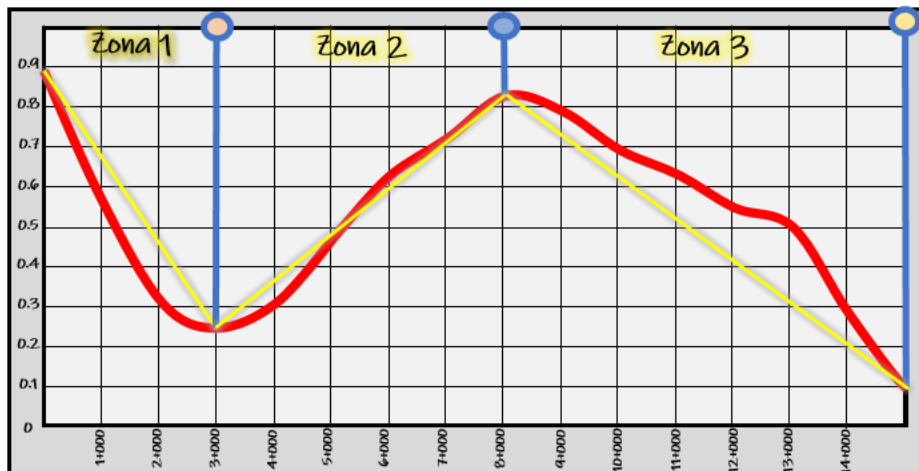


Figura 2.6: Gráfica Zx vs Cadenamiento (Caso ejemplo).

tifican de la curva color rojo, tenemos una zona 1 que inicia en el 0+000 y termina en el 3+000 indicando este último como el punto en que aparece una nueva sección (zona 2) la cual concluye en el 8+000 y una tercera zona que parte de este último cadenamiento y se extiende hasta el final de la gráfica.

Con esto queda descrita la interpretación de las gráficas resultado para un análisis de un factor de respuesta a través de la metodología de las diferencias acumuladas; en la sección correspondiente a la fase 2 de la metodología propuesta se describe el procedimiento a detalle del cálculo de las diferencias acumuladas.

2.3.3. Filtrado de señales para obtención de niveles de energía utilizando transformadas

En la sección anterior se habló de que el procedimiento para seccionar pavimentos, de las diferencias acumuladas resulta poco factible cuando se desea analizar de manera conjunta más de un factor de respuesta y para cuestiones de la propuesta en este proyecto, se propone la simplificación de las gráficas de diferencias acumuladas para cada factor y posteriormente cuando haya la necesidad de seccionar un tramo bajo dos factores, debemos elegir el que presente una mayor urgencia por el avance del mismo.

Por lo descrito, la manera de seleccionar el factor de respuesta que requiere un más próxima atención, la metodología propuesta en esta tesis se basa en un análisis de señales en forma de onda y para el caso la mencionada señal esta referida a la gráfica de los valores normalizados que le corresponden a cada factor de respuesta.

El análisis de las señales se propone realizarse a través de un preprocesamiento de datos o proceso de filtrado de datos, ayudados de una de las varias metodologías matemáticas para el filtrado de señales.

El filtrado de señales está definido como el conjunto de técnicas englobadas dentro del pre procesamiento de datos, cuyo objetivo fundamental es obtener a partir de datos de origen, un resultado final más simple para su análisis, además de adecuado para una aplicación específica, mejorando con dicho proceso ciertas características de la misma y

permitiendo así un análisis más sencillo sobre ellas que mantiene además el núcleo de la señal original.

Algunas de las herramientas de transformación de ondas son las que se exponen en los siguientes puntos:

1. Transformada de Fourier.

La transformada de Fourier es una operación matemática aplicable a un variado número de disciplinas, la cual establece que toda función periódica puede ser expresada como una suma infinita de senos y cosenos en distintas frecuencias. La ecuación para el cálculo de la transformada de Fourier queda definida como sigue (ecuación 2.2):

$$F(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i\omega x} dx \quad (2.2)$$

Donde la integral actúa sobre un tiempo o espacio x y la frecuencia (ω) será tratada como una constante, de hecho el exponente $-i\omega$ es una constante.

La transformada de Fourier tiene aplicación en disciplinas de ingeniería, telecomunicaciones, medicina, entre otros. Para la ingeniería civil resulta frecuente el uso de estas transformadas en el análisis de estructuras como edificios o puentes y su respuesta de movimiento con respecto al empuje del viento.

Una explicación simple de lo que hace la transformada de Fourier es con el ejemplo del oído humano el cual recibe un sonido final, mismo que se puede descomponer en diferentes frecuencias. De manera general se dice que a través de esta transformación, el sonido se puede comprimir y eliminar el ruido existente.

Si observamos la figura 2.7 podemos visualizar lo descrito para la transformada Fourier. En la parte superior se muestra el comportamiento en forma de gráfica del sonido final que llegaría al oído, este a su vez se puede transformar en las dos gráficas inferiores; es decir la nota musical RE, se comporta gráficamente como se muestra en la gráfica intermedia de la figura 2.7 y el comportamiento de la nota musical LA, es la gráfica inferior de la figura 2.7, siendo entonces el sonido final, la sumatoria de estas dos notas musicales.

2. Transformada Wavelet.

La transformada Wavelet es una evolución de la transformada de Fourier; esta teoría es una rama de las matemáticas relativamente nueva, que ha encontrado rápidamente aplicación en varias disciplinas como la física, ingeniería, análisis numérico, filtrado de señales, entre otras.

La transformada Wavelet queda definida como un conjunto de herramientas y técnicas que permite tratar, procesar y evaluar de forma robusta y eficiente gran variedad de señales de nuestro entorno, desde señales sísmicas hasta música y voz, pasando por las imágenes médicas y señales biológicas [11].

Una Wavelet ψ es una forma de onda de la duración efectiva que tiene un valor medio de cero, como se muestra en la ecuación 2.3:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(x)dx = 0 \quad (2.3)$$

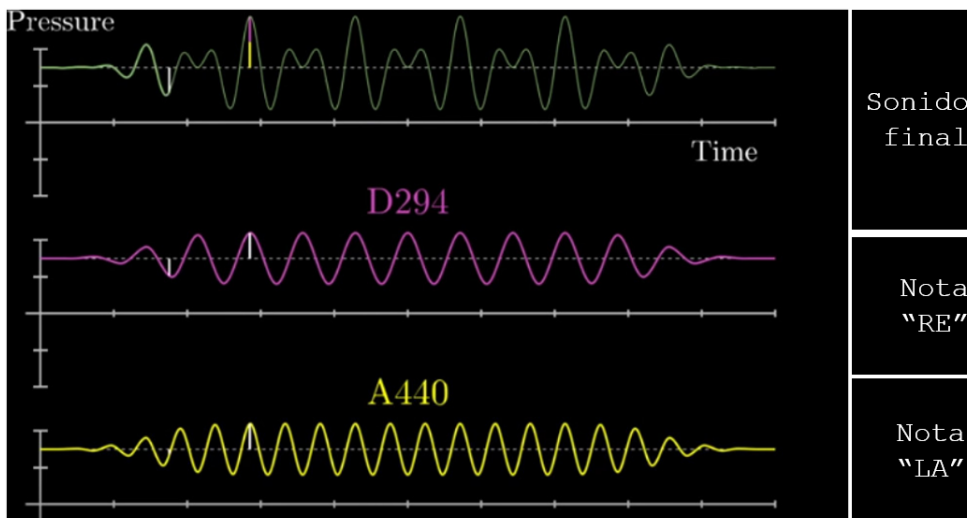


Figura 2.7: Transformada de Fourier, para el sonido compuesto por las notas musicales RE, LA.

Y cada familia de Wavelet viene definida por $\psi_{a,b}$, mediante la ecuación 2.4:

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (2.4)$$

Que se pueden aplicar a dos transformaciones básicas:

1. Cambio de escala: por la que es comprimida o dilatada mediante el parámetro 'a'.
2. Translación: con lo que la señal es trasladada por el parámetro de translación 'b', a lo largo del eje x.

Los componentes de una familia se componen a partir de la Wavelet madre $\psi(t)$, por medio de la señal de que se trate y la variable de translación, que permite moverla la señal en el dominio de x .

De manera general la transformada wavelet, convierte un vector de que está conformado por una longitud n de datos en otro vector de coeficiente wavelet igualmente de longitud n , usando un conjunto de funciones ortogonales llamadas wavelets.

Con la transformada Wavelet se puede describir a una señal, con diferentes niveles de aproximación, como se muestra en la figura 2.8, en esta podemos observar la forma de una señal a la que se le realiza un proceso de transformación con wavelets obteniendo con esto las funciones ortogonales para diferentes niveles de aproximación:

Las transformadas Wavelet presentadas en la figura 2.8, corresponde a cinco niveles de aproximación; así el nivel uno de (d_1), realiza una aproximación muy general de la señal original (s), el nivel dos (d_2) la aproximación es menos general a la del nivel uno y así sucesivamente hasta llegar al último nivel, el cual representará completamente la señal y la transformada inversa de la original.

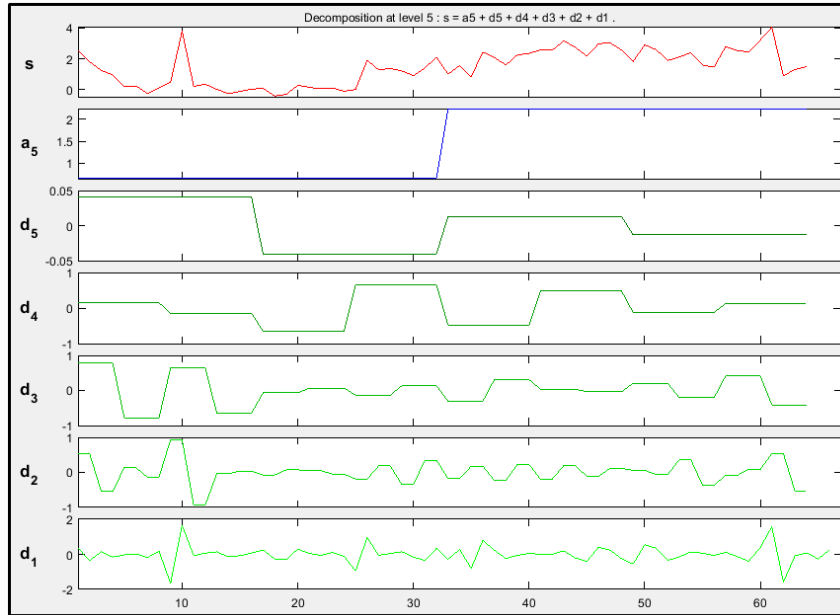


Figura 2.8: Transformadas Wavelet, para una señal ejemplo.

Un aspecto importante a considerar es que si se realiza un proceso de transformación en dos o más señales con valores diferentes la amplitud de las funciones ortogonales resultantes será diferente, dependiendo de los valores que se estén analizando.

Esta amplitud para fines del proyecto se traduce en desgaste, es decir, cuanto tuvo que avanzar un daño o cuanta energía de desgaste tuvo que generarse para desarrollar tal o cual función ortogonal.

Para ejemplificar lo descrito en el párrafo anterior tenemos la figura 2.9, para la cual se muestra una comparativa de la amplitud (energía o desgaste), de las transformadas wavelets correspondiente para un mismo nivel de aproximación de dos señales con valores diferentes:

Como puede apreciarse, la función de la señal 1 se encuentra en un rango entre -0.5 y 4, resultando una transformada wavelet en el nivel 3 que se encuentra en un rango entre -1 y 1; en comparación tenemos la señal 2 la cual se encuentra en un rango entre -0.5 y 1, con lo que su transformada wavelet se limita en el rango -0.2 y 0.2 para el mismo nivel de aproximación que la señal 1.

De la figura 2.9 se concluye entonces que de manera general la energía de desgaste que se requirió para alcanzar los valores de la señal 1 de acuerdo a la amplitud de su función ortogonal, es mayor a la energía de desgaste que se requirió para desarrollar a la señal 2.

Por los alcances y el objetivo de realizar un proceso de transformación de señales en este proyecto, se elige a las transformadas Wavelet para el desarrollo de esta tesis, teniendo en cuenta que presenta ventajas sobre las transformadas de Fourier ya que estas últimas resultan aplicables solamente para señales de frecuencias periódicas y las señales que se filtrarán en este proyecto son de carácter no estacionario.

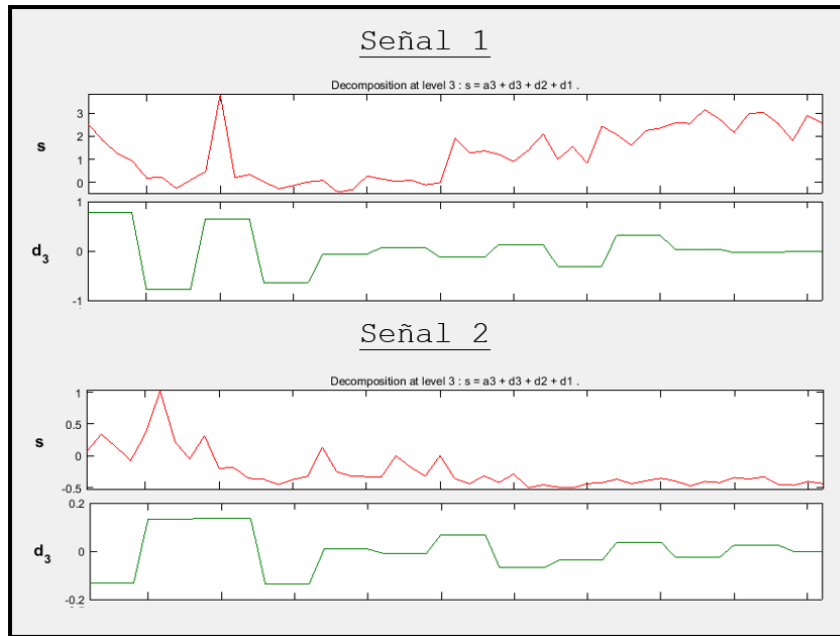


Figura 2.9: Comparativa de energía para dos señales con valores distintos y el nivel 3 de aproximación.

2.3.4. Lógica difusa

El ser humano posee la habilidad de comunicarse haciendo uso de reglas lingüísticas comúnmente vagas, mismas que otro ser humano rápidamente puede interpretar, pero cuando ese lenguaje se quiere aplicar sobre un análisis numérico, el proceso no es tan simple, sobre todo si se tiene a una computadora como el ente que interpretará la información.

Así, si a un humano se le menciona la expresión "hace mucho frío", este al instante interpreta la información de acuerdo a experiencias, entorno, entre otros factores, pero para el caso de modelar numéricamente este tipo de situaciones, la información, presenta características de vaguedad e impresión ya que no se está proporcionando la cantidad de variables que intervienen, teniendo entonces incertidumbre en la modelación del problema.

La incertidumbre que se genera al tratar de modelar situaciones o problemas, se puede realizar bajo dos enfoques:

1. Lógica clásica.
2. Lógica difusa.

Para el análisis mediante la lógica clásica, se asignan a las proposiciones simples o compuestas uno de los valores de verdad, verdadero o falso, o el número uno (1) o cero (0) respectivamente, pero no permite valoraciones intermedias de las proposiciones.

Un claro ejemplo de la lógica clásica es: si decimos que una grieta mayor a 30mm es etiquetada como de 'severidad alta', si la grieta mide 29mm, bajo el concepto de la lógica clásica a esta grieta se le asigna un valor de 0 o falso, aun cuando relativamente 29mm está muy próximo a 30mm.

En la figura 2.10, se muestra con un diagrama el comportamiento de este ejemplo, bajo el concepto de la lógica clásica.

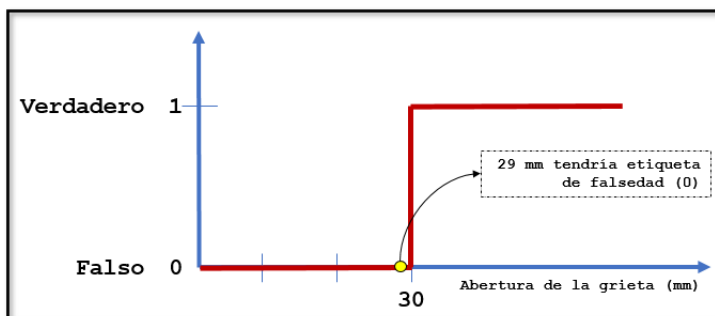


Figura 2.10: Diagrama bajo un análisis clásico de una grieta.

Las computadoras pueden trabajar bajo este sistema con datos precisos, que se manejan entre ceros y unos, con proposiciones falsos o verdaderos, pero ya que vivimos en un entorno en que el humano razona con información que involucra tanto incertidumbre como juicios de valor, es necesario en infinidad de casos como el desarrollado en esta tesis, el modificar este tipo de modelados, permitiéndonos evaluar información de la cual su interpretación se define como parcialmente cierta.

La herramienta que permite un modelado de problemas con vaguedades e incertidumbres es entonces la lógica difusa, la cual se define como:

"La lógica que permite representar de manera matemática la incertidumbre de un problema o situación, proporcionando herramientas formales para su aplicación."

Con la lógica difusa se realiza un modelado que está basado en un conjunto de reglas lingüísticas que permiten aproximar una función mediante la relación de las entradas y salidas del sistema que la componen.

El análisis difuso permite asignar valores de membresía a las proposiciones lingüísticas, valor que se encuentran en un rango fijo entre cero y uno, es decir, el valor asignado a la proposición nos indica que tan cierta o falsa es esta, a diferencia de la lógica clásica en que solo nos permite definir si la proposición es cierta o falsa.

Siguiendo con el ejemplo de una grieta de 29 mm de abertura tenemos la figura 2.11, para el caso y bajo el modelado con lógica difusa se puede observar que la grieta sería etiquetada con un valor de membresía muy próximo a 1, convirtiéndolo básicamente en una proposición verdadera.

Si comparamos los dos enfoques de la lógica expuestos en este apartado, se pueden observar claramente las diferencias entre los mismos así como las ventajas de su utilización.

Para el caso del proyecto aquí expuesto, es necesaria la utilización de la lógica difusa, por las bondades que esta presenta para con la información que estaremos manejando en lo que respecta a los deterioros superficiales de un pavimento flexible, siendo que la evaluación de los mismos se realiza mediante un etiquetado lingüístico y en la búsqueda de realizar un análisis numérico la lógica difusa se presenta como una mejor opción.

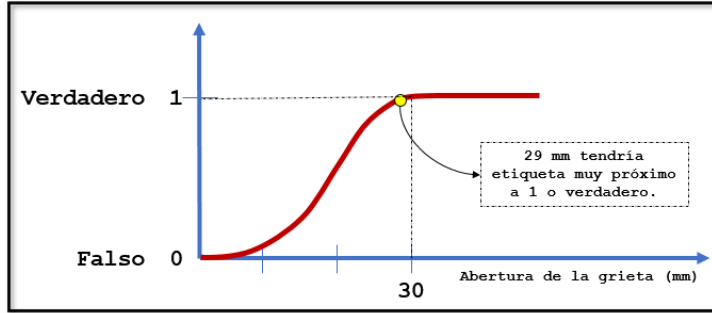


Figura 2.11: Diagrama bajo un análisis difuso de una grieta.

Resulta importante describir que son y para qué sirven cada uno de los temas expuestos en este apartado, siendo que estos representan las bases para el desarrollo del proyecto que se describe en este escrito; la normalización de datos para el manejo integral de la información, y en conjunto con las diferencias acumuladas y las transformadas Wavelet para la obtención de zonas homogéneas y la lógica difusa para el análisis del deterioro superficial de un pavimento.

Capítulo 3

ESTADO DEL ARTE

La conservación a nivel nacional e internacional, es un tema en el que se está trabajando bastante, los recursos económicos que se dirigen a este tipo de trabajos es mayor que lo destinado a la construcción de nuevos tramos.

Por lo relevante que resulta el desarrollo de herramientas con un enfoque hacia la conservación de carreteras es necesario verificar los proyectos que actualmente pueden brindar información de lo que se ha estado trabajando sobre el tema; con la recopilación del estado del arte, es más sencillo definir el enfoque que marca la diferencia entre lo investigado y lo que se investigará e incluso se puede decidir cómo es que se abordará la investigación.

El estado del arte actual sobre conservación es muy extenso, y se encuentra mayormente enfocado a desarrollar técnicas innovadoras como por ejemplo, el estudio de mezclas tibias de asfalto que permitan reducir contaminantes emitidos al ambiente, también hay proyectos en los que el reciclaje de materiales como el hule molida de neumáticos es su prioridad pero en lo que respecta al desarrollo de metodologías de selección para la aplicación de tratamientos de conservación resultan escasas.

3.1. Trabajos relacionados con la selección de tratamientos de conservación

Existen trabajos previos, relacionados a la selección de tratamientos de conservación basados en los factores de desempeño, cuyo enfoque va dirigido a facilitar la toma de decisiones sobre el tratamiento específico que fue diseñado para el valor medido de dichos factores.

De manera general, cada uno de los proyectos revisados, incluida la propuesta de este artículo, se rigen bajo la filosofía de elegir el tratamiento de conservación adecuado para el camino en el tiempo correcto, variando la forma de abordar el problema y concluyendo con resultados en ocasiones más provechosos.

Ejemplo de dichas investigaciones, es el que se muestra en la tabla 3.1, en la que se puede observar la principal aportación que cada una de ellas presenta.

La empresa Canadiense ALBERTA [3], desarrolló una propuesta que consiste en aplicar una serie de tratamientos de conservación de bajo costo a pavimentos de corta o mediana

Tabla 3.1: Parámetros de evaluación utilizados en las investigaciones del estado del arte

FUENTE	Conservación Periódica	Rehabilitación	Calidad Funcional	Condición estructural	Cond. Durante la construcción	Condiciones de desempeño	Fallas superficiales	Tratamientos	
								Convencionales	Simple y doble
Alberta 2006 (Canadá)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
Barriga Dall'Orto 2013 (Perú)	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗
Wilde, Thompson y Wood 2014 (EUA)	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Espinoza Arreola 2015 (México)	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗
De León, Morrison, Flintsch y McGhee, 2015 (EUA)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
Buss, Claypool y Bektas 2019 (EUA)	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Kröger y Kröger 2019 (Uruguay)	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	✓
Raya, Alarcón, y Morales, 2021 (México)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓

✓ SI LO CONSIDERA
✗ NO LO CONSIDERA

edad para extender su vida útil y de mayor costo a pavimentos más antiguos.

El documento de Barriga Dall'orto S.A. [4], es un trabajo asignado por el Ministerio de transportes y comunicaciones en Perú. De aquí y con base en un estudio de las condiciones en que se encuentra la superficie de rodadura, se obtiene un valor numérico que se compara con rangos numéricos que concluyen con la indicación del nivel de conservación que se requieren en la estructura del pavimento pudiendo ser rutinaria, periódica, rehabilitación y reconstrucción.

En el 2014 Wilde et al en Minnesota [5], con la finalidad de proporcionar orientación y conocimiento a los ingenieros de las empresas locales y supervisores de mantenimiento en el desarrollo de programas de conservación de pavimentos, desarrollan una herramienta técnica que permita evaluar los costos, los beneficios, el tiempo, la longevidad y el proceso de toma de decisiones para determinar un programa efectivo de conservación del pavimento.

Para el caso presentado por Espinoza Arreola [6], diseñó una herramienta que al ser aplicada realiza recomendaciones de tratamientos de conservación, que de acuerdo a las condiciones para las que fue desarrollada, logra satisfacer los daños que presenta la capa superficial del pavimento.

También en el año 2015, el departamento de transporte y gestión de pavimentos en el estado de Virginia [7], presenta un sistema y modelo de tratamientos de conservación para facilitar el proceso de toma de decisiones a nivel distrito. El sistema se desarrolló analizando secciones de pavimento y maximizando la rentabilidad de los tratamientos aplicados sujetos a restricciones presupuestarias.

Tabla 3.2: Factores de desempeño y aportaciones adicionales en que se basan los proyectos del estado del arte.

Fuentes	IRI	PR	TX	CF	DEF	DET	PCI	ISA	CCI	ZH
Alberta, 2006 (Canadá)	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Barriga Dall´Orto S.A. 2013 (Perú)	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Wilde, Thompson Wood, 2014 (EUA)	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗
Espinoza Arreola, 2015 (México)	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗
De león, Morrison, Flintsch McGhee, 2015 (EUA)	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗
Buss, Claypool Bektas, 2019 (EUA)	✓	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✗
Kröger Kröger, 2019 (Uruguay)	✗	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗
Raya, Alarcón y Morales, (2021)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✓

✓ SI LO CONSIDERA
✗ NO LO CONSIDERA

Entre los trabajos más actuales se encuentra el desarrollado por la Universidad del estado de Iowa y presentado por el Instituto de Transporte [8], para el cual la investigación se enfoca en dos áreas clave: medir la efectividad de la preservación del pavimento utilizando métricas tanto cualitativas como cuantitativas mientras considera factores que influyen en el desempeño de las estrategias de preservación del pavimento.

El trabajo de Kröger Kröger [9], se enfoca principalmente en trabajos destinados al nivel periódico de conservación. Presenta una manera de selección de tratamientos de conservación que resulta a partir de análisis del tránsito y su composición, así como de consideraciones climáticas y de exigencias sobre alguna característica de la capa de rodadura.

El proceso presentado en las investigaciones casi en su totalidad parte de secciones de la carretera establecidas previamente al desarrollo del trabajo, sin explicar la metodología que se debe seguir para seccionar adecuadamente una carretera. Además, se observa una carente utilización de los factores de desempeño de manera conjunta.

Si bien las investigaciones presentan un avance importante en el proceso de selección de un tratamiento de conservación, deben considerarse solo como una base de la metodología de selección y recomendación de tratamientos de conservación, ya que este tema se debe ampliar para un uso integral de todos los factores de desempeño y el seccionamiento adecuado de los tramos carreteros.

Cada factor de desempeño puede representar para el constructor un valor de importancia diferente y para eliminar la subjetividad que resulta, un proyecto de recomendación de tratamientos de conservación basado en factores de desempeño, debe incluir una metodología objetiva para la determinación de tramos homogéneos, además de una adecuada valoración de cada factor de desempeño tomando en cuenta de manera integral a cada uno de estos.

En la tabla 3.2, se muestran los factores de desempeño que se utilizan en cada uno de los proyectos descritos anteriormente y que pueden ser comparables con lo desarrollado con la propuesta de este documento.

De un análisis de la tabla 3.2, se puede observar, que de todos los parámetros que se pueden utilizar para describir a un pavimento, no en todos los casos se toman en consideración para su desarrollo. Además en los trabajos revisados no se muestra un proceso de jerarquización de factores de desempeño que los organice o dicte cual es el que requiere una mayor o más próxima atención y así poder decidir seguir un camino u otro.

También resulta importante mencionar que en las publicaciones en listadas en la tabla 3.2, las propuestas parten de considerar que el tramo ya fue seccionado o no se indica que deba realizarse un seccionamiento y cómo hacerlo, caso contrario a la propuesta de esta tesis, para la que se presenta una metodología para la obtención de zonas homogéneas, como se mostrará mas adelante en este escrito.

Resumiendo este apartado del estado del arte, tenemos que como principales aportaciones que se presentan con el desarrollo del proyecto expuesto en esta tesis en comparación a publicaciones anteriores, son:

- Considerar niveles de conservación periódica y de rehabilitación.
- Análisis de manera integral de los factores de condición estructural, factores de seguridad y factores del estado físico del pavimento.
- Cálculo de zonas homogéneas.
- Y recomendación de tratamientos de conservación convencionales tanto simples como en combinación.

3.2. Trabajos relacionados con el cálculo de zonas homogéneas

En lo que respecta a la determinación de zonas homogéneas se pueden encontrar trabajos en la literatura en los que se ha logrado seccionar alguna región de acuerdo a similitudes que se presentan en cada zona, pero el enfoque de algunos es generalizando la información, obteniendo secciones con demasiada extensión, lo cual es imposible de aplicar cuando de seccionar un pavimento se trata.

En la búsqueda de trabajos específicos para seccionar pavimentos, nos encontramos con algunos en los que dicho seccionamiento resulta inadecuado cuando se requiere la integración de más de un factor que caracterice al pavimento.

En la tabla 3.3 se presentan algunos trabajos en los que se utilizan procedimientos para obtener secciones con condiciones similares:

En 2018 Xu Yang, Zhanping You, Jacob Hiller y David Watkins [10], a través de la empresa Taylor y francis, desarrolló un proyecto en el que se busca seccionar una región en Michigan basándose en las condiciones de temperatura del aire y temperatura sobre la superficie del pavimento, con la finalidad de definir el desempeño de los pavimentos, para las temporadas más frías, más calientes y la temperatura media anual. Por el tipo de información que se maneja es sencillo compararlo con estudios hidrológicos en los que se obtienen seccionamiento a partir del análisis de polígonos de thiessen e isoyetas, ayudándose de estaciones climatológicas.

Tabla 3.3: Trabajos relacionados con la delimitación de zonas homogéneas

Fuente	Título	Factores	Metodología
Xu Yang, Zhanping You, Jacob Hiller y David Watkins. (2018)	Pavement performance zone based on mechanistic-empirical design and temperature indices	Factores climáticos: Temperatura del aire, Temperatura de la superficie del pavimento	Isoyetas / poligonos de thiesen y Cuervas de nivel
Rubio Torres, Alarcón Ibarra y Morales Rosales. (2018)	Metodología para la construcción de mapas de temperatura basada en la influencia termo - topográfica y el grado de desempeño PG aplicada en la selección de cementos asfálticos	Temperatura, Topografía y grado de desempeño PG	Poligonos de Thiessen y Curvas de nivel
Pashant R. Pambhar, Dr. L.B: Zala, Amit A. Amin. (2018)	Flexible pavement overlay design cumulative difference approach of homogeneous section	Deflexiones	Diferencias acumuladas
Raya Gamiño, Alarcón Ibarra y Morales Rosales. (2021)	Metodología para seccionamiento analítico de pavimento en zonas homogéneas	Deflexiones, Índice de regularidad superficial, Profundidad de roderas, Macrotextura y coeficiente de fricción	Diferencias acumuladas y Transformadas Wavelet

Para el caso del proyecto de Rubio torres, Alarcón Ibarra y Morales Rosales [11], se obtiene un mapa del estado de Michoacán, para el cual con el uso de estaciones climatológicas y la topografía del estado, se encuentran zonas con similitud de acuerdo a la temperatura del aire; esta herramienta permite determinar el grado de desempeño PG del cemento asfáltico que se requiere el diseño de una mezcla asfáltica.

De manera específica para el seccionamiento de un pavimento, la revisión del estado del arte, permite identificar como metodología para zonas homogéneas, la utilización de las diferencias acumuladas, como es el caso del proyecto publicado por Pashant R. Pambhar, Dr. L.B: Zala, Amit A. Amin. [12], Para dicho proyecto se toma como tramo de estudio un pavimento en la India y el factor de desempeño sobre el que se calculan las diferencias acumuladas son las Deflexiones, obteniendo con esto zonas con variado comportamiento estructural.

Si bien los anteriores proyectos de investigación cumplen con su propósito y obtienen resultados aplicables a su respectivo caso, regionalizando áreas bastante extensas o en el caso del proyecto indio, seccionando un pavimento de acuerdo a su comportamiento estructural, cuando deseamos seccionar un tramo carretero sujeto a conservación, las metodologías utilizadas no resultan del todo adecuadas ya que para el caso, se requiere de la cuantificación de múltiples factores de desempeño que proporcionan información que resultará en tramos de la vialidad con necesidades de conservación diferentes y por consiguiente tratamientos también variados.

Capítulo 4

METODOLOGÍA PROPUESTA

4.1. Metodología para la recomendación de tratamientos de conservación y delimitación de zonas homogéneas en pavimentos flexibles

El proyecto que se desarrolla en este trabajo de tesis considera que se intervendrá la curva de deterioro de un pavimento (ver figura 1.1) en un punto entre una calidad de pavimento nuevo y un pavimento deteriorado; el punto de intervención que se considera, requiere de la implementación de trabajos de mantenimiento para recuperar las condiciones iniciales del pavimento, después de su puesta en servicio.

La propuesta metodológica que se expone inicia con el análisis de los datos y parámetros obtenidos con la auscultación del pavimento y concluye con opciones de combinación de tratamientos acordes al daño identificado.

La metodología consta de cinco fases principales, como se muestra en la (figura 4.1):

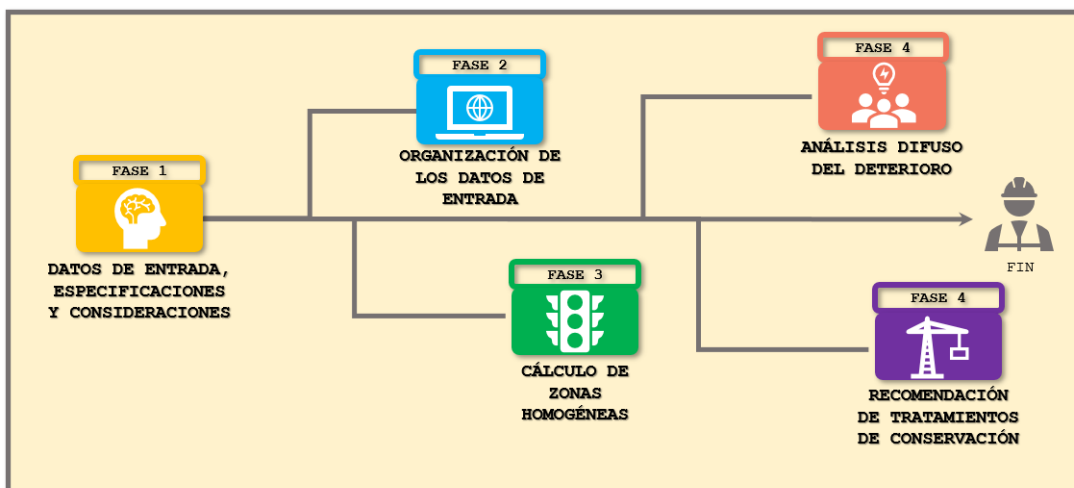


Figura 4.1: Metodología para la recomendación de tratamientos de conservación en pavimentos flexibles.

De manera general la fase 1 se refiere a establecer las condiciones en que la metodología puede ser aplicable, así como los datos y factores de desempeño que deberán considerarse.

La fase 2, esta referida a la organización de los datos correspondientes a los factores de desempeño, así como el cálculo de las diferencias acumuladas y las transformadas wavelet de los mismos, ya que esta información será utilizada posteriormente.

En la fase 3 se realiza el seccionamiento de la carretera por zonas homogéneas, considerando que para poder asignar tratamientos de conservación, previamente es necesario identificar el daño en el pavimento.

Habiendo seccionado la carretera, es preciso evaluar el nivel de daño específico que se tiene en cada tramo, lo cual corresponde a la fase 4.

Finalmente en la fase 5, de acuerdo al daño que se obtiene del análisis del deterioro, se realiza la recomendación del tratamiento de conservación.

Cada una de las partes que componen a esta propuesta metodológica, a su vez tiene su propia metodología interna, mismas que serán expuestas de manera más explícita en las siguientes secciones, además de desarrollar la forma en que estas fueron concebidas.

4.2. Datos de entrada, especificaciones y consideraciones



Una carretera es una vía de transporte que se proyecta y construye fundamentalmente para la circulación de vehículos; está conformada por un conjunto de activos, como lo son el pavimento, las señales de tránsito, obras hidráulicas, cortes, taludes, etc.

La metodología se apropia del pavimento, como el activo a desarrollar. Existen al menos dos tipos de pavimentos, de acuerdo a los materiales que se utilizan, el diseño del mismo y su proceso constructivo, resultando dos tipos principales: los pavimentos de concreto o rígidos y los pavimentos asfálticos o flexibles, siendo estos últimos específicamente los considerados en este proyecto.

En este sentido, la metodología acota su aplicación a pavimentos flexibles y de acuerdo a intervenciones de conservación llevadas a cabo con anterioridad al momento en que se utilice esta metodología o a posibles recomendaciones tratamientos como la estabilización de bases, se puede fácilmente extender la aplicación a pavimentos semi-rígidos.

La finalidad que se plantea para el desarrollo de este proyecto es incluir análisis que se desarrollan para el nivel de conservación periódica y el nivel de rehabilitación que hasta el momento en lo que a desarrollo de metodologías respecta, se tiene un poco de lado.

La metodología requiere como insumo para su desarrollo los valores obtenidos de la auscultación de un pavimento, sobre el IRI, la profundidad de roderas, deflexiones, macro-textura, coeficiente de fricción y los deterioros superficiales.

El usuario deberá tener en cuenta las especificaciones del proyecto sobre el que deseé aplicar este procedimiento, para delimitar los valores de los factores de desempeño que rebasen los umbrales de aceptación y rechazo de los mismos.

Las especificaciones para marcar los umbrales de aceptación y rechazo de los factores de desempeño, pueden ser los indicados en la normativa de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, la cual estipula los límites que le corresponden a cada factor de desempeño de acuerdo a si se trata de una autopista, camino de la red básica o red secundaria.

Las especificaciones también pueden establecerse de acuerdo al proyecto de que se trate, las cuales serán definidas por la organización que este solicitando el estudio.

En la tabla 4.1, se presenta un resumen de la información numérica y las consideraciones que existen para la aplicación de la metodología propuesta.

Como se muestra en la tabla 4.1, uno de los factores de desempeño que se requieren son los Deterioros superficiales y ya que se trata de un proyecto basado en pavimentos flexibles, este factor de desempeño lo conforman 18 deterioros, que nos permiten describir el estado actual del pavimento.

Tabla 4.1: Datos de entrada, especificaciones y consideraciones

Activo	Pavimento flexible	
Nivel de conservación	Periódica	
	Rehabilitación	
Factores de desempeño	IRI	Especificaciones según proyecto
	Profundidad de roderas	
	Deflexiones	
	Macro-textura	
	Coefficiente de fricción	
	Deterioros superficiales	

A su vez cada uno de los 18 deterioros superficiales describen un aspecto diferente así como espacios igualmente variados sobre el pavimento. Los 18 deterioros en los que basamos el análisis en este proyecto son los siguientes:

1. Agrietamiento de piel de cocodrilo.
2. Exudación de asfalto.
3. Agrietamiento con patrón de mapa.
4. Bordo o depresión localizados.
5. Ondulaciones transversales.
6. Depresión por asentamiento.
7. Agrietamiento en la orilla.
8. Grietas de reflexión.
9. Acotamiento en desnivel.
10. Grietas longitudinales y transversales.
11. Baches o cortes reparados en el pavimento.
12. Textura lisa.
13. Baches abiertos.
14. Roderas.
15. Corrimiento de carpeta.
16. Agrietamiento por deslizamiento.
17. Levantamiento por expansión.
18. Desgaste o erosión.

La auscultación de un pavimento puede resultar costosa, considerando los recursos económicos que han sido destinados para la conservación de un tramo. Por ejemplo, la medición de una deflexión puede rondar los 500 pesos y si esto se multiplica por uno o varios kilómetros, el costo de este único factor de desempeño, resulta considerable.

Por lo anterior es importante considerar que al momento de la concepción del proyecto aquí expuesto se decidió considerar los factores de desempeño que se proponen para la auscultación de pavimentos en autopistas, buscando que con estos factores, tengamos la descripción completa del estado actual de un pavimento.

La cantidad de tipo de factores de desempeño y consideraciones, no deben ser una limitante para la aplicación de la metodología propuesta; si bien lo ideal sería considerar de manera integral toda la información expuesta en la tabla 4.1, hay secciones o factores que pueden ser eliminados de la metodología general. Por ejemplo si solamente se cuenta con los valores correspondientes a factores de desempeño de la seguridad, el pavimento se secciona solamente bajo este aspecto.

4.3. Organización de los datos de entrada



Cuando se realiza una auscultación de pavimentos, los datos que se recaban se presentan en la mayoría de las ocasiones en cadenamientos diferentes debido a los costos de su evaluación, el equipo utilizado o incluso el factor de que se trate, así cuando por un lado las mediciones de IRI pueden ser registradas con cadenamientos a cada 20 metros, las deflexiones por otro lado, suelen obtenerse a cada 100 metros e incluso a cada 500 metros. Por lo anterior para comenzar con el procesamiento de los datos, es importante homogeneizar los registros en cuanto al cadenamiento.

El cadenamiento que se elige para el procesamiento de los factores de desempeño puede variar, de acuerdo a lo minucioso o puntual que se busque ser, pero para tramos carreteros de longitud considerable, seleccionar intervalos pequeños, puede resultar en una poca apreciación de la información pero caso contrario, si se eligen intervalos muy grandes, se estaría restando importancia a valores más específicos.

En este punto, es importante tomar en consideración el criterio del usuario así como la precisión que se requiere para el tramo que se esté proyectando.

La segmentación de un tramo carretero para la organización de los datos dependerá de la precisión que se desee alcanzar en el análisis específico que se esté desarrollando. Para tramos que rondan los 30 kilómetros de longitud, una segmentación de 500 metros de longitud resulta adecuada, conservando la información de la auscultación realizada en el pavimento.

Por otro lado, uno de los objetivos de la metodología es el caracterizar de una manera más completa a los pavimentos, y para alcanzar este objetivo se realiza un análisis integral de los factores de desempeño, pero existe un inconveniente y es que las unidades de medida de éstos, son diferentes.

Para cumplir con el propósito del análisis integral, el siguiente paso es escalar los valores de los factores de desempeño. Una manera simple de realizar el escalado es con la técnica de la normalización de valores con el método estadístico de máximos y mínimos.

La normalización máximos y mínimos se obtiene con la ecuación 4.1:

$$X = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (4.1)$$

Donde:

X: Dato que se desea normalizar.

X_{mín}: Valor que indica el límite del punto mínimo.

X_{máx}: Valor que indica el límite del punto máximo.

Un ejemplo de $X_{mín}$ si se trata escalar el factor IRI y basándose en la normativa SICT, para autopistas nos indica que el punto a partir del cual el valor de IRI cambia de un estado bueno a uno aceptable es cuando este es igual a 1.80 metros por kilómetro y el punto en que el valor cambia de un estado aceptable a no satisfactorio, será cuando la medición rebase los 2.50 metros por kilómetro, siendo entonces este valor lo correspondiente al $X_{máx}$.

La normalización se realiza para cada factor de desempeño, aplicando como $X_{mín}$ y $X_{máx}$, los valores que se hayan especificado por proyecto; con los valores obtenidos se podrá visualizar en una gráfica, permitiéndose apreciar los tramos que presentan en una primera instancia, ciertas deficiencias.

Ejemplo de la normalización es lo que se muestra en la figura 4.2, correspondiente a un ejemplo del índice de regularidad internacional.



Figura 4.2: Normalización de valores IRI.

En la figura 4.2 se nos muestra además de la gráfica correspondiente al resultado de los valores normalizados del IRI, dos líneas horizontales: la línea verde a la altura de la ordenada cero, nos indica que los puntos debajo de ésta corresponden a tramos con valores en estado bueno según la normativa SICT y los puntos por encima de la línea roja ubicada a la altura de la ordenada 1, son indicativo de tramos de pavimento en condiciones no satisfactorias acordes a la misma especificación.

Después de obtener los valores de normalización de todos los factores de desempeño, nos encontramos en condiciones de construir las gráficas de diferencias acumuladas para los mismos.

El procedimiento para la obtención de las diferencias acumuladas se realiza con la implementación del procedimiento estadístico utilizado por el AASHTO 1993 conforme al apéndice J llamado 'Aproximación por diferencias acumuladas'; Con el cálculo de las diferencias acumuladas (Z_x) y su gráfica se puede visualizar el comportamiento individual de los factores de respuesta evaluados en el pavimento.

La aproximación de las diferencias acumuladas se desarrolla con el llenado de las columnas de la tabla 4.2

Tabla 4.2: Procedimiento de cálculo para diferencias acumuladas.

Col. I	Col. II	Col. III	Col. IV	Col. V	Col. VI	Col. VII	Col. VIII	Col. IX
Estación	Intervalo	Distancia intervalo	Distancia acumulada intervalo	Factor de desempeño	Intervalo promedio	Área del intervalo	Área acumulada	Z_x

Donde:

- Col. I: corresponde al cadenamiento del tramo en estudio.
- Col. II: número de estación correspondiente.
- Col. III: Diferencia entre las abscisas de la col. I, expresada en metros.
- Col. IV: Distancia acumulativa de la col. III, expresada en metros.
- Col. V: Valor del factor de desempeño que se esté manejando.
- Col. VI: Promedio del factor de desempeño, entre estaciones (ecuación 4.2).

$$\text{Intervalo promedio} = \frac{\text{Valor1} + \text{Valor2}}{2} \quad (4.2)$$

- Col. VII: Se obtiene mediante la ecuación 4.3:

$$\text{Área intervalo} = \text{Col. VI} * \text{Col. III} \quad (4.3)$$

- Col. VIII: Se Obtiene como sigue:

$$\text{Área acum}_1 = \text{Área interv}_1 \quad (4.4)$$

$$\text{Área acum}_2 = \text{Área}_{acu1} + \text{Área}_{interv2} \quad (4.5)$$

$$\text{Área acum}_{n-1} = \text{Área}_{acum_{n-1}} + \text{Área}_{interv_n} \quad (4.6)$$

- Col. IX: la ecuación 4.7 para calcular esta columna es:

$$Z_x = \text{Col. VIII} - F * \text{Col. IV} \quad (4.7)$$

Para obtener el factor F, se aplica la ecuación 4.8:

$$F = \frac{\text{Área acumulada}_n}{\text{Distancia acumulada entre intervalo}_n} \quad (4.8)$$

Posterior al llenado de la tabla 4.2, se pueden graficar los puntos Z_x (columna IX), en el eje Y, con su correspondiente cadenamiento para el eje X.

Lo que nos dice la teoría de las diferencias acumuladas es que cuando en la gráfica se llega a un punto máximo o mínimo y se continua con un cambio en el sentido de la pendiente, se traduce en que se tiene un cambio en el comportamiento del parámetro que se está analizando.

Los cambios de pendiente que se presenten en una gráfica de diferencias acumuladas de manera simplificada para el caso de pavimentos, nos indica que un tramo carretero dejó de compartir similitudes en los valores del factor de desempeño y el tramo sucesivo presenta un comportamiento diferente.

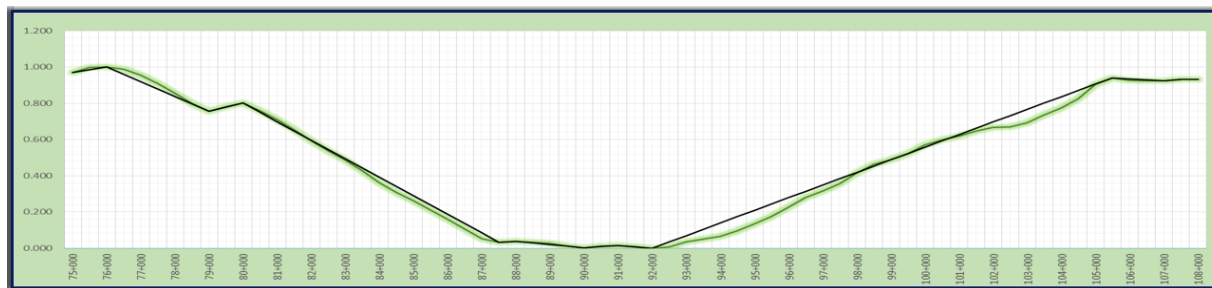


Figura 4.3: Gráfica de diferencias acumuladas: factor de desempeño IRI.

Ejemplo de cálculo para la aproximación de las diferencias acumuladas correspondiente al IRI es lo que se muestra en la figura 4.3:

La curva verde de la gráfica en la figura 4.3, corresponde a el valor Z_x del cálculo para el IRI y la curva sobrepuesta de color negro son las pendientes que unen los puntos máximos y mínimos que marcan las variaciones de un tramo con respecto a otro.

Para concluir la fase 2 de la metodología propuesta, es necesario procesar los datos normalizados de los factores de desempeño a través de un análisis de transformadas Wavelet.

Existen procedimientos de cálculo para transformadas Wavelet, tanto manuales como sistemas de cómputo y para el caso de esta propuesta y por simplicidad, se recomienda realizar el procedimiento haciendo uso del software MATLAB.

Para realizar el análisis, primero se cargan los datos en la ventana principal de MATLAB; para realizar este paso la forma más simple para hacerlo es importar un archivo en formato de tabla, que contenga todas las columnas con los valores de los factores de desempeño o señales a procesar.

Con el archivo cargado en MATLAB, tenemos listas las señales para ser analizadas, esto lo verificamos observando algo similar a lo que se muestra en la figura 4.4.

El archivo que se cargó y se muestra en la figura 4.4, lleva por nombre ZH500, del lado izquierdo se presentan las señales que se crearon (CF, DEF, IRI,PR y TX).

Nota: si observamos detenidamente, nos damos cuenta que los deterioros superficiales no están considerados en esta paso metodológico, ya que estos son en la forma superficial en que se presentan las deflexiones, roderas, el iri, la macrotextura y el coeficiente de fricción. El conjunto de deterioros superficiales es utilizado para definir el estado superficial del pavimento y su análisis se desarrolla en la sección 4.4 de la tesis.

Como se puede observar, cada señal consta de 67 datos para el caso ejemplificado; Los datos cargados se muestran en el recuadro superior derecho, donde vemos algunos de los valores que se cargaron y corresponden al IRI.

Habiendo cargado las señales que se van a filtrar, la ruta a seguir es la siguiente:

- De la sección de aplicaciones que contiene MATLAB se selecciona "Wavelet Design Analysis".
- En la ventana Wavelet toolbox main menu seleccionamos "Wavelet 1-D".
- Se importa la señal que se desea procesar, seleccionando del menú que se despliega en la ventana import from workspace"(figura 4.5):

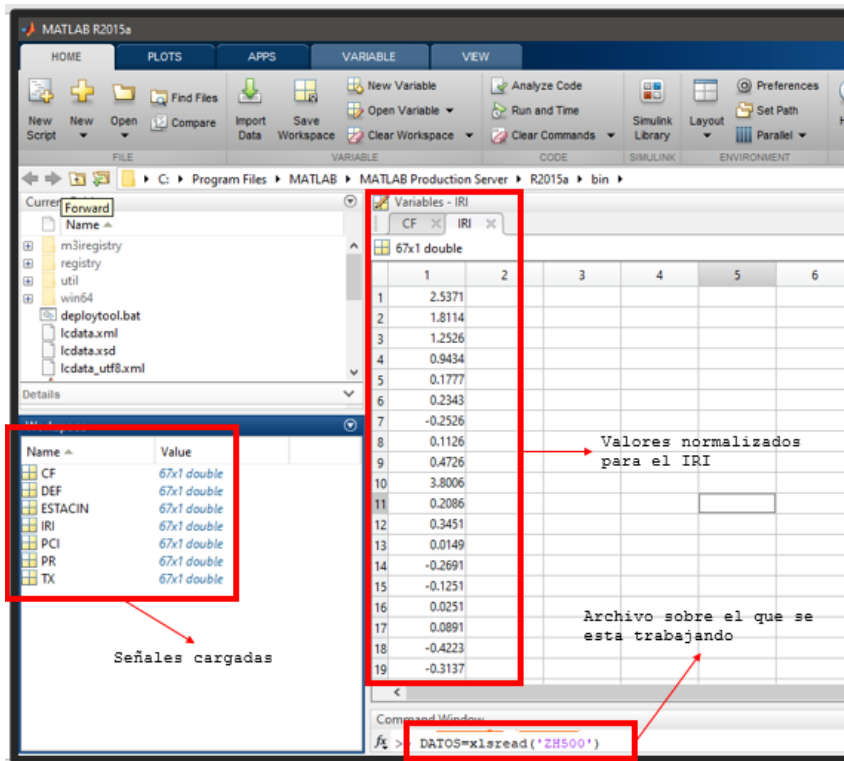


Figura 4.4: Pantalla inicial de MATLAB con señales cargadas.

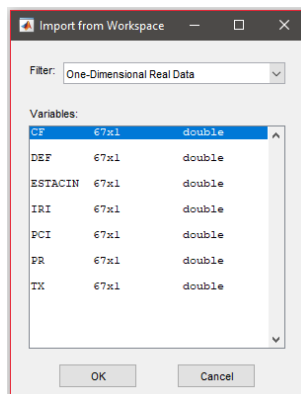


Figura 4.5: Importar señal.

- Finalmente seleccionamos el nivel de descomposición que se desea y automáticamente el programa realiza la transformación de la señal, arrojando una wavelet que conserva el núcleo de la señal pero se presenta de una manera más digerible para su análisis.

En la figura 4.6, se presenta un ejemplo de la transformada Wavelet que resultó para una señal de IRI, en un nivel 4 de descomposición.

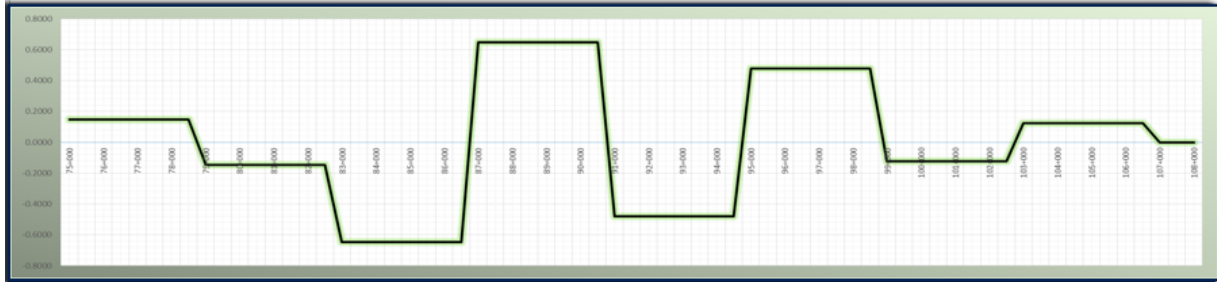


Figura 4.6: Transformada wavelet del IRI para nivel 4 de descomposición.

El procedimiento descrito en esta sección, se debe aplicar a todos los factores de desempeño y con la información sobre datos y gráficas que se tiene para este punto, es suficiente para realizar el seccionamiento del pavimento en estudio, con respecto a las zonas homogéneas, lo que corresponde a la fase 3 de la propuesta metodológica.

De manera general la fase 2 descrita en este apartado, se resume en obtener y organizar los insumos necesarios como son las gráficas y valores normalizados de los factores de desempeño, las diferencias acumuladas de los mismos y las transformadas wavelet, ya que toda esta información se requiere para aplicar fases posteriores de la metodología propuesta.

4.4. Cálculo de zonas homogéneas



La fase tres que se presenta a continuación, corresponde a una parte medular de la metodología propuesta y en general en lo referente a conservación de pavimentos, constituye una parte fundamental, tomando en cuenta que en muchas ocasiones el correcto desempeño de los trabajos de conservación depende de realizar una adecuada obtención de las zonas homogéneas.

Considerando que una carretera está conformada por longitudes variables, llegando a alcanzar valores importantes de cientos de kilómetros y para realizar trabajos de conservación en una carretera primero se debe seccionar en tramos más pequeños y resulta así fundamental, realizar el correcto seccionamiento de las mismas permitiéndose identificar de manera particular el daño que presenta cada subtramo de carretera y de esta manera buscar los trabajos de conservación adecuados que dichos subtramos pudieran requerir.

Las zonas homogéneas están definidas como espacios de la superficie terrestres que presentan condiciones, características o cualidades similares en toda su longitud; concepto que puede aplicarse en diferentes temas de análisis en el área de la ingeniería civil, por ejemplo, en estudios catastrales, climáticos, litológicos, tipos de suelo, etcétera.

En el campo de la ingeniería civil, específicamente en pavimentos, la determinación de zonas homogéneas, constituye un punto de importante aplicación en el área de la conservación de carreteras, ya que permite delimitar tramos que presenten similitudes respecto a uno o más factores de desempeño que describen al menos una condición del estado del pavimento, obtenido de su auscultación.

Siendo el cálculo de zonas homogéneas un proceso crucial en el tema de conservación de pavimentos, nos encontramos que en la práctica profesional este proceso se realiza basándose principalmente en la experiencia del encargado de la conservación o de la persona que se considere más experimentada para el análisis de las gráficas resultado de los factores de desempeño; sin menospreciar el valor que tiene el aplicar experiencia en dicho proceso, es casi obvio que se pueden obtener resultados parciales y en ocasiones resultando con sesgo.

Actualmente, el experto en el tema de conservación toma al conjunto de gráficas y valores obtenidos para cada factor de desempeño y de manera visual, determina el punto en que el pavimento ha cambiado en cuanto a su condición. Como se menciona, la experiencia de los conservadores de pavimentos, desempeña un papel importante, ya que las gráficas usualmente muestran el comportamiento del factor de desempeño de una manera bastante confusa y difícil de interpretar.

En la figura 4.7, corresponde a la auscultación del IRI y si bien el experto bajo su condición parcial, puede decidir el punto en que el tramo carretero presenta una variación considerable con respecto del IRI, si la misma gráfica la toma una persona diferente, el

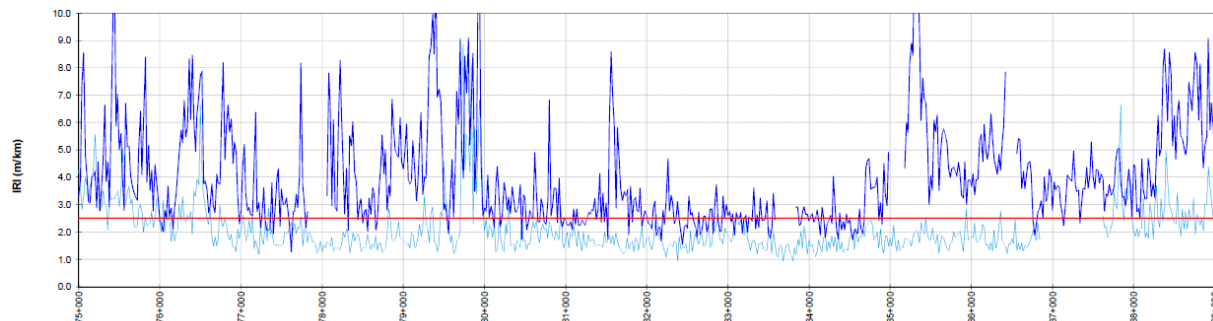


Figura 4.7: Índice de Regularidad Internacional, caso práctico.

punto de cambio en la condición es casi seguro que resulta diferente al determinado por el experto.

En la propuesta de esta tesis se busca eliminar ese tipo de subjetividades presentando una metodología analítica de los datos como una opción que dé sustento en la toma de decisión.

Desde el punto de vista analítico y con la revisión de los antecedentes de seccionamiento de carreteras en zonas homogéneas, la información que se puede encontrar, se limita a una única propuesta de cálculo, recomendada en la guía AASHTO de 1993, la cual está referida al método analítico de las diferencias acumuladas.

El método de las diferencias acumuladas, aun cuando es un cálculo bastante sencillo, presenta una deficiencia importante y es que en su procedimiento únicamente se puede trabajar haciendo uso de un solo factor de desempeño a la vez.

Esta deficiencia, resulta importante ya que para realizar una correcta descripción de los daños de pavimento flexibles, la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, propone la medición de factores estructurales, de seguridad y de condición del estado físico como son el índice de regularidad superficial (IRI), profundidad de roderas (PR), macrotextura (TX), coeficiente de fricción (CF).

Como se expone en la sección del estado del arte, existen otros métodos analíticos que permiten realizar seccionamiento de superficies, como el caso de las isoyetas, polígonos de Thiessen, curvas de nivel, etc. todos ellos se basan principalmente en un único factor bien sea de temperatura, precipitaciones o alturas, para el caso de las curvas de nivel, además de que para el caso de conservación de carreteras, estos métodos no resultan útiles.

Para el caso de seccionar un pavimento ya construido y con necesidades de intervenirlos con trabajos de conservación, no se cuenta con una metodología que sea analítica y que a su vez permita manejar de manera integral a todos los factores de desempeño.

En la tesis que se expone, se presenta una propuesta de metodología integral para la obtención de zonas homogéneas de tramos carreteros basada en la evaluación de la energía de los factores de desempeño propuestos por la SICT (Deflexiones, Índice de Regularidad Internacional, Profundidad de roderas, Coeficiente de fricción y Macrotextura), realizando una jerarquización de los mismos.

La principal aportación de esta metodología radica en fortalecer las características de juicio durante el proceso de seccionamiento al emplear de manera integral los factores de desempeño para que representen una mejor descripción del estado del pavimento presen-

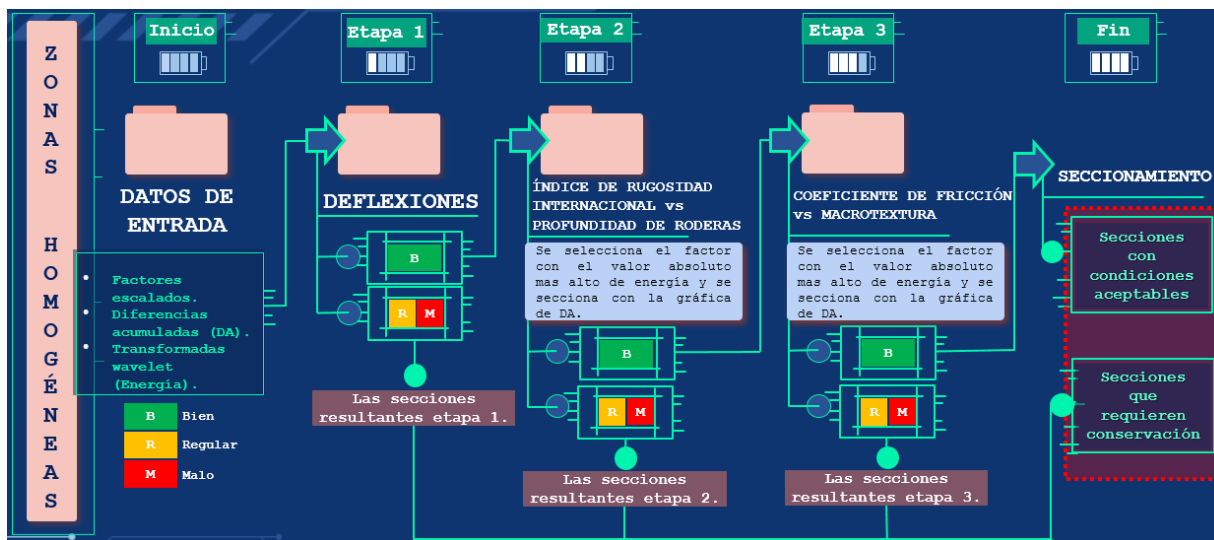


Figura 4.8: Metodología para el cálculo de Zonas Homogéneas.

tados por zonas homogéneas.

La propuesta metodológica para generar zonas homogéneas que se expone en este artículo, requiere de tres insumos importantes que se obtuvieron en la fase de organización de los datos:

1. Normalización de las métricas evaluadas.
2. Transformación de datos basada en transformada wavelet para la selección del factor con el mayor desgaste de energía que refleja el daño.
3. Seccionamiento con el método de diferencias acumuladas con el factor con mayor nivel de energía.

La figura 4.8 muestra el proceso de la metodología para la obtención de zonas homogéneas, propuesta. Consta de tres etapas correspondientes a cada uno de los niveles de revisión considerados: **Estructural** → **Funcional** → **Seguridad**

Para comenzar con el cálculo de las zonas homogéneas, en primera instancia se propone una jerarquización de los factores de desempeño. La jerarquización se enfoca en revisar la estructura del pavimento de manera ascendente, primero con las capas inferiores e ir subiendo hasta llegar a la superficie de rodadura, resumiéndose como sigue:

1. De manera inicial se revisa el comportamiento de las capas estructurales del pavimento, con el análisis de las deflexiones.
2. En seguida se revisa al pavimento, de manera longitudinal y transversal el comportamiento estructural y funcional de las capas superiores con el análisis del IRI y la profundidad de roderas.
3. Se propone finalmente la revisión de la seguridad sobre la capa de rodadura, con el análisis del coeficiente de fricción y la macrotextura.

Habiendo establecido la metodología de la figura 4.8 y teniendo presentes los insumos para su aplicación, el proceso se describe a continuación:

- **Inicio:**

Esta etapa de inicio se hace referencia al proceso realizado en la fase 2 de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación, donde se extraen las gráficas de normalización de los datos, así como al cálculo de las diferencias acumuladas para cada uno de los factores de desempeño propuestos por la SICT; también se indica en esta etapa la necesidad de tener presentes los resultados de las transformadas Wavelet de los factores de desempeño (Deflexiones, IRI, profundidad de roderas, macrotextura y coeficiente fricción), siendo este conjunto de información los datos de entrada.

- **Etapa 1:**

Teniendo los insumos necesarios, se realiza un primer seccionamiento, basándose en la gráfica de diferencias acumuladas de las deflexiones, considerando que este factor de desempeño nos permite hacer la evaluación de las capas inferiores o estructural de un pavimento, este proceso se alinea con el enfoque de revisar al pavimento primero la parte estructural y ascender en las capas del mismo hasta llegar a la parte funcional.

Los tramos homogéneos resultantes se clasifican estado bueno (B), regular (R) o malo (M), según sea el caso del umbral en el que se encuentren, considerando las especificaciones que se tienen para las deflexiones.

Una vez hecha la clasificación de los niveles de estado de los tramos que se obtienen, las secciones que se identifiquen en estado regular o malo, se deberán definir como secciones definitivas concluyendo con que estos tramos requieren atención o trabajos enfocados a un daño estructural.

Se continua con la segunda etapa de seccionamiento únicamente para los tramos identificados en esta primera etapa, como en estado bueno.

- **Etapa 2:**

Se revisan los tramos que en la etapa anterior resulten etiquetados como secciones en estado bueno (B). Esta segunda revisión se realiza con el factor IRI y la profundidad de roderas en conjunto, caracterizando de esta manera el comportamiento estructural y funcional de capas superiores del pavimento en el sentido longitudinal y transversal.

Como se explica, esta segunda etapa se basa en el análisis conjunto del IRI y la profundidad de roderas; si se desea saber cuál factor de desempeño presenta un valor más crítico haciendo una comparación de valores uno a uno resulta bastante sencillo, pero para un caso contrario cuando dicha comparación se realiza entre una cantidad n de valores versus una cantidad n de valores, dicha comparación se complica.

Por lo anterior, y ya que se están tratando en conjunto los dos factores de desempeño, se debe elegir a uno de ellos como el más crítico; en este punto se consideran los valores absolutos de energía obtenidos para ambos factores de la transformada wavelet.

Se realiza una comparación de n valores de energía o desgaste de IRI versus n valores de energía o desgaste de profundidad de roderas, y se elige al que resulte mayor para seccionar el tramo con la gráfica de diferencias acumuladas que le corresponda al factor más crítico.

De la misma manera que para la etapa 1, los tramos obtenidos de esta etapa se clasifican por su nivel de estado según las especificaciones del proyecto de estudio como bueno (B), regular (R) o malo (M) y de manera similar a la etapa 1, lo que resulte en estado regular o mal, se definen como secciones definitivas y las de estado bueno pasan a una tercera etapa.

De esta manera con el seccionamiento obtenido para esta segunda etapa, se tendrá el análisis funcional y estructural de las capas superiores del pavimento, identificando así, los tramos que requieren atención con trabajos orientados a eliminar este tipo de deterioros.

■ **Etapa 3:**

Para la tercera etapa la revisión se enfoca en el aspecto de seguridad en el pavimento, al analizar en conjunto la macrotextura y el coeficiente de fricción.

El proceso en esta etapa es similar a la etapa 2, revisando la energía o desgaste entre ambos factores de desempeño para posteriormente elegir el que presente un estado más crítico en la revisión de sus correspondientes transformadas Wavelet y de la misma manera que al comprar el IRI y la profundidad de roderas se realiza este último seccionamiento con la gráfica de diferencias acumuladas del factor de desempeño macrotextura o coeficiente de fricción que resulto como el mayormente crítico.

Y para finalizar esta etapa, se asigna el nivel de estado bueno (B), regular (R) o malo (M), que presentan las zonas homogéneas que hayan resultado, de acuerdo a las especificaciones que se tienen para el proyecto de que se trate.

■ **Seccionamiento**

El seccionamiento resultante de aplicar la metodología, será el conjunto de todas las secciones definitivas que resultaron de cada etapa, teniendo así cuatro posibles tipos de secciones:

- Secciones tipo I: serán las secciones que resultaron con deficiencias estructurales, mismas que se identificaron en la etapa 1 y requieren de trabajos orientados a recuperar las condiciones estructurales del pavimento.
- Secciones tipo II: son las secciones que principalmente presentan deficiencias en la calidad funcional y estructural de las capas más próximas a la superficie y que son resultado de la etapa 2 en la metodología de cálculo de zonas homogéneas. Requieren trabajos de conservación que se enfoquen en eliminar deficiencias funcionales en el pavimento.
- Secciones tipo III: son secciones que en cuanto a la seguridad se refiere, presentan deficiencias; es decir son superficies lisas que no presentan una adecuada resistencia al movimiento entre la superficie del pavimento y los neumáticos de los vehículos. Son resultado de la tercera etapa y requieren trabajos que permitan recuperar la resistencia al movimiento superficie - neumático.
- Secciones tipo IV: son secciones que al revisar cada uno de los factores de desempeño, sus valores se encuentran dentro de los valores en condiciones aceptables o en estado bueno de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

Con la metodología propuesta en este apartado, se observa la ventaja de su aplicación, ya que se acerca a una descripción más adecuada de la condición del estado actual de un pavimento con la evaluación y análisis integral de los aspectos estructurales, funcionales y de seguridad de una manera puntual con un sustento analítico.

La implementación del uso de la energía o desgaste de los factores de desempeño, ofrece un mayor sustento al conservador en la toma de decisiones y vuelve más confiables los resultados para el resto de los involucrados experimentados y no experimentados en este tipo de proyecto.

También, se debe tener en cuenta que para el análisis y diseño de la metodología para el cálculo de zonas homogéneas que se propone en esta tesis, se considera que se tienen los recursos económicos necesarios para la medición de todos los factores de desempeño para su utilización, propuestos por la SICT.

Para el caso de querer aplicar la metodología de cálculo de zonas homogéneas, en que no se tengan todos los factores de desempeño utilizados para su diseño, la metodología se puede modificar realizando solamente los pasos con la información disponible. En estos casos tener presente que por la carencia de uno o más de uno de los factores de desempeño, las zonas homogéneas resultante no presentan la descripción total de la condición estructural, funcional o de seguridad del pavimento.

Para un caso ejemplo, que no cuenta con la medición de las deflexiones, la metodología solamente contará de dos etapas: una para revisar condición funcional con el IRI y las roderas y otra para revisar la seguridad con el coeficiente de fricción y la macrotextura, se eliminaría de esta manera la revisión y análisis de la condición estructural del tramo.

4.5. Análisis difuso del deterioro



Recapitulando lo expuesto hasta el momento es: tenemos un tramo carretero el cual se encuentra en un punto sobre la curva de deterioros de un pavimento (figura 1.1), el cual requiere de asignarle trabajos de mantenimiento, este ya fue auscultado y los datos obtenidos se organizaron para su análisis, además con los datos organizados se prosiguió a determinar los tramos que presentan condiciones similares en su longitud.

Pasando a la fase 4 de la metodología tenemos que si bien los tramos homogéneos se encuentra ya delimitados, ahora es necesario determinar cómo se encuentra cada tramo de acuerdo al nivel de daño que se presente en cada caso; la determinación del daño se realiza con el análisis de los 18 deterioros superficiales expuestos en la fase 1 de esta metodología.

A continuación se describe brevemente a cada uno de los 18 deterioros superficiales utilizados en el desarrollo del proyecto:

1. Agrietamiento de piel de cocodrilo: también es conocido como agrietamiento por fatiga y se refiere a una serie de grietas interconectadas que forman pequeños polígonos de hasta 20 centímetros asemejando la piel de un cocodrilo.
2. Exudación de asfalto: flujo o ascenso a través de grietas del asfalto formando una película o capa peligrosa en la superficie del pavimento.
3. Agrietamiento con patrón de mapa: desintegración de la superficie de rodadura de un pavimento en el cual el agrietamiento forma un patrón que asemeja la subdivisión política de un mapa. Los polígonos formados en este tipo de agrietamiento son de más de 20 centímetros.
4. Bordo o depresión localizados: los bordos son desplazamiento hacia arriba, localizados en la superficie del pavimento y caso contrario las depresiones serán hundimientos o desplazamientos hacia abajo, pequeños y abruptos de la superficie de rodadura.
5. Ondulaciones transversales: se definen como cimas y depresiones muy próximas entre sí, que ocurren en intervalos bastante regulares y son perpendiculares a la dirección del tránsito.
6. Depresión por asentamiento: son áreas localizadas en la superficie del pavimento que presentan un nivel menor con respecto al nivel de la superficie alrededor de estos.
7. Agrietamiento en la orilla: son grietas paralelas a la dirección del tránsito y se pueden ubicar en el borde exterior del pavimento.

8. Grietas de reflexión: son grietas que se presentan en pavimentos flexibles contruidos sobre una carpeta de mayor rigidez, por ejemplo sobre una superficie de concreto de cemento portland.
9. Acotamiento en desnivel: es el desnivel entre el acotamiento en el borde del pavimento debido al asentamiento del acotamiento o a la colocación de sobrecarpetas en la calzada del pavimento.
10. Grietas longitudinales y transversales: las grietas longitudinales son paralelas a la dirección del tránsito y las transversales son aproximadamente perpendiculares a la dirección del tránsito. Algunas causas de la aparición de este tipo de agrietamiento son juntas de carril, contracción de la superficie, entre otras.
11. Baches o cortes reparados en el pavimento: son áreas del pavimento que han sido remplazadas por material nuevo, con la finalidad de reparar el pavimento existente.
12. Textura lisa: se refiere a superficies donde la adherencia del neumático de un vehículo y pavimento se ha reducido considerablemente y el deterioro se debe a la repetición de cargas de tránsito.
13. Baches abiertos: son depresiones pequeñas usualmente menores de 0.90 metros, presentes en la superficie de un pavimento, debidas a el desprendimiento del material superficial por efecto del tránsito.
14. Roderas: son depresiones en la superficie del pavimento, ubicadas a lo largo de las huellas de los neumáticos de un vehículo, producidas por la compactación o el movimiento del material de la carpeta en respuesta a la carga del tránsito.
15. Corrimiento de carpeta: es un desplazamiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento, producida por efectos del tránsito.
16. Agrietamiento por deslizamiento: son grietas en forma de media luna y se producen con el frenado de los neumáticos o cuando estos giran; este efecto es acompañado usualmente por carpetas de baja resistencia.
17. Levantamiento por expansión: se refiere al abultamiento de la superficie del pavimento, en una onda larga de más de 3.0 metros de longitud y es causado por el congelamiento de la subrasante o por suelos expansivos.
18. Desgaste o erosión: se define como la perdida de superficie del pavimento, debida a la eliminación del ligante asfáltico y de los agregados sueltos.

Nota: en la revisión de los catálogos de deterioros superficiales de pavimentos flexibles, es común encontrar 'cruce de vía férrea', como deterioro perteneciente a esta categoría, pero para el caso de esta tesis al considerar como base de análisis las autopistas, el deterioro mencionado no se considera. Para los pavimentos rígidos o de superficie de concreto de cemento portland, los deterioros superficiales son en su mayoría diferentes a los de pavimentos flexibles.



Figura 4.9: Parte I. Agrupamiento de los deterioros superficiales.

Después de describir y entender los conceptos de cada deterioro superficial se procede a realizar su análisis y examinar de manera específica el daño que se presenta en un pavimento flexible, en esta tesis se desarrolló un procedimiento de análisis para los deterioros superficiales conformado por dos importantes partes:

1. Agrupamiento de los deterioros superficiales.
2. Análisis modular.

Parte 1. Agrupamiento de los deterioros superficiales.

Revisando detenidamente la descripción de los deterioros, se observa que tanto las zonas de aparición son diferentes entre sí, la forma en que se presentan son también diferentes y además los orígenes de los mismos, son resultado de diferentes causas, lo cual conduce así a un análisis que se convierte en algo más complejo y para nada trivial.

El agrupamiento de los deterioros superficiales o parte I, que resultó para su análisis se expone en la figura 4.9; esta primera parte de agrupamiento de los deterioros superficiales, como se observa en la figura, está conformada por una secuencia de tres pasos.

En el paso I, se seleccionan los deterioros superficiales sobre los que se realiza el análisis, siendo de 18 deterioros superficiales en el caso de esta tesis. Es en este primer paso donde se estudian las descripciones de los deterioros superficiales y con la información recabada se cuenta con lo necesarios para avanzar en la secuencia propuesta.

Con el objetivo de realizar un análisis granular y a la vez integral de los deterioros, en el paso II de la secuencia presentada en la figura 4.9 se procede a el agrupamiento de los deterioros superficiales ya definidos en el paso I.

Primero el agrupamiento de los deterioros se realiza de acuerdo al fenómeno dominante de como se presentan estos deterioros en la superficie del pavimento. Como resultado del agrupamiento tenemos las siguientes cinco clases:

1. Agrietamiento: En esta clase se agrupan los deterioros que sean referidos al desarrollo de grietas, sin importar su forma u origen.

2. Defectos superficiales: El segundo grupo se conforma con los deterioros referidos al aspecto de la superficie del pavimento de acuerdo a su textura.
3. Deformaciones: para esta clase se separan los deterioros que se refieran al cambio de aspecto del pavimento de acuerdo su tamaño o forma, como abultamientos u ondas.
4. Baches y bacheo: se agrupan los deterioros referidos a fallas localizadas, en las que la capa superior se ha desprendido generando un hueco que se encuentra abierto o reparado con anterioridad.
5. Varios: el último grupo es integrado por el o los deterioros que no encuentren lugar en los demás grupos, ya que sus características no cumplen con las condiciones bajo las que se agruparon respectivamente.

Del agrupamiento tenemos entonces que se conforman 5 conjuntos denominados clases de deterioros superficiales y para el desarrollo y análisis de las mismas, se utiliza una nomenclatura específica, siendo así: Agrietamiento (AGR), Defectos superficiales (DSUP), Deformaciones (DF), Baches y bacheo (BYB) y Varios (VA).

Considerando que en las clases de agrietamiento y deformaciones se tiene una cantidad relativamente considerable de deterioros y con el objetivo de realizar un análisis más granular (paso III), estas clases a su vez se reagruparon en módulos más pequeños (módulos conformados por 1, 2 y hasta 3 deterioros), teniendo entonces para la clase de agrietamiento submódulos: AGR1, AGR2, AGR3 y AGR4, y para la clase deformaciones: deformaciones (DF1), deformaciones (DF2) y deformaciones (DF3).

La creación de los sub-módulos se realiza de acuerdo a la forma en que se pueden encontrar los deterioros correspondientes, sobre el pavimento. El criterio de la creación de las clases como se ha hecho mención se realiza de acuerdo al fenómeno dominante como se presentan. Por ejemplo, en la clase AGR ya se definió que la conforman todos los deterioros que se presentan en forma de grietas, pero para reagrupamiento se tienen dos criterios, el origen del deterioro o la forma en que se presentan, siendo este último criterio el elegido para el reagrupamiento de deterioros.

Se elige la forma en que se presenta el deterioro como criterio para reagrupar, ya que el 'origen' requeriría un análisis muy específico e individualizado para cada caso de estudio, ya que este puede ser por variadas razones inestabilidad de las bases del pavimento, condiciones del sitio, deficiencias en el proceso constructivo, entre otros, pudiendo afectar a una capa del pavimento o más.

Se tiene entonces que los deterioros en general pueden ser de forma longitudinal o transversal al pavimento, aislados o interconectados y sobre la calzada o próximas al acotamiento, de dimensiones considerables o muy pequeñas, entre otras.

Del agrupamiento, específicamente de la definición de sub-módulos resultan cuatro, dos para la clase de agrietamiento (AGR1 y AGR2) y dos para la clase de deformaciones (DF1 y DF2). En la figura 4.20 se presenta el resultado del agrupamiento de los deterioros superficiales.

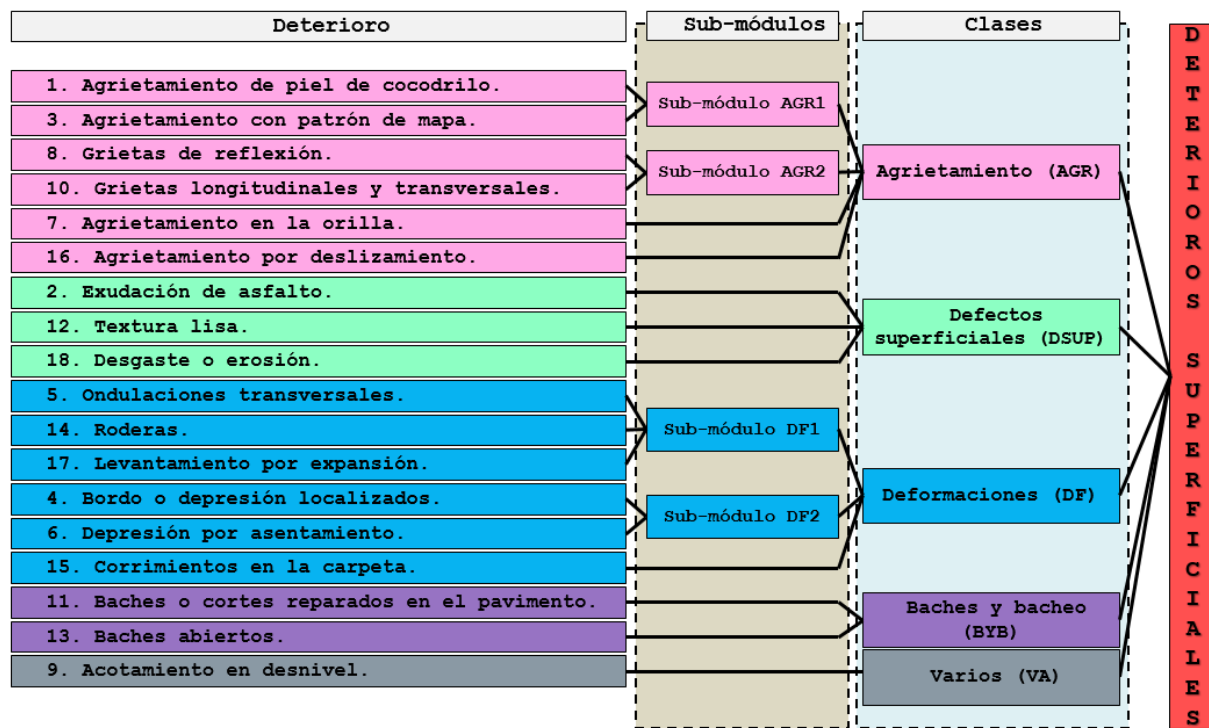


Figura 4.10: Agrupamiento de los deterioros superficiales en clases y sub-módulos.

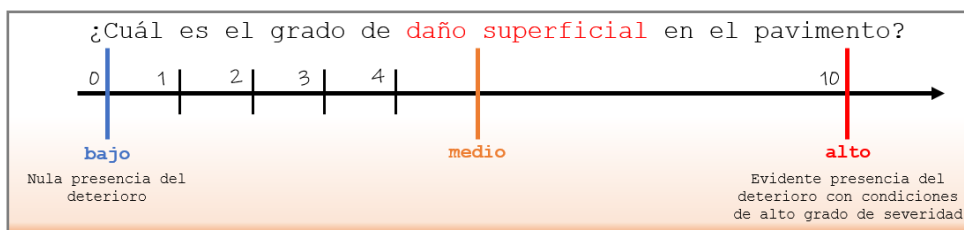


Figura 4.11: Regla de evaluación del daño superficial en el pavimento.

Parte 2. Análisis modular.

Actualmente, los deterioros superficiales son evaluados de acuerdo a la evolución que presentan asignándoles una etiqueta lingüística de 'bajo', 'medio' y 'alto' como niveles de severidad.

Estos niveles de severidad corresponden para cada deterioro superficial y una descripción del mismo y con el fin de realizar un análisis objetivo haremos uso de la lógica difusa para interpretar las etiquetas que le corresponden.

Es importante mencionar que para el desarrollo de esta tesis y para aplicar la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación en pavimentos flexibles que se está describiendo, es necesario evaluar a los deterioros superficiales en un rango de cero (0) cuando hay nula presencia del deterioro medido y diez (10) cuando su presencia es considerable y las características del deterioro se alinean con la descripción de su nivel alto de severidad (ver figura 4.11).

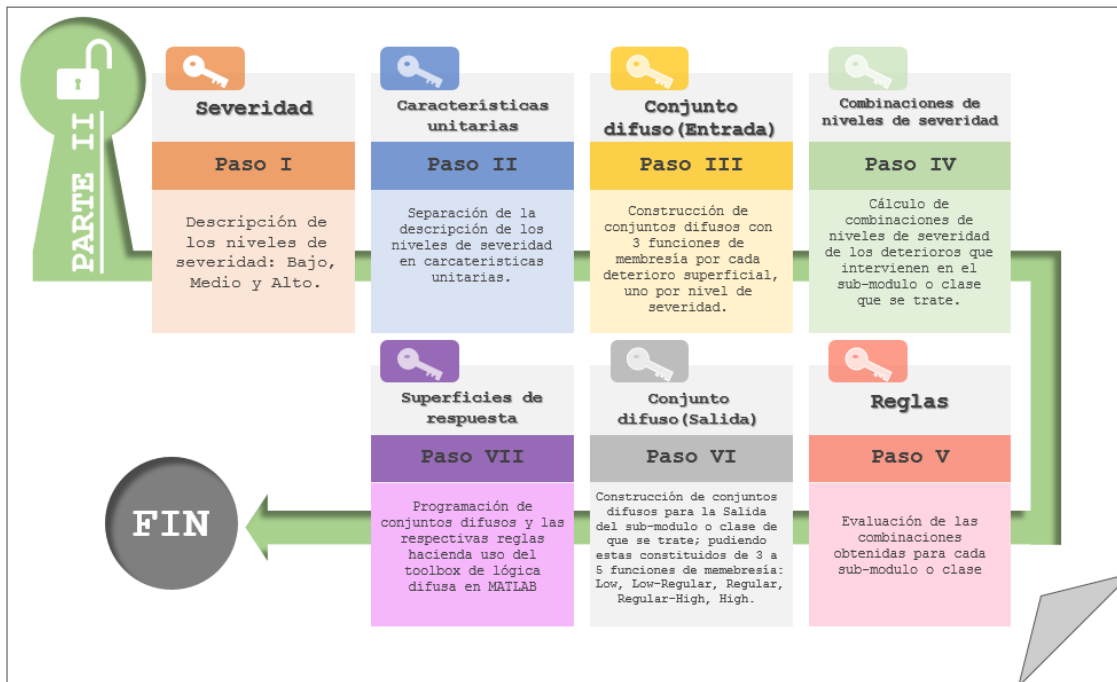


Figura 4.12: Parte II. Análisis Modular.

El proceso general que se siguió en el desarrollo para el análisis modular de las clases y de los sub-módulos en que se agrupa a los deterioros superficiales, está conformado por siete pasos importantes como se muestra en la figura 4.12 y se describe a continuación:

- Paso I: Se obtiene y analiza la descripción que integra a los niveles de severidad con que se evalúa a los deterioros superficiales. En este primer inciso se puede identificar una serie de características partículas que se atribuyen a cada nivel de severidad de los deterioros y que en conjunto conforman la descripción lingüística total, correspondiente a los niveles de severidad.
- Paso II: Se descompuso la descripción lingüística para los nivel de severidad de cada deterioro, de una sumatoria de características en características unitarias; por ejemplo 'finas fisuras del espesor de un cabello en un patrón o red de fisuras con ligera desintegración = Fisuras del espesor de un cabello + desintegración de partículas en la superficie del pavimento'.
- Paso III: Con el análisis de las etiquetas lingüísticas, específicamente con las características unitarias que le corresponden a los niveles de severidad bajo, medio y alto, de cada deterioro superficial, se seleccionaron las formas de las funciones de membresía que representan a los niveles de severidad.
- Paso IV: Ya que cada deterioro puede dar como resultado en su evaluación severidades de bajo, medio y alto, a excepción del deterioro de textura lisa, el cual se verifica su presencia o ausencia, en este cuarto paso se obtienen las combinaciones posibles de los niveles de severidad de los deterioros involucrados en el módulo que se esté desarrollando.

- Paso V: Se procede con la evaluación de las combinaciones de los niveles de severidad, asignando una nueva etiqueta de acuerdo a lo que resulta de su interacción; es decir, de interactuar en una combinación de una severidad baja con una severidad alta, la evaluación podría resultar en una severidad regular, pero esto dependerá de la valoración y análisis de los deterioros superficiales involucrados.
- Paso VI: Para realizar el proceso difuso se requieren conjuntos difusos en la entrada y reglas resultado de las combinaciones de severidad que se describieron en los incisos anteriores pero además de estos dos insumos, se requiere del diseño de conjuntos difusos para la salida. Estos diagramas de salida, corresponden a las etiquetas lingüísticas de la severidad que resulta en la evaluación de las combinaciones de las severidades de los deterioros y en el caso de esta tesis, las severidades que pueden resultar de la evaluación son: Low, Low-Regular, Regular, Regular-High y High, como se verá mas adelante.
- Paso VII: En este último paso metodológico se realizó la programación de las superficies de respuesta para los módulos que resultan en la agrupación de los 18 deterioros superficiales, además se hizo un análisis de las mismas con el objetivo de elegir las que den resultados acordes a la realidad.

De realizar el procedimiento descrito en los incisos anteriores y que se resumen en la figura 4.12, se obtienen superficies de respuesta que permiten visualizar la interacción de dos o más deterioros superficiales.

A continuación, se desarrolla el análisis, diseño y construcción de las superficies de respuesta correspondientes a las clases y sub-módulos en que se agruparon los deterioros superficiales. En estas subsecciones de a continuación, podemos visualizar la descripción para los niveles de severidad de los deterioros superficiales, los conjuntos difusos correspondientes tanto en la entrada como en la salida, así como superficies de respuesta resultantes.

4.5.1. Análisis de la clase 1: Agrietamiento (AGR)

Los niveles de severidad (bajo, medio y alto), de los deterioros superficiales tienen una descripción lingüística particular para ser identificados y asignados durante una auscultación de pavimentos.

A continuación se presentan las descripciones de los niveles de severidad para cada deterioro y el procedimiento de análisis realizado para las clases como se agruparon los deterioros superficiales, así como de los sub-módulos que conforman a cada clase.

Se incluye también en este apartado, tablas que resumen la forma de las funciones de membresía en el diseño de los conjuntos difusos para los deterioros superficiales y sus niveles de severidad, además de los parámetros que constituyen los puntos de inflexión de las funciones de membresía.

Sub-módulo AGR1:

- Agrietamiento de piel de cocodrilo:

Tabla 4.3: Funciones de membresía en la ENTRADA para los deterioros que conforman al sub-módulo AGR1.

DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARAMETROS
Agrietamiento de piel de cocodrilo	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Trapezoidal	1.5, 4.5, 5.5, 8.5
	ALTO	Trapezoidal	6, 9, 10, 10
Agrietamiento con patrón de mapa	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4.5
	MEDIO	Triangular	3, 5, 7
	ALTO	Trapezoidal	5.5, 9, 10, 10

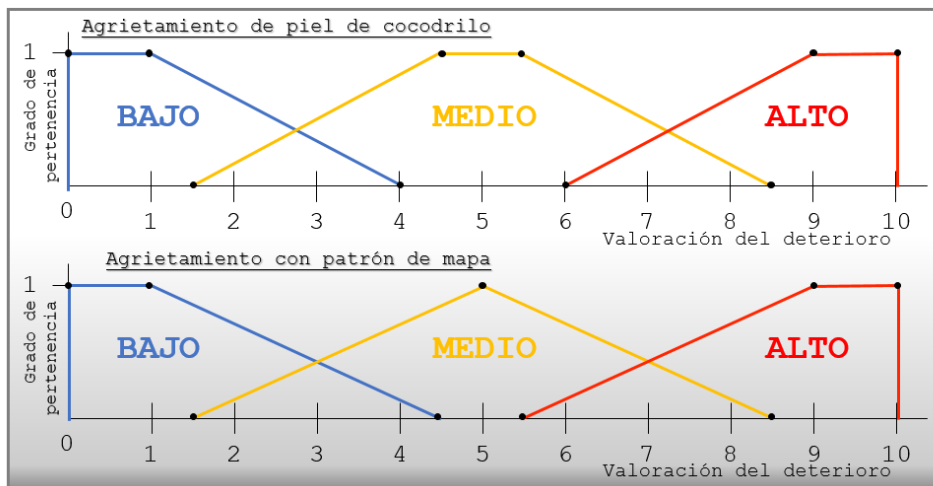


Figura 4.13: Conjuntos difusos correspondiente a los deterioros que conforman al sub-módulo AGR1.

BAJO: Finas fisuras del espesor de un cabello, con recorrido paralelo entre ellas y algunas o ninguna interconexión.

MEDIO: Continuación de las fisuras en un patrón o red de fisuras con ligera desintegración.

ALTO: Fisuras con progreso tal que las piezas están bien definidas y descarcajadas en los bordes incluso hay movimiento de piezas.

■ Agrietamiento de patrón de mapa:

BAJO: Bloques definidos con grietas longitudinales y transversales de severidad baja.

MEDIO: Bloques definidos con grietas longitudinales y transversales de severidad media.

ALTO: Bloques definidos con grietas longitudinales y transversales de severidad alta.

La tabla 4.3, contiene las formas de las funciones de membresía correspondientes al submódulo AGR1 además de los parámetros con las que son construidas y en la figura 4.13, se muestran los conjuntos difusos para el agrietamiento de piel de cocodrilo y el agrietamiento de patrón de mapa.

Tabla 4.4: Funciones de membresía en la SALIDA para el AGR1.

SUB-MÓDULO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
AGR1	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4.5, 5.5, 8
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10, 10

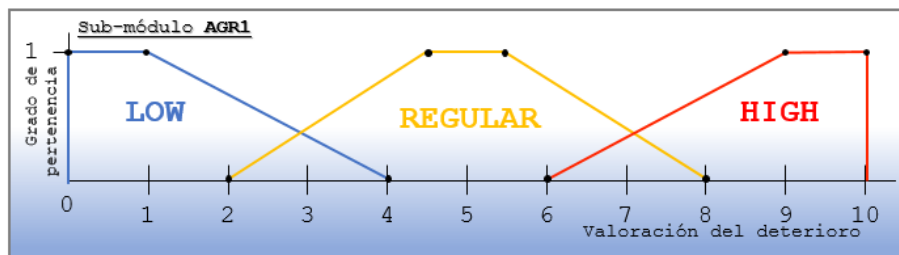


Figura 4.14: Conjunto difuso correspondiente a la SALIDA del sub-módulo AGR1.

Como se observa en la figura 4.13, para este diseño se emplearon 3 funciones de membresía para cada deterioro superficial que conforma este sub-módulo y que corresponden a cada nivel de severidad con que actualmente se evalúa.

Para la salida del diseño del sub-módulo AGR1, se utilizaron también 3 funciones de membresía, construidas con los parámetros especificados en la tabla 4.4 y su correspondiente conjunto difuso es el que se muestra en la figura 4.14.

El paso previo a la programación de la información en la construcción del sub-módulo AGR1, consiste en realizar las combinaciones de los niveles de estado que se asignan a cada defecto superficial que conforma al sub-módulo.

Con el total de combinaciones de estados de severidad determinadas (bajo, medio, alto), se debe evaluar cada una y asignar una etiqueta que corresponde a lo que resulta de la interacción de dos o más deterioros superficiales, que para este caso son: agrietamiento de piel de cocodrilo en conjunto con el agrietamiento con patrón de mapa.

En la tabla 4.5 se presentan las reglas para el sub-módulo AGR1, que involucra dos deterioros superficiales con tres niveles de severidad cada uno, concluyendo con 9 combinaciones y su respectiva evaluación.

Para evaluar las combinaciones y asignarles una etiqueta de estado de severidad (Low, Regular, High), se realizó un análisis en el que se propuso una ponderación de los efectos que causa la evolución de un deterioro u otro, es decir la evolución de cuál de los deterioros superficiales involucrados representa un daño más relevante y qué, por consiguiente requiere una atención más próxima.

Por ejemplo, para el sub-módulo AGR1, el agrietamiento de piel de cocodrilo es un deterioro que se desarrolla principalmente por efectos de inestabilidad de las bases y su presencia representa un daño estructural en la sección del pavimento. Esto conduce a que se trata de un deterioro de mayor causa y efecto, sobre los agrietamientos con patrón de mapa que se originan por condiciones en la capa superficial del pavimento y en pocas ocasiones por cuestiones estructurales.

Tabla 4.5: Reglas obtenidas de la interacción de los deterioros que conforman al sub-módulo AGR1.

Submódulo AGR1				
Agrietamiento de piel de cocodrilo	Agrietamiento de patrón de mapa	Combinación	# Regla	Evaluación
Bajo	Bajo	BB	1	Low
Bajo	Medio	BM	2	Low
Bajo	Alto	BA	3	Regular
Medio	Bajo	MB	4	Regular
Medio	Medio	MM	5	Regular
Medio	Alto	MA	6	High
Alto	Bajo	AB	7	High
Alto	Medio	AM	8	High
Alto	Alto	AA	9	High

Lo anterior se ejemplifica con la regla número 3 y 7 presentadas en la tabla 4.5, donde en la regla 3 mientras el agrietamiento de piel de cocodrilo con severidad baja en interacción con una severidad alta del agrietamiento con patrón de mapa apenas alcanza una evaluación de 'Regular' y en comparación de la regla 7 donde se invierten las etiquetas de severidad de ambos deterioros, la evaluación que resulta es con la etiqueta 'High'.

La diferencia de resultado de las reglas descritas hace referencia entonces a que el nivel de severidad del agrietamiento de piel de cocodrilo es desarrollada por efectos más desfavorables para el pavimento por sobre el agrietamiento de patrón de mapa, además que, de existir el primero de estos deterioros tanto para el pavimento como para el usuario resultará más perjudicial.

El diseño de las funciones de membresía de los deterioros superficiales que constituyen el submódulo AGR1 (conjunto de entrada), las funciones de membresía de la salida y el cálculo de las reglas de combinación, constituyen los insumos para el análisis del submódulo.

En este punto se cuenta con las condiciones necesarias para realizar la construcción de la superficie de respuesta del AGR1, la cual se desarrolla haciendo uso del toolbox de lógica difusa de MATLAB, teniendo como resultado la superficie mostrada en la figura 4.15.

La interpretación de la superficie es simple: cuando la valoración de los deterioros se encuentra en el punto '0,0' de la gráfica el submódulo indica un daño con valoración de 'cero (0)' o 'Low' y en medida que el deterioro evoluciona o se aleja del cero, la respuesta del sistema irá aumentando también hasta alcanzar un valor de diez (10), indicando que el deterioro a alcanzado el punto máximo donde se pueden considerar trabajos de rehabilitación. Posterior a este punto máximo de evolución de deterioros, se considera necesario implementar trabajos más invasivos para el pavimento, como reconstrucción del mismo.

Por ejemplo como se muestra en la figura 4.16, cuando el agrietamiento de piel de cocodrilo ha sido valorado con ocho (8) y la valoración del agrietamiento con patrón de mapa es de cinco (5), la respuesta del sistema es de 7.42; un valor de evolución del daño alto, considerando que cero significa que hay poca o nula presencia del deterioro y 10 cuando el pavimento ha sido totalmente afectado con alta presencia del deterioro.

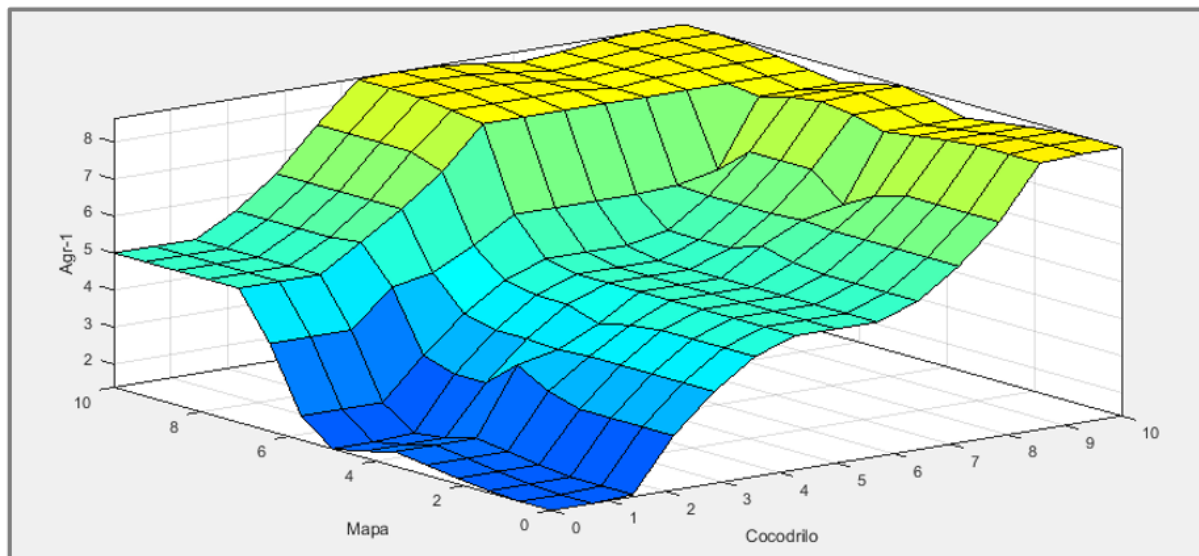


Figura 4.15: Superficie de respuesta del sub-módulo AGR1.

Como se puede observar en la figura 4.16, es sencillo identificar cuáles son las reglas que se están activando de acuerdo al valor del deterioro analizado, indicando en color amarillo las funciones de membresía de dicha activación de reglas.

La parte proporcional de las funciones de membresía, que se encuentran sombreadas en color amarillo es el indicativo de la pertenencia para el valor de evaluación del deterioro de que se trate y que en conjunción con la pertenencia del otro deterioro superficial con el que se interactúa en el análisis, constituyen el resultado final de evaluación de la clase o sub-módulo, según sea el caso.

Continuando con el análisis de la figura 4.16, se observa que la valoración de ocho del agrietamiento de piel de cocodrilo, para este análisis difuso, tiene una pertenencia mayor en las funciones de membresía asociadas a una severidad high, pero también se tiene un valor de pertenencia en menor proporción con respecto a las funciones de membresía asociadas a una severidad regular.

Para el caso del agrietamiento con patrón de mapa, el análisis resulta más simple, ya que para el ejemplo de la figura 4.16, el valor de cinco tienen un valor de pertenencia de uno (1) para las funciones de membresía asociadas a una severidad regular.

Sub-módulo AGR2:

- Grietas de reflexión:

BAJO: Grieta sin relleno de ancho menor de 10mm. 2. Grieta rellena de cualquier ancho.

MEDIO: Grieta sin relleno con ancho entre 10 y 76 mm. 2. Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76mm. Rodeada de ligero agrietamiento aleatorio. 3. Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de ligero agrietamiento aleatorio.

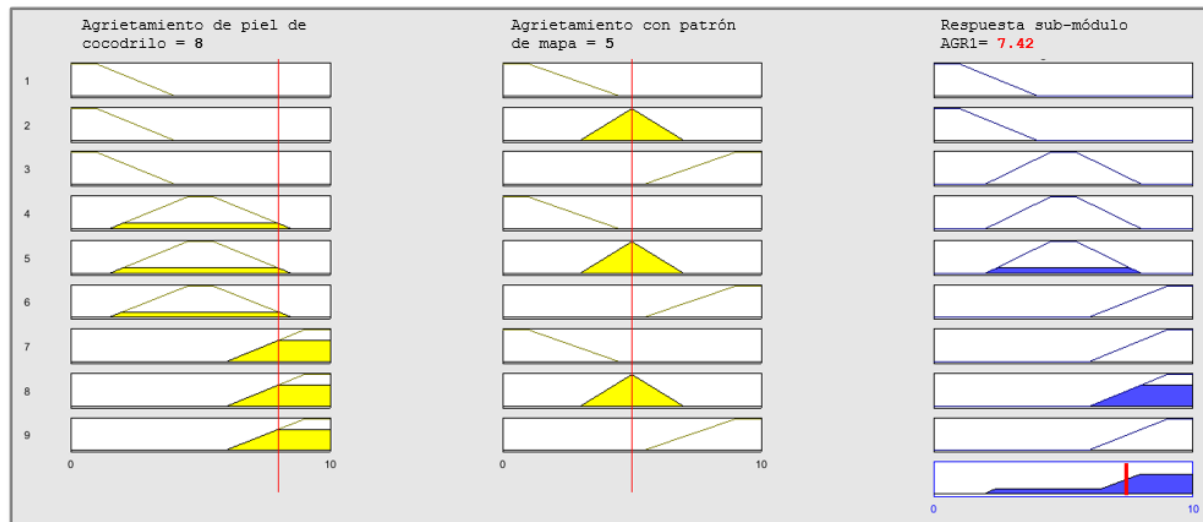


Figura 4.16: Reglas y respuesta del sub-módulo AGR1.

Tabla 4.6: Funciones de membresía en la ENTRADA para los deterioros que conforman al sub-módulo AGR2.

DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Grietas de reflexión	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
Grietas longitudinales y transversales	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10

ALTO: 1) Cualquier grieta rellena o no, rodeada de agrietamiento de media o alta severidad. 2) Grietas sin relleno de más de 76mm. 3) Grieta de cualquier ancho con pulgadas severamente fracturadas.

■ Grietas longitudinales y transversales:

BAJO: Grieta sin relleno de ancho menor que 10 mm. 2. Grieta rellena de cualquier ancho.

MEDIO: 1) Grieta sin relleno con ancho entre 10 y 76 mm. 2) Grieta sin relleno de cualquier ancho hasta 76mm. Rodeada de ligero agrietamiento aleatorio. 3) Grieta rellena de cualquier ancho rodeada de ligero agrietamiento aleatorio.

ALTO: 1) Cualquier grieta rellena o no, rodeada de agrietamiento de media o alta severidad. 2) Grietas sin relleno de más de 76mm. 3) Grieta de cualquier ancho con pulgadas severamente fracturadas.

La tabla 4.6, contiene las formas de las funciones de membresía correspondientes al sub-módulo AGR2 además de los parámetros con las que son construidas y en la figura 4.17, se muestran los conjuntos difusos para las grietas de reflexión y las grietas longitudinales y transversales.

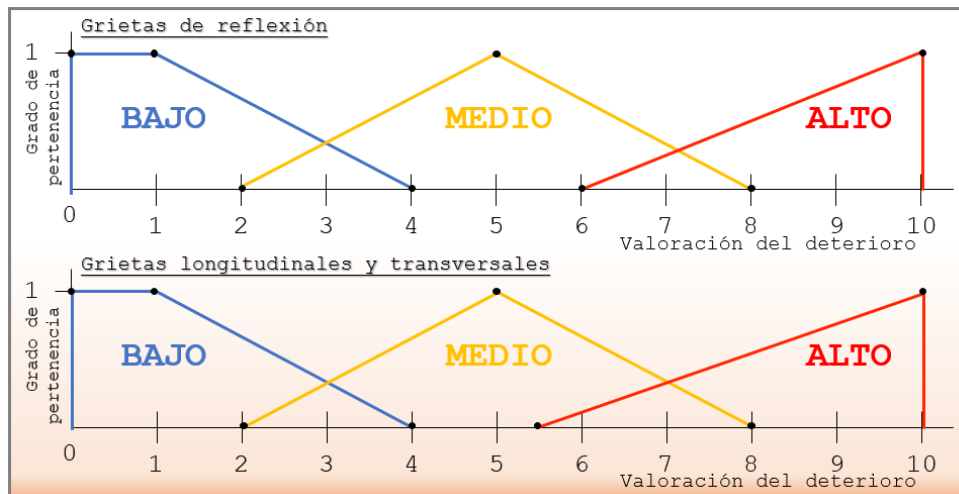


Figura 4.17: Conjunto difuso correspondiente a los deterioros que conforman al sub-módulo AGR2.

Tabla 4.7: Funciones de membresía en la SALIDA para el AGR2.

SUB-MÓDULO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
AGR2	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4.5, 5.5, 8
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10, 10

De manera similar al sub-módulo AGR1, para el diseño del AGR2 también se emplearon 3 funciones de membresía para cada deterioro superficial como entrada así como para la salida.

La construcción se llevó a cabo con los parámetros especificados en la tabla 4.7 y sus correspondientes conjuntos difusos se muestran en la figura 4.18.

En la tabla 4.8 se presentan las reglas para el sub-módulo AGR1, que involucra dos deterioros superficiales: Grietas de reflexión y Grietas longitudinales y transversales, cada uno con tres niveles de severidad, resultando así con 9 combinaciones y su respectiva evaluación.

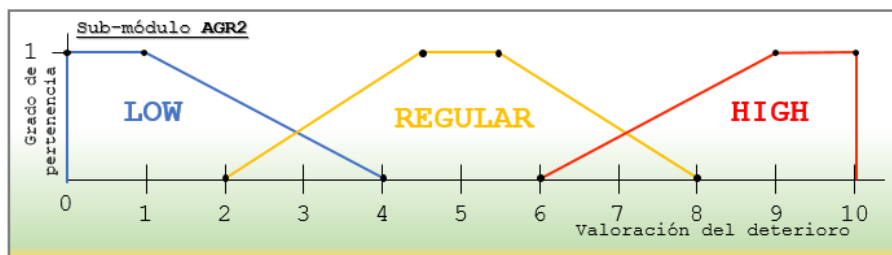


Figura 4.18: Conjuntos difusos correspondiente a la SALIDA del sub-módulo AGR2.

Tabla 4.8: Reglas obtenidas de la interacción de los deterioros que conforman al sub-módulo AGR2.

Submódulo AGR2				
Grietas de reflexión	Grietas long. y transv.	Combinación	# Regla	Evaluación
Bajo	Bajo	BB	1	Low
Bajo	Medio	BM	2	Regular
Bajo	Alto	BA	3	Regular
Medio	Bajo	MB	4	Low
Medio	Medio	MM	5	Regular
Medio	Alto	MA	6	High
Alto	Bajo	AB	7	Regular
Alto	Medio	AM	8	High
Alto	Alto	AA	9	High

Las consideraciones que se tomaron para evaluar las reglas de este sub-módulo son similares a la evaluación de las reglas del sub-módulo AGR1, ponderando las causas de los deterioros involucrados y sus efectos sobre el pavimento en caso de la presencia del deterioro.

En este punto se cuenta con los insumos necesarios para realizar la construcción de la superficie de respuesta del AGR2, conformada por grietas de reflexión y grietas longitudinales y transversales, haciendo uso del toolbox de lógica difusa de MATLAB.

La figura 4.19 muestra la superficie de respuesta que resulta de programar las funciones de membresía de los deterioros superficiales que intervienen, las reglas resultados de las combinaciones de severidad y las funciones de membresía diseñadas para la salida del sub-módulo AGR2.

A diferencia de la superficie de respuesta del sub-módulo AGR1 (4.15), para el sub-módulo AGR2 es notorio que la evolución total de uno de los deterioros superficiales que intervienen en este caso, significa apenas un daño de regular severidad; para que el daño sea bastante considerable con una severidad que tienda a resultar 'high', se requiere de la evolución en conjunto de los deterioros involucrados y que a su vez estos tengan una valoración por encima de cinco (5).

Con el submódulo de agrietamiento 1 (AGR1) y el submódulo de agrietamiento 2 (AGR2) descritos, lo que procede es realizar la construcción de la superficie de respuesta de la clase agrietamiento (AGR), que se conforma por ambos sub-módulos en conjunto con los deterioros: agrietamiento en la orilla y agrietamiento por deslizamiento.

Recapitulando, en el proceso de construcción de superficies de respuesta, se requieren de tres insumos importantes: conjunto difuso en la entrada, reglas de combinaciones de severidad y conjuntos difusos para la salida. Para la construcción de la clase de agrietamiento, los conjuntos difusos para la entrada serán los conjuntos difusos en la salida de los sub-módulos AGR1 y AGR2 pero además son necesarios los conjuntos difusos del deterioro agrietamiento en la orilla y por deslizamiento.

La descripción de los deterioros individuales que conforman la clase del agrietamiento

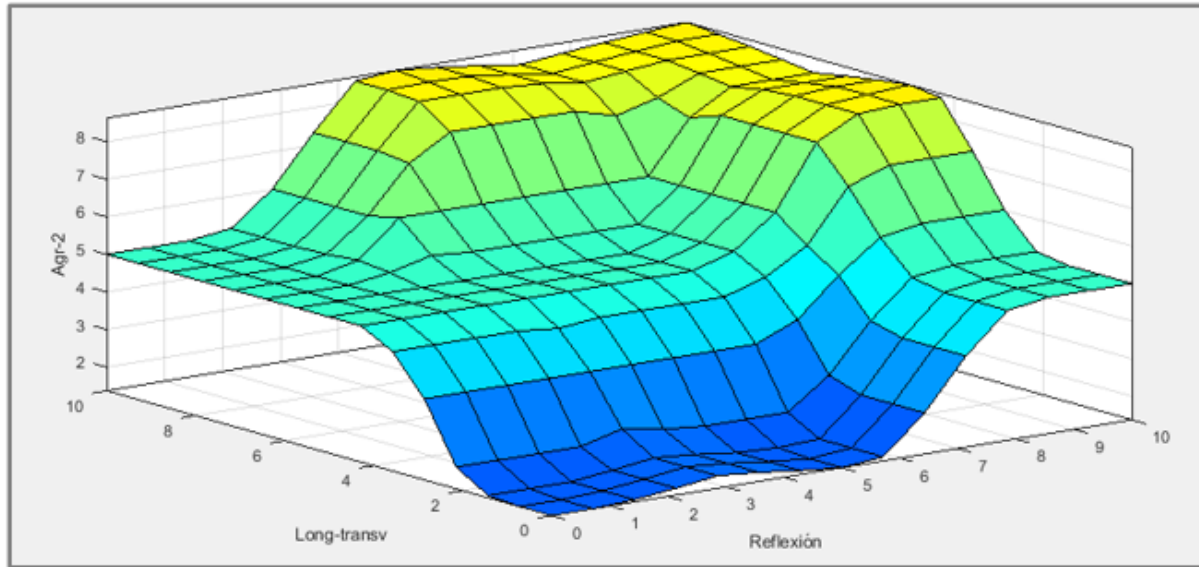


Figura 4.19: Superficie de respuesta del sub-módulo AGR2.

(agrietamiento en la orilla y agrietamiento por deslizamiento), se presenta a continuación y también se exponen los conjuntos difusos correspondientes, para completar la construcción de la clase agrietamiento.

- Agrietamiento en la orilla:

BAJO: Agrietamiento bajo o medio sin fragmentación o desprendimiento.

MEDIO: Grietas medias con algo de fragmentación o desprendimiento.

ALTO: Considerable fragmentación o desprendimiento a lo largo del borde de la grieta.

- Agrietamiento por deslizamiento:

BAJO: Ancho promedio de la grieta menor a 10.0 mm.

MEDIO: 1) Ancho promedio de la grieta entre 10 y 38 mm. 2) El área alrededor de la grieta está fracturada en varios pedazos ajustados.

ALTO: 1) Ancho promedio de la grieta mayor que 38 mm. 2) El área alrededor de la grieta está fracturada y los pedazos son fácilmente removibles.

En la figura 4.20 se presenta el conjunto difuso que le corresponde al deterioro agrietamiento en la orilla y agrietamiento por deslizamiento. Ambos conjuntos difusos están contruidos con tres funciones de membresía correspondientes a los niveles de severidad bajo, medio y alto.

Como se observa en la figura 4.20 las funciones de membresía de estos deterioros superficiales, tienen la etiquetas low, regular y high que corresponde a la severidad bajo, medio y alto, este cambio de la etiqueta del español al inglés, se realizó con la finalidad de manejar las mismas etiquetas lingüísticas en los conjuntos difusos de la entrada del proceso para el agrietamiento.

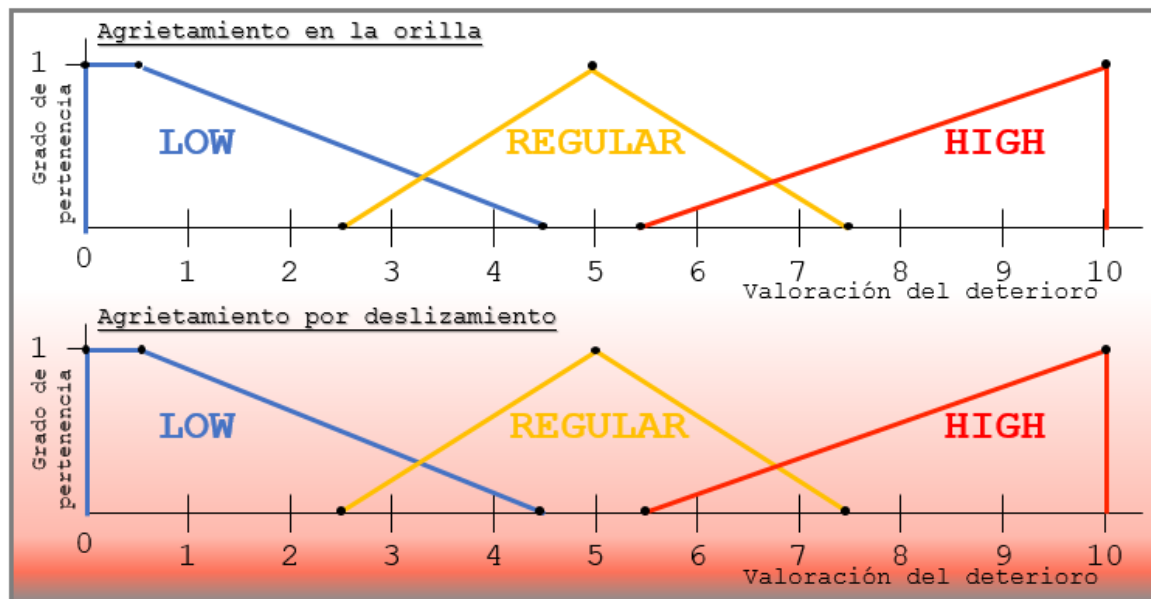


Figura 4.20: Conjunto difuso para el deterioro agrietamiento en la orilla y agrietamiento por deslizamiento.

En resumen, en la tabla 4.10 se presentan los sub-módulos y deterioros superficiales que conforman la clase del agrietamiento (AGR), sus etiquetas de severidad, los parámetros de las funciones de membresía y la forma de las mismas, información que constituye la entrada para la construcción de la superficie de respuesta de la clase.

En lo respectivo a la evaluación de las reglas, se tiene un total de 81 reglas que corresponden al cálculo de las combinaciones de los niveles de severidad de cuatro elementos de entrada (AGR1, AGR2, agrietamiento en la orilla y agrietamiento por deslizamiento), con tres niveles de severidad cada uno (low, regular, high).

La tabla 4.10 contiene las reglas que resultan de la interacción de los sub-módulos y deterioros que conforman a la clase del agrietamiento (AGR).

Con el objetivo de representar el comportamiento de la evolución de los deterioros y la interacción de los mismos, para el conjunto difuso correspondiente a la salida del análisis de la clase agrietamiento, se optó por incrementar la cantidad de funciones de membresía.

Se tienen entonces cinco funciones de membresía que corresponden a las etiquetas lingüísticas: low, low-regular, regular, regular-high y high. Con esta consideración, es posible visualizar de una mejor manera el comportamiento de los elementos involucrados (sub-módulos y deterioros superficiales), de manera individual y también en conjunto.

En la figura 4.21 se expone el conjunto difuso en la salida de la clase de agrietamiento, conformada por las cinco funciones de membresía mencionadas en el párrafo anterior y la tabla 4.11 contiene la forma de las funciones de membresía y los parámetros necesarios para construir dicho diagrama.

Como en cada análisis modular, para evaluar las combinaciones de la severidad, hubo la necesidad de ponderar la relevancia de los deterioros que intervienen en la clase de deterioros; esto se puede fácilmente visualizar en la superficie de respuesta final por clase.

Tabla 4.9: Funciones de membresía en la ENTRADA para los deterioros que conforman la clase AGRIETAMIENTO (AGR).

DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Agrietamiento 1 (AGR1)	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4.5, 5.5, 8
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10, 10
Agrietamiento 2 (AGR2)	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4.5, 5.5, 8
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10, 10
Agrietamiento en la orilla	LOW	Trapezoidal	0, 0, 0.5, 4.5
	REGULAR	Triangular	2.5, 5, 7.5
	HIGH	Triangular	5.5, 10, 10
Agrietamiento por deslizamiento	LOW	Trapezoidal	0, 0, 0.5, 4.5
	REGULAR	Triangular	2.5, 5, 7.5
	HIGH	Triangular	5.5, 10, 10

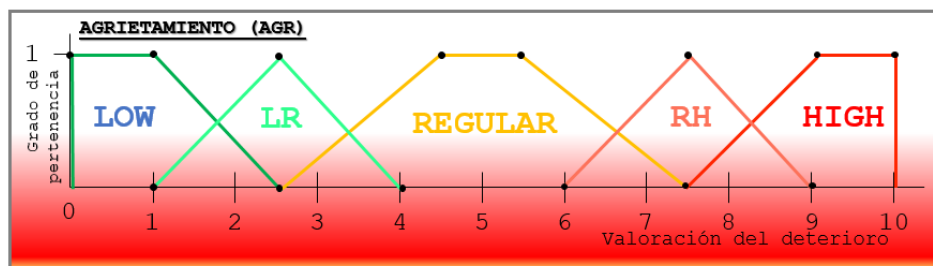


Figura 4.21: Conjunto difuso en la salida para clase AGRIETAMIENTO (AGR).

Tabla 4.10: Reglas obtenidas para la interacción de los sub-módulos y deterioros que conforman la clase Agrietamiento (AGR).

AGRIETAMIENTO (AGR)						
cocodrilo vs mapa AGR1	reflejo. vs long-transv. AGR2	Agr. en la orilla	Agr. Por deslizamiento	Peine.	# Regla	Evaluación
L	L	L	L	LLLL	1	L
L	L	L	R	LLLR	2	LR
L	L	L	H	LLH	3	R
L	L	R	L	LLRL	4	LR
L	L	R	R	LLRR	5	LR
L	L	R	H	LLRH	6	R
L	L	H	L	LLHL	7	R
L	L	H	R	LLHR	8	R
L	L	H	H	LLHH	9	R
L	R	L	L	LRL	10	LR
L	R	L	R	LRLR	11	R
L	R	L	H	LRLH	12	RH
L	R	R	L	LRRL	13	R
L	R	R	R	LRRR	14	R
L	R	R	H	LRRH	15	RH
L	R	H	L	LRHL	16	R
L	R	H	R	LRHR	17	RH
L	R	H	H	LRHH	18	RH
L	H	L	L	LHLL	19	RH
L	H	L	R	LHLR	20	RH
L	H	L	H	LHLH	21	RH
L	H	R	L	LHRL	22	RH
L	H	R	R	LHRR	23	RH
L	H	R	H	LHRRH	24	RH
L	H	H	L	LHHL	25	RH
L	H	H	R	LHHR	26	RH
L	H	H	H	LHHRH	27	H
R	L	L	L	RLLL	28	R
R	L	L	R	RLLR	29	R
R	L	L	H	RLLH	30	R
R	L	R	L	RLRL	31	R
R	L	R	R	RLRR	32	R
R	L	R	H	RLRH	33	RH
R	L	H	L	RLHL	34	RH
R	L	H	R	RLHR	35	RH
R	L	H	H	RLHRH	36	RH
R	R	L	L	RRL	37	R
R	R	L	R	RRLR	38	R
R	R	L	H	RRLH	39	RH
R	R	R	L	RRRL	40	R
R	R	R	R	RRRR	41	R
R	R	R	H	RRRH	42	RH
R	R	H	L	RRHL	43	RH
R	R	H	R	RRHR	44	RH
R	R	H	H	RRHRH	45	RH
R	H	L	L	RHLL	46	RH
R	H	L	R	RHLR	47	RH
R	H	L	H	RHLH	48	RH
R	H	R	L	RHRL	49	RH
R	H	R	R	RHRR	50	RH
R	H	R	H	RHRH	51	RH
R	H	H	L	RHHL	52	RH
R	H	H	R	RHHR	53	RH
R	H	H	H	RHHRH	54	RH
H	L	L	L	HLLL	55	H
H	L	L	R	HLLR	56	H
H	L	L	H	HLLH	57	H
H	L	R	L	HLRL	58	H
H	L	R	R	HLRR	59	H
H	L	R	H	HLRH	60	H
H	L	H	L	HLHL	61	H
H	L	H	R	HLHR	62	H
H	L	H	H	HLHRH	63	H
H	R	L	L	HRLL	64	H
H	R	L	R	HRRL	65	H
H	R	L	H	HRRLH	66	H
H	R	R	L	HRR	67	H
H	R	R	R	HRRR	68	H
H	R	R	H	HRRH	69	H
H	R	H	L	HRRHL	70	H
H	R	H	R	HRRHR	71	H
H	R	H	H	HRRHRH	72	H
H	H	L	L	HHLL	73	H
H	H	L	R	HHLR	74	H
H	H	L	H	HHLH	75	H
H	H	R	L	HHRL	76	H
H	H	R	R	HHRR	77	H
H	H	R	H	HHRH	78	H
H	H	H	L	HHHL	79	H
H	H	H	R	HHHR	80	H
H	H	H	H	HHHRH	81	H

L: Low
 LR: Low-Regular
 R: Regular
 RH: Regular-High
 H: High

Tabla 4.11: Funciones de membresía en la SALIDA para la clase AGRIETAMIENTO (AGR).

CLASE	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA SALIDA	
		FORMA	PARÁMETROS
AGRIETAMIENTO	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 2.5
	LR	Triangular	1, 2.5, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2.5, 4.5, 5.5, 7.5
	RH	Triangular	6, 7.5, 9
	HIGH	Trapezoidal	7.5, 9, 10, 10

En la figura 4.22 se presentan cuatro vistas de la superficie de respuesta de la clase AGRIETAMIENTO:

- Vista 1: AGR1 (Agrietamiento de piel de cocodrilo & Agrietamiento con patrón de mapa) & AGR2 (Grietas de reflexión & Grietas longitudinales y transversales).
- Vista 2: AGR2 (Grietas de reflexión & Grietas longitudinales y transversales) & AGR3 (Agrietamiento en la orilla).
- Vista 3: AGR3 (Agrietamiento en la orilla) & AGR4 (Agrietamiento por deslizamiento).
- Vista 4: AGR4 (Agrietamiento por deslizamiento) & AGR1 (Agrietamiento de piel de cocodrilo & Agrietamiento con patrón de mapa).

En la vista 1 que muestra la interacción AGR1 y AGR2, si se observan los extremos de la superficie se puede apreciar el comportamiento de la evolución de los deterioros involucrados, de manera aislada. Con respecto al eje vertical, ambos sub-módulos inician con un valor cero, pero para un valor máximo de evaluación de los mismos el resultado difiere, teniendo así en el eje vertical para el AGR1 un resultado que tiende a diez (10) y para el AGR2 el resultado para una completa evolución del deterioro, apenas alcanza un valor de 7.5.

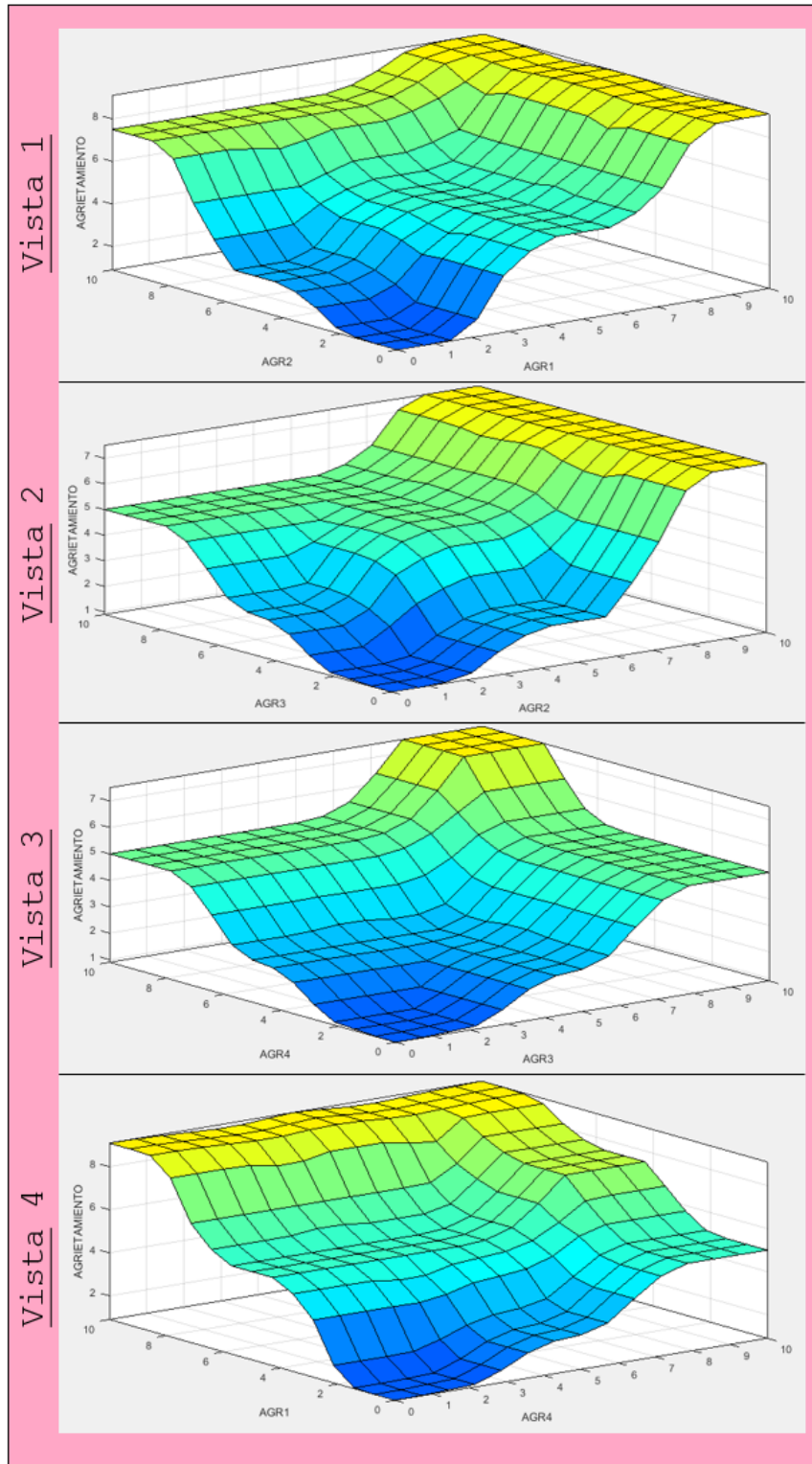
La diferencia de resultados que se muestran en las vistas de la figura 4.22, se debe a la ponderación de los deterioros involucrado (agrietamiento). Dicha ponderación se realiza, considerando la importancia de la aparición y evolución del deterioro, así como las consecuencias que se producen en el pavimento.

De modo que el agrietamiento AGR1 es considerado como el más relevante ya que de aparecer los deterioros que lo conforman, es indicativo de daño estructural en el pavimento y las reparaciones necesarias serían más invasivas que en el caso del agrietamiento AGR2.

A su vez el agrietamiento AGR2 es ponderado con mayor importancia que el agrietamiento AGR3, mismo que es ponderado con igual importancia que el agrietamiento AGR4.

La ponderación de los sub-módulos de los agrietamiento descritos en este apartado, se resumen en la relación 4.9:

$$AGR1 > AGR2 > AGR3 = AGR4 \quad (4.9)$$



Vista 1

Vista 2

Vista 3

Vista 4

AGR1: Agrietamiento de piel de cocodrilo & Agrietamiento con patrón de mapa.
 AGR2: Grietas de reflexión & Grietas longitudinales y transversales.
 AGR3: Agrietamiento en la orilla.
 AGR4: Agrietamiento por deslizamiento.

Figura 4.22: Superficie de respuesta. Clase: AGRIETAMIENTO (AGR).

4.5.2. Análisis de la clase 2: Defectos superficiales (DSUP)

A diferencia de la clase 1 de agrietamiento, para el caso de los defectos superficiales (clase 2) no hubo la necesidad de diseñar sub-módulos, considerando que esta clase se conforma por tres de los 18 deterioros superficiales y con un único análisis es posible representar y visualizar el comportamiento de los deterioros superficiales involucrados.

A continuación se presentan los deterioros que conforman la clase de los deterioros superficiales, así como los niveles de severidad con que se evalúan y sus respectivas descripciones lingüísticas.

- Exudación de asfalto:

BAJO: Ha ocurrido a un nivel muy ligero perceptible algunos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o neumáticos.

MEDIO: El asfalto se pega a los zapatos y neumáticos sólo durante unas semanas del año.

ALTO: Ha ocurrido en forma extensiva y una cantidad considerable se pega a los zapatos y neumáticos al menos durante varias semanas al año.

- Textura lisa:

La textura lisa es el único de los 18 deterioros superficiales que no se evalúa de acuerdo a un nivel de severidad; para este caso solamente se considera si la textura del pavimento es considerada lisa o no lo es.

Se considera que existe una textura lisa cuando el grado de pulimento es significativo pudiendo ser incluido en una evaluación de condición y contabilizado como defecto.

- Desgaste o erosión (incluye indentación:

BAJO: Se inicia el desprendimiento de agregados o pérdida del ligante y la superficie empieza a deprimirse, en caso de derrame de aceite solo se observa la mancha.

MEDIO: Se ha perdido los agregados o el ligante y su textura es ligeramente rugosa y ahuecada, en caso de derrame su superficie se vuelve penetrable con una moneda.

ALTO: Se ha perdido los agregados o el ligante en forma considerable su textura es rugosa y extremadamente ahuecada con diámetros menores a 10 mm y 13 mm de profundidad, en caso de derrame el ligante asfáltico ha perdido su efecto.

Las funciones de membresía para entrada y salida del análisis difuso de los defectos superficiales, así como los conjuntos difusos y las reglas correspondientes a esta clase, se exponen en la tabla A.1 y la figura A.1 respectivamente en el apartado de apéndice A de esta tesis.

La superficie que resulta del análisis difuso de la clase de los defectos superficiales se muestra con las tres vistas de la figura 4.23.

- Vista 1: Desgaste o erosión & exudación de asfalto.

- Vista 2: Textura lisa & exudación de asfalto.

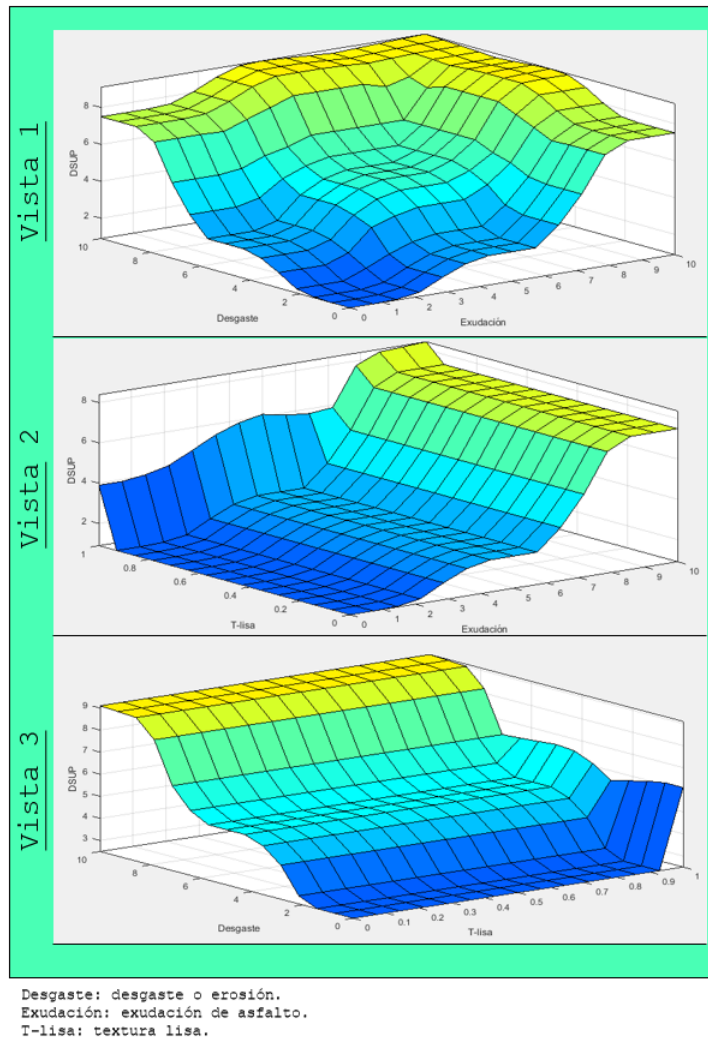


Figura 4.23: Superficie de respuesta. Clase: DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP).

- Vista 3: Desgaste o erosión & textura lisa.

Para el cálculo de las reglas que resultan de la interacción de los tres deterioros que conforman a esta clase, de la misma manera que en la clase de los agrietamientos, se realizó una ponderación de los deterioros involucrados, de acuerdo a su grado de acuerdo a la evolución de cada uno así como de los efectos negativos que le infieren al pavimento.

De la ponderación se concluyó que tanto el desgaste o erosión y la exudación de asfalto, le representan al pavimento el mismo nivel de importancia; en el caso de la textura lisa si esta existe, le produce al pavimento una severidad con valor de cinco, es decir, severidad regular.

4.5.3. Análisis de la clase 3: Deformaciones (DF)

Los deterioros que se presentan en la superficie del pavimento y que le producen algún variaciones de altura en su perfil longitudinal y transversal sin desprendimientos de

material, se agruparon en la clase de deformaciones (DF).

Las deformaciones se pueden percibir con facilidad, ya que se presentan en forma de ondas tanto longitudinal con transversalmente, con dimensiones que pueden ser pequeñas o cubrir por completo la sección del pavimento. Se pueden producir por deficiencias en las bases de pavimento y en respuesta a la interacción superficie del pavimento - neumáticos de vehículos.

Como se puede apreciar en la figura 4.20, la clase de deformaciones (DF), se constituye por seis de los 18 deterioros superficiales y a su vez se crearon dos sub-módulos: deformaciones 1 (DF1), compuesto por tres deterioros y deformaciones 2 (DF2), compuesto por dos deterioros superficiales.

Los sub-módulos DF1 y DF2 en conjunto con el deterioro denominado corrimiento de carpeta, constituyen a las clase 3 llamada deformaciones (DF). A continuación se presentan las descripciones los niveles de severidad para cada deterioro involucrado en esta clase y las superficies de respuesta que resultaron.

Sub-módulo DF1:

- Ondulaciones transversales:

BAJO: Se perciben vibraciones dentro del vehículo pero no es necesario reducir la velocidad por seguridad o comodidad.

MEDIO: Se perciben vibraciones significativas y es necesario reducir la velocidad por seguridad y comodidad.

ALTO: Se perciben vibraciones excesivas dentro del vehículo, por lo que es necesario reducir la velocidad considerablemente.

- Rodenas:

BAJO: 6.0 mm a 13.0 mm.

MEDIO: Mayor a 13.0 mm y hasta 25.0 mm.

ALTO: Mayor a 25.0 mm.

- Levantamiento por expansión:

BAJO: Calidad del tránsito de baja severidad.

MEDIO: Calidad del tránsito de severidad media.

ALTO: Calidad del tránsito de severidad alta.

Las funciones de membresía para entrada y salida del análisis difuso del sub-módulo de deformaciones DF1, así como los conjuntos difusos y las reglas correspondientes a este, se exponen en el apéndice A de esta tesis.

En lo que respecta a la ponderación de los deterioros superficiales que intervienen en el sub-módulo DF1, con respecto al daño que le generan al pavimento y el cómo se perciben, para el cálculo de las reglas de este sub-módulo se consideran con el mismo nivel de importancia.

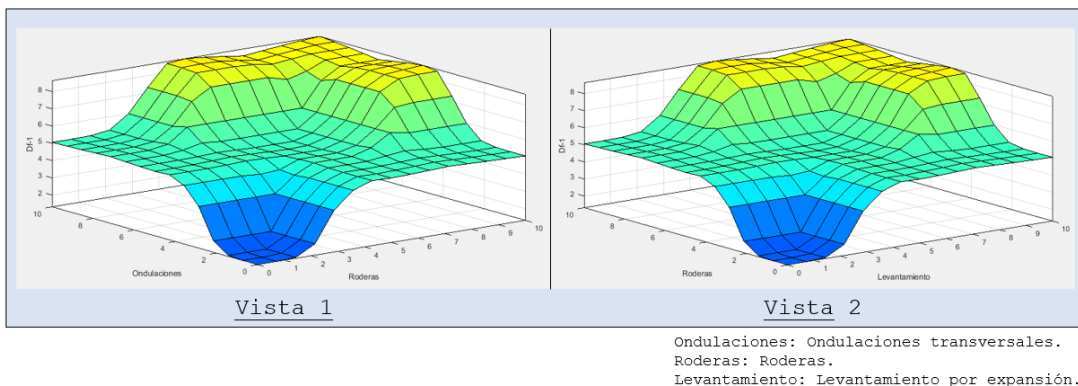


Figura 4.24: Superficie de respuesta: Sub-módulo deformaciones (DF1).

Como se puede observar en la figura 4.24, la importancia de los deterioros involucrados en el sub-módulo son igualmente relevantes y la evolución aislada de los mismos, le confiere al pavimento el mismo nivel de daño.

Es importante mencionar que para la ponderación de los deterioros se toman en cuenta aspectos como la zona en que se presentan y el grado de interacción con los vehículos que circulan por la vialidad, las causas que los generan y la o las capas en que se originan pero no se considera para esta ponderación, la frecuencia con que presentan dichos deterioros.

Sub-módulo DF2:

- Bordo o depresión localizados:

BAJO: Originan una calidad de tránsito de baja severidad.

MEDIO: Originan una calidad de tránsito de media severidad.

ALTO: Originan una calidad de tránsito de alta severidad.

- Depresión por asentamiento:

BAJO: 13.0 a 25.0 mm.

MEDIO: 25.0 a 51.0 mm.

ALTO: Más de 51.0 mm.

Para el cálculo de las reglas de interacción de los niveles de severidad que intervienen en el sub-módulo DF2, se consideran con igual valor de importancia al deterioro de bordo o depresión localizados, así como al de depresión por asentamiento.

Se consideró que ambos deterioros igualmente relevantes para el pavimento y correcto funcionamiento, además de considerar que estos deterioros principalmente se originan por cambios de volumen en las bases de la estructura del pavimento.

En la figura 4.25, se presenta la superficie de respuesta del sub-módulo DF2.

Con la obtención de la superficie de respuesta del sub-módulo DF2, se tienen los sub-módulos que se encuentran inmersos en la clase de las deformaciones, pero para completar las entradas que le corresponden a la mencionada clase es necesario definir las etiquetas lingüísticas de los niveles de severidad del deterioro llamado corrimiento en la carpeta para el que se tiene lo siguiente:

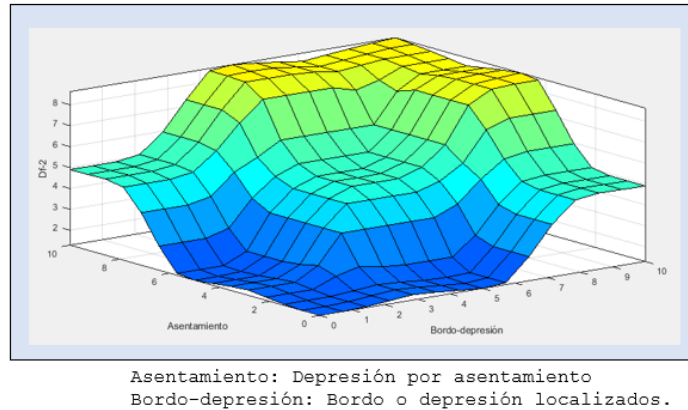


Figura 4.25: Superficie de respuesta: Sub-módulo deformaciones (DF2).

■ Corrimiento en la carpeta:

BAJO: El desplazamiento causa calidad de tránsito de baja severidad.

MEDIO: El desplazamiento causa calidad del tránsito de media severidad.

ALTO: El desplazamiento causa calidad del tránsito de alta severidad.

En este punto, se tienen los insumos necesarios para la construcción de la superficie de respuesta de las deformaciones. Los parámetros de entrada y salida de esta clase, los encontramos en la tabla A.6 contenida en el apartado apéndice A de esta tesis.

En la figura A.4 también del apartado apéndice A, se presentan los conjuntos difusos en la entrada y salida de a clase, además en la tabla A.6 del mismo anexo se presentan las reglas producto de las combinaciones de la severidad de los deterioros inmersos en la clase de deformaciones (DF).

Para concluir con el análisis de la clase 3 de deformaciones, en la figura 4.26 se muestran diferentes vistas de la superficie de respuesta que se obtuvo.

Observando detenidamente la figura 4.26, específicamente los extremos de las vistas de la superficie se puede detectar que los valores máximos para los deterioros involucrados es diferente si se visualizan de manera aislada, esto tiene relación con la ponderación realizada para evaluar las reglas con las que se diseña la superficie y que provienen de la combinación de la severidad de los deterioros.

En la vista 1 se observa que la evolución hasta el punto máximo del sub-módulo DF1 resulta superior al sub-módulo DF2, esto se debe a que al momento de ponderarlos, el primero de ellos resulta con una valoración mayor. Se considera mayor al sub-módulo DF1, debido a que este se conforma por deterioros que su origen principal es en las capas del pavimento, fenómeno que se traduce en un daño estructural del mismo.

El sub-módulo DF2 toma el segundo lugar de importancia ya que aun cuando los deterioros que lo conforman se desarrollan en las capas de la estructura del pavimento, estos daños no se generan por deficiencias propias de dichas capas, siendo que su origen principal se debe entonces a agentes externos como es la infiltración de agua, congelamiento de la misma y en consecuencia, cambios de volumen en las capas estructurales del pavimento.

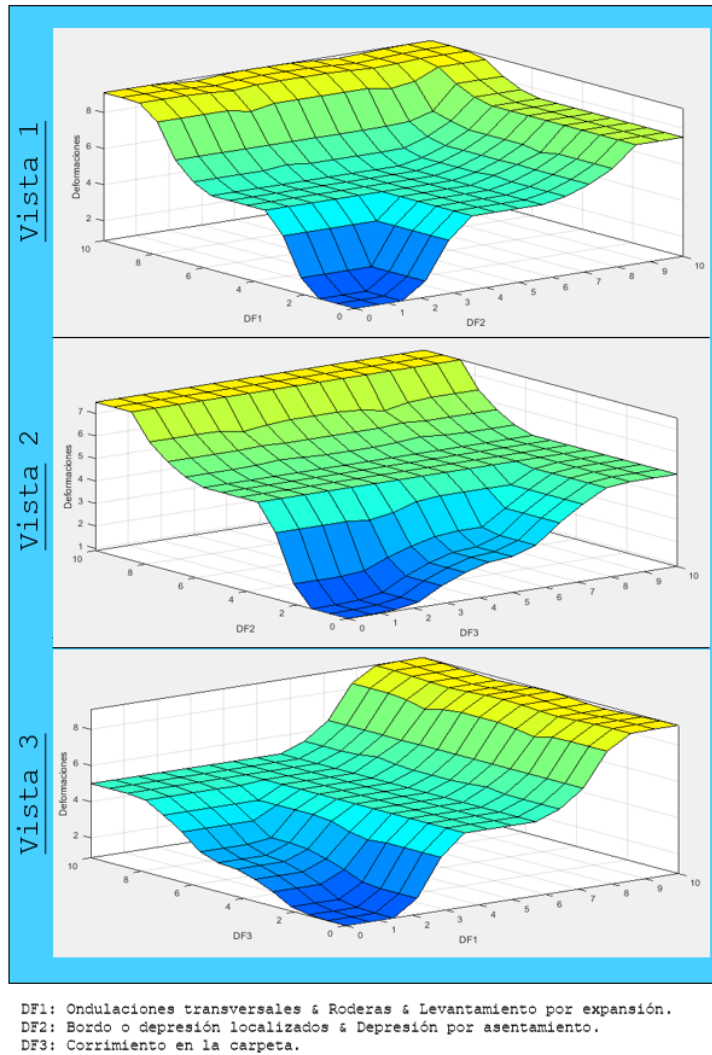


Figura 4.26: Superficie de respuesta. Clase: DEFORMACIONES (DF).

Con un grado menor de importancia para la ponderación de la clase de las deformaciones, se tiene el deterioro definido como corrimiento en la carpeta; este deterioro se pondera con un valor de importancia menor al resto, considerando que se origina principalmente por deficiencias en la capa más superficial del pavimento, produciendo fallas de carácter funcional al pavimento y no fallas estructurales del mismo.

4.5.4. Análisis de la clase 4: Baches y bacheo (BYB)

Los deterioros que se presentan en la superficie del pavimento y que se presentan en forma de cráteres de dimensiones relativamente pequeñas, producto del desprendimiento de pedazos rotos del pavimento, se agruparon en una cuarta clase denominadas de 'baches y bacheo'. Como se especifica en el nombre de esta cuarta clase los cráteres mencionados pueden estar reparados (bacheo) o no estarlo (baches).

Se tiene entonces como se especificó en la figura 4.20, la clase de baches y bacheo

(BYB) constituida por dos deterioros: Baches o cortes reparados en el pavimento y Baches abiertos. A continuación se presentan las etiquetas de evaluación que se atribuyen a los niveles de severidad de ambos deterioros, así como la superficie de respuesta de la clase baches y bacheo.

- Baches o cortes reparados en el pavimento:

BAJO: El parcheo presenta una buena condición y la calidad del tránsito se califica como de baja severidad o mejor.

MEDIO: Parche moderado deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de severidad media.

ALTO: El parche está muy deteriorado o la calidad del tránsito se califica como de alta severidad.

- Baches abiertos:

BAJO: Diámetro medio: 102 a 203mm. Profundidad máxima: de 12.7 a 50.8 mm. Ó Diámetro medio: 203 a 457mm con Profundidad máxima de 12.7 a 25.4mm.

MEDIO: Diámetro medio: 102 a 203mm. Profundidad mayor a 50.8 mm. Ó Diámetro medio: 203 a 457mm con Profundidad máxima de 12.7 a 50.8 mm. Ó Diámetro medio: 457 a 762mm y Profundidad máxima de 12.7 a 25.4mm.

ALTO: Diámetro medio: 457 a 762 mm. Profundidad mayor a 25.4 mm.

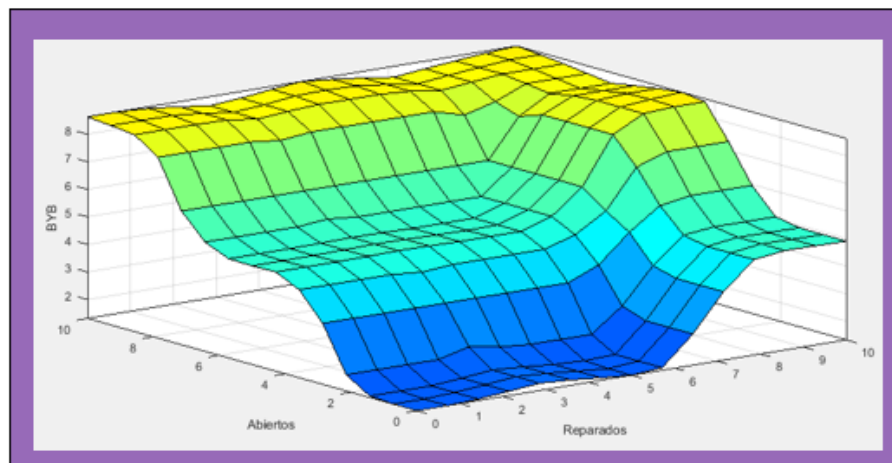
Para el cálculo de las reglas de la clase Baches y bacheo, se considera al deterioro de baches abiertos como el deterioro dominante para esta clase, considerando que la presencia del mismo y en el caso de no repararlo de manera oportuna, el daño podría alcanzar magnitud tal que el daño en el pavimento sea de carácter estructural.

Para el caso de los baches o cortes reparados, si bien su presencia puede causar incomodidad para el usuario, este puede estar correctamente ejecutado al punto que la falla originada por los mismos alcanzaría simplemente dimensiones de carácter funcional.

Las reglas resultado de las combinaciones de los niveles de severidad así como los conjuntos difusos necesarios para la construcción de la superficie de respuesta de la clase de baches y bacheo, se presentan el apartado de apéndice A contenido en esta tesis.

En la figura 4.27 se presenta la superficie de respuesta para la clase de baches y bacheo; en esta superficie se puede visualizar perfectamente la jerarquización de los dos deterioros que conforman esta clase teniendo así que:

- Los baches abiertos se encuentran en primer lugar de importancia para su atención ya que su desarrollo puede resultar en valor altos de daño para el pavimento, pudiendo considerarse incluso daños estructurales.
- En el caso de los baches o cortes reparados en el pavimento, como se menciona anteriormente, de presentarse el daño que estos generan es de carácter funcional, traduciéndose en requerimientos de trabajos de conservación periódica para eliminarlos.



Abiertos: Baches abiertos.

Reparados: Baches o cortes reparados en el pavimento.

Figura 4.27: Superficie de respuesta. Clase: BACHES Y BACHEO (BYB).

4.5.5. Análisis de la clase 5: Varios (VA)

La clase de varios es la última de las clases en que se agrupan a los deterioros superficiales. Esta clase se constituye por el o los deterioros que si bien forman parte de la plataforma de una carretera, estos se encuentran fuera de la calzada de la misma.

Esta clase se conforma únicamente por un deterioro que es denominado como acotamiento en desnivel y esta referido específicamente al desnivel que puede presentarse entre este y la calzada, por cuestiones de haberse realizado trabajos de re-encarpetados previos en la calzada o por compactaciones en la estructura del acotamiento.

El acotamiento siendo una franja contigua a la calzada del pavimento, también debe considerarse para aplicársele trabajos de mantenimiento y la descripción de los niveles de severidad se presenta a continuación.

- Acotamiento en desnivel:

BAJO: Diferencia de elevación entre el borde del pavimento y la berma está entre 25 y 51 mm.

MEDIO: La diferencia borde del pavimento y berma está entre 51 y 102 mm.

ALTO: La diferencia de elevación borde del pavimento y berma es mayor a 102 mm.

El conjunto difuso diseñado para el acotamiento en desnivel y con el que participa como clase en el agrupamiento de los deterioros superficiales, se muestra en la figura A.6.

4.5.6. Aplicación práctica de la fase 4: Análisis del deterioro

Con la definición de los parámetros para la clase de varios, se concluye el análisis de los deterioros. Si bien la descripción de esta fase de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación resultó muy extensa, es solamente con el objetivo de describir

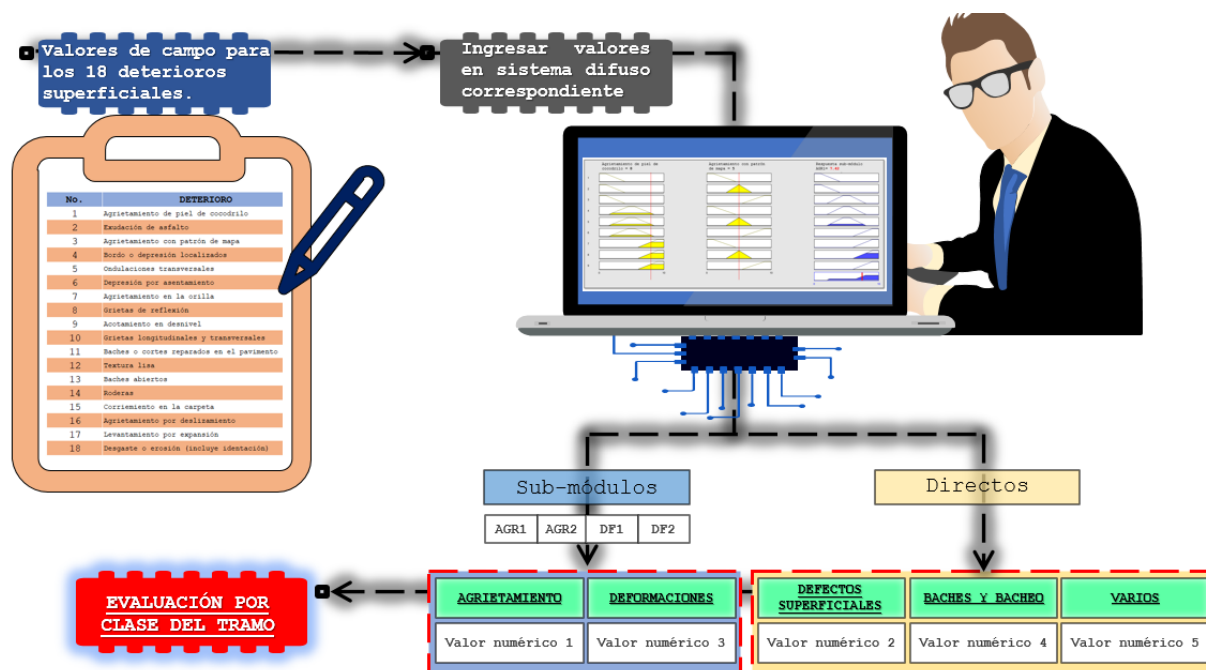


Figura 4.28: Procedimiento para aplicación práctica de la fase 4: Análisis del deterioro.

de manera completa y puntual, todos y cada uno de los pasos que se siguieron para su desarrollo.

La conclusión de esta fase 4, para el momento de desarrollarse en un ambiente práctico es mucho más sencilla, ya que después de realizar la programación que se describió para los sub-módulos y las clases de los deterioros superficiales, el proceso a seguir es el que se muestra en la figura 4.28.

El procedimiento de aplicación práctico como se muestra en la figura 4.28, consiste en:

1. Obtener los valores de campo para los 18 deterioros superficiales para pavimentos flexibles.
2. Ingresar los valores de campo de los deterioros superficiales y el sistema difuso correspondiente.
 - a) Primero se calculan los sub-módulos que como se muestra en la figura 4.28, son: AGR1, AGR2, DF1 y DF2.
 - b) Se ingresan los valores tanto de los sub-módulos o de los deterioros que ingresan de manera directa, según sea el caso, en el sistema difuso de la clase que corresponda.
3. Los valores que resulten para cada clase, corresponden a la evaluación del tramo que se esté analizando.

Como se muestra en la figura 4.28, al realizar el análisis del deterioro de un pavimento haciendo uso de la propuesta descrita en esta tesis y programada como se describió en esta fase 4, se obtendrán cinco valores importantes.

Los cinco valores resultantes correspondientes a cada una de las clases en que se agruparon los deterioros, permiten continuar con la metodología para recomendar tratamientos de conservación y se describen como:

- Valor numérico 1. Valor del daño para el **AGRIETAMIENTO**: este valor es producto de ingresar al sistema difuso los valores de la evaluación de campo, para cada deterioro involucrado en esta clase.

Con los valores de campo se obtienen primero los valores de los sub-módulos AGR1 y AGR2. El resultado para cada sub-módulo se toman ahora como entrada en conjunto con los deterioros que no conforman un sub-módulo y que son parte de la clase, arrojando un valor único para la clase.

- Valor numérico 2. Valor del daño para los **DEFECTOS SUPERFICIALES**: ya que esta clase no requiere de sub-módulos, los valores de campo se ingresan en su correspondiente sistema difuso, el cual arroja un valor único para la clase.
- Valor numérico 3. Valor del daño para las **DEFORMACIONES**: esta tercera clase está constituida con el sub-módulo DF1, DF2 y el deterioro corrimiento de carpeta, inicialmente se ingresan los valores de campo en los respectivos sistemas difusos de los sub-módulos y el valor de salida de estos, se transforma en la entrada del sistema difuso de la clase, esto en conjunto con el valor de campo del corrimiento de la carpeta, para finalmente arrojar un valor único para la clase.
- Valor numérico 4. Valor del daño para los **BACHES Y BACHEO**: esta clase solamente se conforma por los baches abiertos y los baches reparados, de modo que el valor de la evaluación de campo ingresa de manera directa en el sistema difuso correspondiente, resultando con un valor único para la clase.
- Valor numérico 5. Valor del daño para **VARIOS**: el valor de la evaluación de campo correspondiente al acotamiento en desnivel, ingresa de manera directa en el análisis, considerando que no interactúa con otro deterioro de manera interna a la clase en que se encuentra.

Los cinco valores numéricos descritos en las viñetas anteriores, resultado de aplicar la fase 4, serán los insumos necesarios para definir el nivel de conservación que requiere un tramo carretero, tema que se describe en la fase 5 de esta tesis.

4.6. Recomendación de tratamientos de conservación



En la fase 4 de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación descrita en la sección 4.4, se define el daño superficial de un tramo carretero, al aplicar el procedimiento descrito en este apartado.

La fase 5, comprende el último apartado de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación, propuesta en esta tesis y consiste en definir los trabajos de conservación que el tramo en estudio requiere y que está acorde al nivel de daño que arroja la aplicación de la fase 4.

El procedimiento que concluye con un listado de tratamientos de conservación simples o dobles, para el caso que recomienda combinaciones de dos o más tratamientos, es muy simple en su aplicación, pero para su concepción fue necesario realizar una serie de cálculos y análisis con cierto grado de complejidad.

En el diseño y desarrollo de esta fase 5, se estudiaron los tratamientos de conservación convencionales para los pavimentos flexibles, se crearon hojas de información con dichos tratamientos para los niveles de conservación de interés en esta tesis (conservación periódica y rehabilitación), evaluación de niveles de severidad en las salidas de las clases de los deterioros superficiales, entre otros análisis.

La metodología que se siguió para desarrollar esta fase 5, se presenta en la figura 4.29 y esta conformada por ocho importantes pasos secuenciales. Esta metodología particular de la fase 5 arroja como resultado el tratamiento o la combinación de tratamientos de conservación de pavimentos, que es el objetivo principal de esta tesis.

Paso 1: El primer paso de la metodología presentada en la figura 4.29, consiste en realizar una interpretación de los valores numéricos que resultaron en la fase 4, para cada clase de los deterioros superficiales.

El objetivo de realizar una interpretación de los valores numéricos correspondientes al daño superficial de las 5 clases de los deterioros, es asignar etiquetas lingüísticas de severidad, que le corresponderían al resultado de la evaluación de las clases y con este re-etiquetado, posteriormente definir el nivel de conservación que requiere el tramo carretero que se esté analizando.

Paso 2: El segundo paso consiste en determinar las combinaciones de los niveles de severidad que se definen en el paso anterior.

Para el caso de esta tesis, se obtuvieron 1125 combinaciones de niveles de severidad, considerando que la clase del agrietamiento, defectos superficiales y deformaciones se defusifican con 5 niveles de severidad cada una y la clase de baches y bacheo así como la de varios, resulta en una defusificación con 3 niveles de severidad cada clase.

Paso 3: Este tercer paso consiste en realizar una evaluación de las combinaciones que se obtienen con las cinco clases de los deterioros superficiales y sus respectivos niveles de

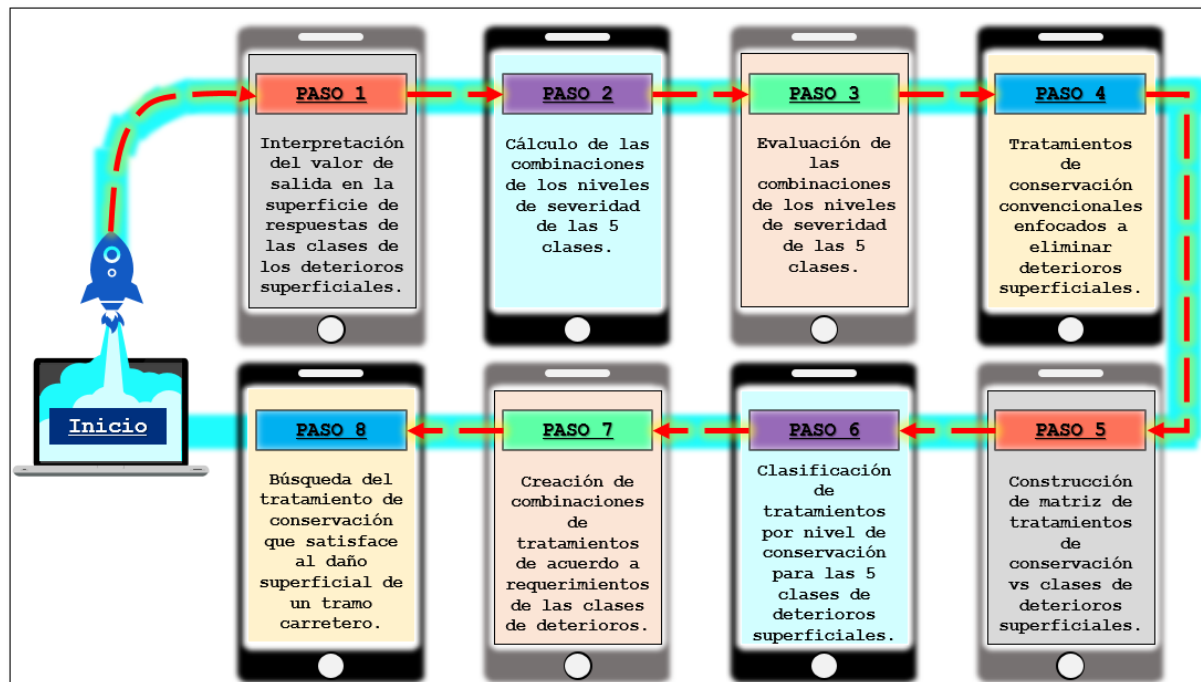


Figura 4.29: Metodología para la construcción de fase 5: Recomendación de tratamientos de conservación.

severidad, expuestos en el paso anterior.

Las combinaciones de la severidad de las clases es bastante variada en sus 1125 combinaciones y con el objetivo de obtener tratamientos de conservación más asertivos, los dos niveles de conservación que se tienen como base en esta tesis (conservación periódica y rehabilitación), se dividieron en dos grupos cada nivel: conservación periódica baja, conservación periódica alta, rehabilitación baja y rehabilitación alta.

Las cuatros subniveles de la conservación son la etiqueta de salida o resultado de la evaluación de las combinaciones de severidad, incluyendo también combinaciones que pueden resultar evaluadas con una etiqueta de 'no requiere conservación'.

Paso 4: Para este cuarto paso se realizó una investigación sobre los tratamientos de conservación convencionales más comunes en su aplicación, para eliminar el deterioro de un pavimento flexible.

Se revisaron las condiciones en que se aplican, ventajas y desventajas y el grupo de deterioros que se eliminarían, de ser aplicados cada uno de los tratamientos de conservación.

Paso 5: De acuerdo a lo investigado sobre los beneficios que le traen al pavimento, la aplicación de los tratamientos de conservación del paso 4, se creó una matriz de tratamientos de conservación vs clase de deterioros superficiales para definir cuales tratamientos pueden ser aplicados para eliminar cada clase de deterioros.

Se obtuvieron 11 categorías o tratamientos de conservación generales, entre los que se encuentran tratamientos que pueden ser aplicados para cubrir mas de una clase de deterioros superficiales.

Paso 6: Se agruparon los tratamientos de conservación que pueden ser aplicado para

cada clase de deterioros y se clasifican para conservación periódica baja o alta y rehabilitación baja o alta.

Paso 7: Se realizaron las combinaciones de tratamientos de conservación, relacionando las cinco clases con los tratamientos que pueden eliminar el deterioro de un pavimento.

Se obtienen de esta manera cuatro conjuntos de combinaciones de tratamientos:

- Conjunto 1: combinaciones de tratamientos que satisfacen las necesidades de la conservación periódica baja.
- Conjunto 2: combinaciones de tratamientos que satisfacen las necesidades de la conservación periódica alta.
- Conjunto 3: combinaciones de tratamientos que satisfacen las necesidades de la rehabilitación baja.
- Conjunto 4: combinaciones de tratamientos que satisfacen las necesidades de la rehabilitación alta.

Paso 8: En este último paso metodológico se obtienen el tratamiento o la combinación de tratamientos de conservación que satisfacen las necesidades de mantenimiento de un tramo carretero.

Para este paso, se realiza una búsqueda de la combinación de 'Si requiere' y 'No requiere' de las clases de deterioros superficiales, que se define en el paso anterior, dentro del conjunto del nivel de conservación que se indique al aplicar el paso 3 antes descrito.

4.6.1. Paso 1: Interpretación del daño superficial

De la salida de la fase 4 descrita con anterioridad, se obtienen cinco valores numéricos, mismo que para avanzar con la propuesta de esta tesis, deben ser interpretados con el fin de re-etiquetarlos con el nivel de severidad que les corresponde.

Por ejemplo si de la evaluación del deterioro de la clase del agrietamiento, arroja como resultado un valor de 3, de manera intuitiva se puede decir que el tramo requiere de trabajos de conservación periódica, considerando que tanto el nivel de conservación periódica y de rehabilitación se están evaluando en un rango de 0 a 10, donde cero corresponde a un punto donde el tramo carretero no requiere de ninguno de estos dos niveles de conservación y diez corresponde al punto límite entre la necesidad de una rehabilitación del tramo y la reconstrucción del mismo.

Pero con el fin de eliminar subjetividades de si ese valor de 3 mencionado en el párrafo anterior o cualquier otro valor, pertenece al nivel de conservación periódica o de rehabilitación que además puede ser baja o alta, se definieron rangos para los niveles de severidad de cada clase.

Los rangos que resultan para cada nivel de severidad de las clases de deterioros, se presentan en la tabla 4.12 y a continuación se presenta el mecanismo para su obtención.

Con los rangos establecidos en la tabla 4.12 se simplifica el etiquetado de los valores numéricos del daño por clase de deterioros superficiales. Siguiendo con el ejemplo del

Tabla 4.12: Rangos para niveles de severidad de cada una de las 5 clases de deterioros superficiales.

Severidad	Límite	Clases de deterioro superficiales				
		AGRIETAMIENTO	DEFECTOS SUPERFICIALES	DEFORMACIONES	BACHES y BACHEO	VARIOS
L	INFERIOR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	SUPERIOR	0,70	1,28	0,72	1,44	2,87
LR	INFERIOR	0,71	1,29	0,73	N / A	N / A
	SUPERIOR	3,54	3,58	3,60		
R	INFERIOR	3,55	3,59	3,61	1,45	2,88
	SUPERIOR	5,01	5,71	4,28	5,71	7,17
RH	INFERIOR	5,02	5,72	4,29	N / A	N / A
	SUPERIOR	7,82	7,14	7,80		
H	INFERIOR	7,83	7,15	7,81	5,72	7,18
	SUPERIOR	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

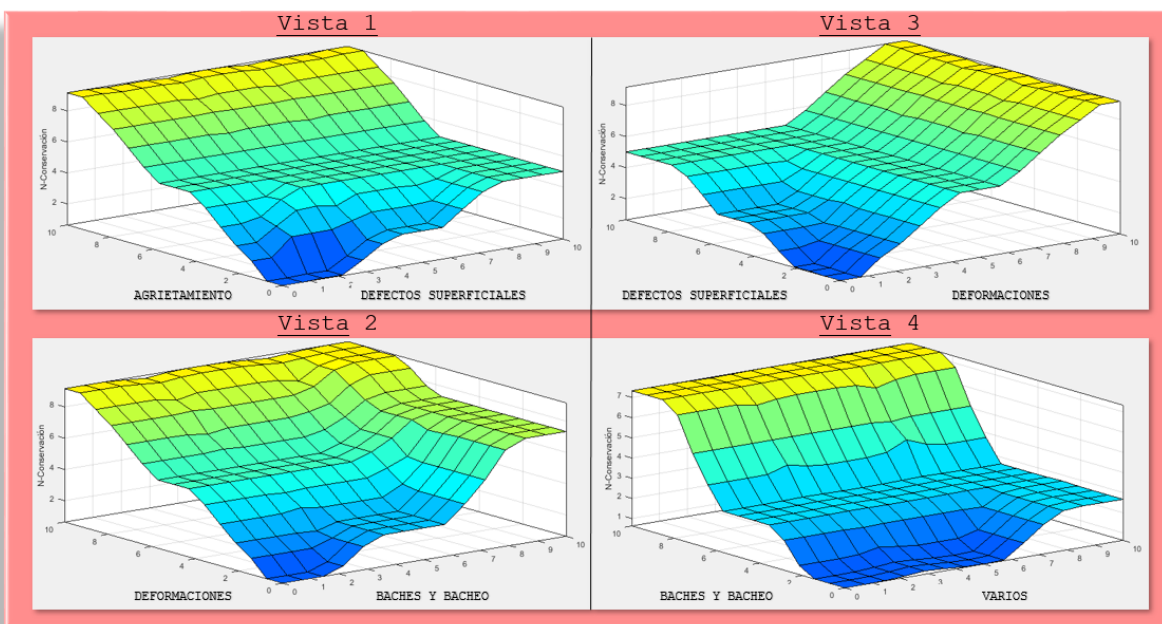


Figura 4.30: Superficie de respuesta de los deterioros superficiales. Interacción cinco clases.

agrietamiento con valor de daño = 3, se puede identificar que este valor queda inmerso en el rango de la severidad LR, siendo que el rango para esta severidad es entre 0.71 y 3.54.

Para definir los rango para la severidad de las clases de deterioros que se resumen en la tabla 4.12 y buscando determinarlos de manera objetiva, se construyó una superficie de respuesta que involucre las cinco clases de los deterioros superficiales.

En la figura 4.30 se puede visualizar la superficie de respuesta que involucra a las cinco clases de deterioros superficiales, la cual se construyó con las reglas mostradas en las tablas B.5 a la B.12 incluidas en el anexo B de esta tesis.

Teniendo construida la superficie de respuesta mostrada en la figura 4.30 se tomaron las gráficas en un plano de dos dimensiones, de la evolución de cada una de las clases interactuando con el resto de las clases para definir los rangos correspondientes a las etiquetas de severidad de la tabla 4.12.

Ejemplo de la gráfica de evolución de la clase de deterioros, vista en un plano de dos

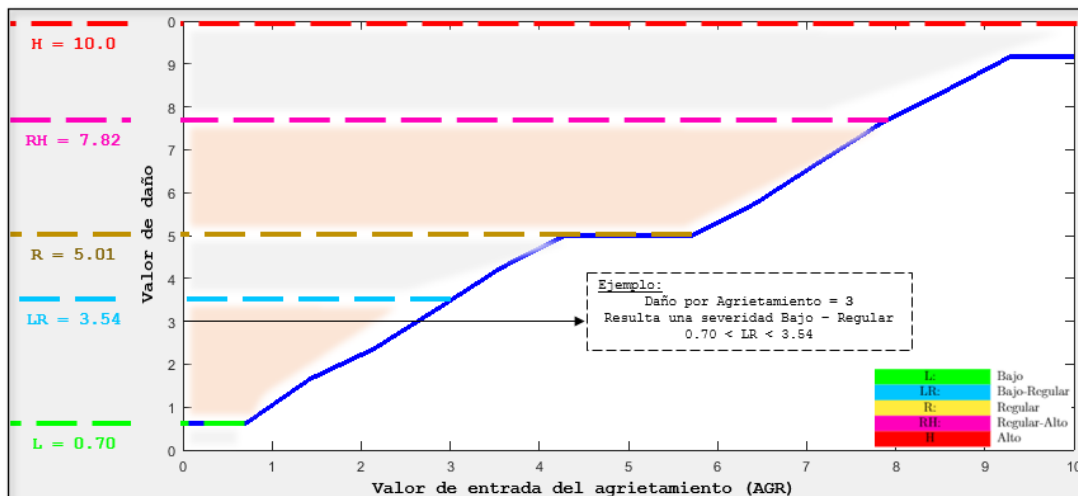


Figura 4.31: Rangos para niveles de severidad en la clase del AGRIETAMIENTO

dimensiones y la descripción del análisis realizado para definir los rangos de la severidad, se muestra en la figura 4.31.

El criterio que se tomó para definir los puntos límite de cambio entre un nivel de severidad y otro, fue considerar el punto en que la gráfica de la clase, cambia de pendiente. El cambio de pendiente puede resultar en ocasiones casi microscópico y para estos casos se verificó numéricamente el cambio de pendiente.

Análisis como el presentado para la clase de agrietamiento (figura 4.31), se realizaron para cada una de las clases, obteniendo de esta manera los rangos presentados en la tabla 4.12.

4.6.2. Paso 2: Combinaciones de niveles de severidad

La obtención de las combinaciones de los niveles de severidad generadas con las cinco clases en que se agrupan los deterioros superficiales, se realiza con el objetivo de posteriormente evaluarlas y asignarles el nivel de conservación que se requiere de acuerdo al nivel de daño determinado.

Si se revisan tablas que contienen los parámetros para las salidas de las clases en la sección 4.5, se pueden observar las cantidad de funciones de membresía que le corresponden a cada clase de deterioros, teniendo de esta manera:

- Agrietamiento con 5 funciones de membresía: L (Low), LR (Low-Regular), R (Regular), RH (Regular-High) y H (High)
- Defectos superficiales con 5 funciones de membresía: L (Low), LR (Low-Regular), R (Regular), RH (Regular-High) y H (High)
- Deformaciones con 5 funciones de membresía: L (Low), LR (Low-Regular), R (Regular), RH (Regular-High) y H (High)
- Baches y bacheo con 3 funciones de membresía: L (Low), R (Regular) y H (High)

Tabla 4.13: Ejemplos de combinaciones de niveles de severidad de las cinco clases de deterioros superficiales.

AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Combinación	# Regla
Low	Low	Low	Low	Low	L-L-L-L-L	1
Low	Regular	Low-Regular	Low	Low	L-R-LR-L-L	100
Low	High	Regular	Low	Regular	L-H-R-L-R	200
Low-Regular	Low-Regular	Regular-High	Low	High	LR-LR-RH-L-H	300
Low-Regular	Regular-High	High	Regular	Low	LR-RH-H-R-L	400
Regular	Low-Regular	Low	Regular	Regular	R-LR-L-R-R	500
High	Regular	Low-Regular	Low	Low	H-R-LR-L-L	1000

- Varios con 3 funciones de membresía: L (Low), R (Regular) y H (High)

Ejemplo de las combinaciones que se formaron con los niveles de severidad de las clases, se presentan en la tabla 4.13, pero considerando que se obtuvieron 1125 combinaciones y con fines prácticos, este total de combinaciones se presentan en las tablas de la B.5 a la B.12 del apéndice B.

4.6.3. Paso 3: Reglas de evaluación para combinaciones de severidad

Este cuarto paso metodológico es bastante similar a lo realizado para la construcción de las superficies de respuesta, del análisis de los deterioros superficiales, donde se evalúan las combinaciones de la severidad, asignando un resultado de severidad para cada combinación.

A diferencia de lo realizado para los deterioros superficiales, para encontrar el tratamiento de conservación que se acopla con el nivel de daño que resulta en un pavimento, el resultado en la evaluación de las combinaciones de severidad se asigna un valor de nivel de conservación.

Para la propuesta de esta tesis se manejan cinco opciones de respuesta en la evaluación de las combinaciones de severidad. Estas opciones de respuesta, resultan de la subdivisión de los niveles de conservación periódica y de rehabilitación, teniendo las siguientes respuestas:

1. No requiere conservación (NC).
2. Conservación periódica baja (PB).
3. Conservación periódica alta (PA).
4. Rehabilitación baja (RB).
5. Rehabilitación alta (RA).

Para asignar el nivel de conservación que le corresponda de los cinco mostrados en las viñetas anteriores, se realiza una ponderación de la importancia que tiene la aparición

Tabla 4.14: Ejemplos de combinaciones de severidad y su correspondiente nivel de conservación asignado.

AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Combinación	# Regla	Nivel de conservación
L	L	L	L	L	L-L-L-L-L	1	No requiere conservación (NC)
L	R	LR	L	L	L-R-LR-L-L	100	Conservación periódica baja (PB)
L	H	R	L	R	L-H-R-L-R	200	Conservación periódica alta (PA)
LR	LR	RH	L	H	LR-LR-RH-L-H	300	Rehabilitación baja (RB)
LR	RH	H	R	L	LR-RH-H-R-L	400	Rehabilitación alta (RA)
R	LR	L	R	R	R-LR-L-R-R	500	Conservación periódica alta (PA)
H	R	LR	L	L	H-R-LR-L-L	1000	Rehabilitación alta (RA)

de cualquiera de las clases de deterioros, su nivel de severidad y los efectos que sobre el pavimento se producen.

Cuando resulta una valoración de 'No requiere conservación', no significa que el tramo se encuentre en perfectas condiciones; para el caso que se presente esta valoración, es necesario verificar las condiciones de la conservación rutinaria (nivel 1 de conservación de tramos carreteros), recuerde que dicho nivel de conservación no es parte de los niveles analizados en esta tesis.

Se asigna el nivel de conservación periódica baja o alta de acuerdo a la ponderación que se realiza con las clases de deterioros superficiales y cuando las clase más relevantes en la combinación de severidad sean fallas de tipo funcional. Es decir, cuando los deterioros que presente el pavimento sólo afectan a la capa de rodadura y se requiere efectuar algún trabajo superficial para corregir las fallas observadas y mejorar las características de funcionalidad de la carretera.

La asignación de rehabilitación baja o alta es también de acuerdo a la ponderación de las clases en las combinaciones de severidad y cuando se considere de acciones para corregir fallas de tipo estructural en el pavimento, requiriéndose aumentar la capacidad de soporte para un nuevo periodo de vida útil, mediante el tratamiento de alguna capa existente en el pavimento para mejorar su resistencia y generalmente sustituyendo la capa de rodadura existente con una nueva capa.

Como se expresó en la sección 4.6.2, para las cinco clases de deterioros superficiales con sus respectivos niveles de severidad, resultaron un total de 1125 combinaciones. En la tabla 4.14, se presentan algunos ejemplos de combinaciones evaluadas, con resultados de salida con nivel de conservación correspondiente y la totalidad de las evaluaciones se presentan en las tablas de la B.5 a la B.12, incluida en el apéndice B.

4.6.4. Paso 4: Tratamientos convencionales para conservación de pavimentos

Los tratamientos de conservación de pavimentos, se refieren a cualquier tipo de recubrimiento, restitución de capas, estabilización de bases y todo trabajo que tiene como objetivo preservar o mejorar el estado de una carretera.

El desarrollo de esta tesis, específicamente en lo respectivo a los tratamiento de conservación, se enfoca en los más comunes o también llamados convencionales, como los riegos

de sello, la estabilización de bases, relleno de grietas, entre otros.

Los tratamientos que se están considerando, se pueden visualizar como tratamientos generales o tratamientos de conservación que engloban técnicas de conservación que de acuerdo al modo de aplicación o el material principal utilizado, estos pueden ser muy variados.

Existen por ejemplo riegos de sello sincronizado, riego de sello adicionado con fibra de vidrio, microaglomerados en frío, mortero asfáltico, estabilización de bases con cemento portland, con asfalto espumado, con cal, carpetas asfálticas tipo CASAA, SMA, entre otros.

Entonces para agrupar a todas las técnicas de conservación, el proyecto se desarrolla con tratamientos de conservación que engloben las diferentes técnicas. Tenemos de esta manera los siguientes tratamientos de conservación de pavimentos:

1. **Sellado de fisuras (T1):** Operación de limpieza y aplicación de un material asfáltico en grietas pequeñas que presenta un pavimento en la superficie, de menos de 5mm de abertura, para evitar la introducción del agua y de partículas finas extrañas.
2. **Relleno de grietas (T2):** Operación de limpieza y aplicación de un material de relleno y un material asfáltico o sellante, en grietas con abertura entre 5 y 25mm, para evitar la introducción del agua y de partículas finas extrañas.
3. **Bacheo superficial (T3):** Conjunto de actividades para reponer las carpeta o capas asfálticas en zonas pequeñas de un pavimento, en donde se inicia el desprendimiento de partículas o la desintegración de la mezcla asfáltica cuando la base de apoyo se encuentra en una condición estables y sin exceso de agua.
4. **Bacheo profundo (T4):** Conjunto de actividades para reponer una zona pequeña del pavimento, que presenta deformación y oquedades por desprendimiento o desintegración, cuando algunas capas inferiores del pavimento e incluso la capa subrasante, presenta una condición inestable y saturadas por exceso de agua.
5. **Riego asfáltico (T5):** Aplicación de una emulsión asfáltica en la superficie del pavimento, de manera uniforme y con una dosificación previamente definida para impermeabilizar la superficie, tapar fisuras pequeñas y reducir desprendimiento de partículas.
6. **Riego de sello (T6):** Aplicación de asfalto con o sin polímero y de una capa de material pétreo triturado con una granulometría determinada, para impermeabilizar la superficie, tapar fisuras pequeñas y aumentar el coeficiente de fricción de la capa de rodadura.
7. **Fresado superficial (T7):** Es el recorte o desbaste de la capa superior del pavimento, en un espesor reducido no mayor de 3cm, para corregir zonas con deformación, minimizar el agrietamiento de la capa superficial, obtener una superficie de textura rugosa para mejorar la adherencia con una nueva capa asfáltica y mantener en lo posible el nivel de rasante.

8. **Recorte de capas del pavimento (T8):** Remoción de sólo la capa asfáltica o de algunas capas del pavimento, para sustituirla con nuevos materiales a fin de reforzar la estructura existente con una nueva capa asfáltica o una nueva estructura.
9. **Renivelación local con mezcla asfáltica (T9):** Consiste en las operaciones para rellenar y compactar con mezcla asfáltica, las zonas del pavimento que presenten deformaciones transversales o longitudinales apreciables, con objeto de mejorar la regularidad superficial, comodidad y seguridad del usuario, así como eficientar el drenaje.
10. **Carpeta de mezcla asfáltica (T10):** Es una capa superior y estructural del pavimento para que los vehículos de una carretera transiten con comodidad, seguridad y economía. Construida con materiales que brindan una alta densificación, con material asfáltico modificado o no, con proporciones que proporcionen características volumétricas y de comportamiento que cumplan con lo requerido.
11. **Estabilización de bases (T11):** Consiste en las operaciones para estabilizar los materiales que conforman las bases de la estructura del pavimento, adicionando emulsiones asfálticas, cemento portland, cal, etc, con el fin de reforzar la estructura del pavimento con una nueva capa estabilizada.

4.6.5. Paso 5: Matriz de tratamientos de conservación

Todos los tratamientos de conservación expuestos en la sección 4.6.4, de acuerdo a sus definiciones y las características de los mismos, pueden ser aplicados para eliminar al menos a una de las cinco clases de los deterioros superficiales.

Por ejemplo, el sellado de grietas fisuras puede ser aplicado para eliminar las grietas longitudinales y transversales, grietas con patrón de mapa, entre otras grietas, pero también el aplicar un riego de sello puede eliminar pequeñas fisuras y grietas.

Otro ejemplo puede ser para los defectos superficiales, los cuales se pueden eliminar con la aplicación de riegos de sello, con un fresado superficial o con la colocación de una carpeta asfáltica.

Con análisis como lo expuesto para las grietas y los defectos superficiales, se realizó una matriz de los tratamientos expuestos en la sección 4.6.4, asociándolos con las clases de deterioros superficiales para determinar los tratamientos que de acuerdo a sus características pueden ser adecuados para eliminar los deterioros.

La figura 4.32 muestra la matriz de tratamientos de conservación asociados a las clases de los deterioros superficiales. En esta figura se muestra en color amarillo los diferentes tratamientos que pueden ser aplicados a la misma clase de deterioros superficiales para una conservación periódica y en color rojo, los tratamientos de conservación aplicables a la clase y el nivel de conservación de rehabilitación.

4.6.6. Paso 6: Clasificación de tratamientos de conservación

Como se expuso en el paso 5 (sección 4.6.5) y observa en la figura 4.32, se están analizando tratamientos que pueden ser aplicados para eliminar deterioros de más de una

TRATAMIENTOS	AGRIETAMIENTO		DEFECTOS SUPERFICIALES		DEFORMACIONES		BACHES Y BACHEO		VARIOS	
	Periódica	Rehabilitación	Periódica	Rehabilitación	Periódica	Rehabilitación	Periódica	Rehabilitación	Periódica	Rehabilitación
SELLADO DE FISURAS	✓									
RELLENO DE GRIETAS	✓									
BACHEO SUPERFICIAL							✓			
BACHEO PROFUNDO								✓		
RIEGO ASFÁLTICO	✓		✓							
RIEGO DE SELLO	✓		✓		✓					
FRESADO SUPERFICIAL	✓			✓	✓					
RECORTE DE CAPAS		✓				✓				
RENIVELACIÓN LOCAL CON MEZCLA ASFÁLTICA					✓				✓	
CARPETA DE MEZCLA ASFÁLTICA		✓				✓				✓
ESTABILIZACIÓN DE BASES		✓				✓				

✓ Adecuado para conservación periódica ✓ Adecuado para rehabilitación

Figura 4.32: Matriz de tratamientos convencionales para conservación de pavimentos flexibles vs clases de deterioros superficiales.

clase y para niveles de conservación periódica así como para rehabilitación.

En el paso 6 de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación (figura 4.29), se realizó una clasificación de los 11 tratamientos descritos en el paso 4. Los tratamientos se clasificaron para crear conjuntos para cada uno de los cuatro sub-niveles de conservación: conservación periódica baja, periódica alta, rehabilitación baja y rehabilitación alta.

En la tabla 4.15, se resumen los tratamientos que le corresponde a las clases de deterioros superficiales, para el nivel de conservación correspondiente.

4.6.7. Paso 7: Combinación de tratamientos de conservación

Con los grupos de tratamientos clasificados para cada clase y cada nivel de conservación, se realizaron combinaciones de estos tratamientos. Con las combinaciones de tratamientos, se obtiene como resultado una base de información o conjuntos de tratamientos de conservación para los cuatro subniveles.

Para la obtención de las combinaciones de tratamientos, se tomaron por nivel de conservación cada uno de los tratamientos determinados para las clases de deterioros superficiales así como considerar el caso cuando la clase no requiere de atención.

Resultado de combinar los tratamientos, es lo que se muestra en la tabla 4.16, correspondiente a las combinaciones del nivel de rehabilitación baja.

Como se puede visualizar en la tabla 4.16, para el nivel de rehabilitación baja, se generaron 32 combinaciones de tratamientos de conservación y la descripción de estas combinaciones es simplemente la sumatoria de los tratamientos individuales para cada clase.

Tabla 4.15: Tratamientos de conservación: rehabilitación baja y rehabilitación alta.

NIVEL DE CONSERVACIÓN	CLASES				
	AGRIETAMIENTO	DEFECTOS SUPERFICIALES	DEFORMACIONES	BACHES Y BACHEO	VARIOS
Periódica baja (PB)	T1	T5	T6	T3	T9
	T2				
	T5				
Periódica alta (PA)	T6	T6	T7	T3	T9
	T7	T7	T9		
Rehabilitación baja (RB)	T10	T7	T10	T4	T10
Rehabilitación alta (RA)	T8	T7	T8	T4	T10
	T11		T11		

- Donde:
- Sellado de fisuras T1
 - Relleno de grietas T2
 - Bacheo superficial T3
 - Bacheo profundo T4
 - Riego asfáltico T5
 - Riego de sello T6
 - Fresado superficial T7
 - Recorte de capas T8
 - Renivelación local con mezcla asfáltica T9
 - Carpeta de mezcla asfáltica T10
 - Estabilización de bases T11

Tabla 4.16: Combinación de tratamientos de conservación: Rehabilitación baja (RB).

# Combinación	CÓDIGO	AGR	DSUP	DF	BYB	Virginia	COMBINACIÓN DE TRABAJOS REQUERIDOS (Descripción)
1	NNNN	NR	NR	NR	NR	NR	No requiere trabajos
2	NNNS	NR	NR	NR	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
3	NNNS	NR	NR	NR	T4	NR	Bacheo Profundo
4	NNSS	NR	NR	NR	T4	T10	Bacheo Profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
5	NNSN	NR	NR	T10	NR	NR	Carpeta de mezcla asfáltica
6	NNSNS	NR	NR	T10	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
7	NSSN	NR	NR	T10	T4	NR	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
8	NSSS	NR	NR	T10	T4	T10	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
9	NSNN	NR	T7	NR	NR	NR	Fresado superficial
10	NSNS	NR	T7	NR	NR	T10	Fresado superficial + Carpeta de mezcla asfáltica
11	NSNS	NR	T7	NR	T4	NR	Fresado superficial + Bacheo profundo
12	NSNS	NR	T7	NR	T4	T10	Fresado superficial + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
13	NSSN	NR	T7	T10	NR	NR	Fresado superficial o Carpeta de mezcla asfáltica
14	NSSNS	NR	T7	T10	NR	T10	Fresado superficial y / o Carpeta de mezcla asfáltica
15	NSSS	NR	T7	T10	T4	NR	Fresado superficial o Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
16	NSSS	NR	T7	T10	T4	T10	Fresado superficial y / o Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
17	SNNN	T10	NR	NR	NR	NR	Carpeta de mezcla asfáltica
18	SNNNS	T10	NR	NR	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
19	SNNNS	T10	NR	NR	T4	NR	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
20	SNNSS	T10	NR	NR	T4	T10	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
21	SNSN	T10	NR	T10	NR	NR	Carpeta de mezcla asfáltica
22	SNSNS	T10	NR	T10	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
23	SNSNS	T10	NR	T10	T4	NR	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
24	SNSSS	T10	NR	T10	T4	T10	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
25	SSNN	T10	T7	NR	NR	NR	Carpeta de mezcla asfáltica
26	SSNS	T10	T7	NR	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
27	SSNS	T10	T7	NR	T4	NR	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
28	SSNS	T10	T7	NR	T4	T10	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
29	SSNN	T10	T7	NR	NR	NR	Carpeta de mezcla asfáltica
30	SSNS	T10	T7	T10	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
31	SSSS	T10	T7	T10	T4	NR	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
32	SSSS	T10	T7	T10	T4	T10	Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo

* NR: No requiere tratamiento

Por ejemplo la combinación #3 donde, para el agrietamiento, los defectos superficiales y las deformaciones no requieren de atención; en el caso de los baches y bacheo es suficiente con el tratamiento T4 y para la clase de varios requiere del tratamiento T10, la descripción se resume en una combinación de bacheo profundo más la colocación de una carpeta de mezcla asfáltica.

Existen varias combinaciones en que un mismo tratamiento se aplica para más de una clase de deterioros superficiales, así que su descripción se simplifica a considerar solamente una vez dicho tratamiento.

Ejemplo de combinación de tratamientos iguales para varias clases es el caso de la combinación #8, donde el agrietamiento y los defectos superficiales no requieren atención, pero las deformaciones y la clase de varios requieren del tratamiento T10 más un T4 para la clase de baches y bacheo, siendo entonces una combinación de carpeta de mezcla asfáltica más un bacheo profundo.

También se pueden encontrar combinaciones donde la aplicación de un tratamiento de conservación descarta la aplicación de otro tratamiento, como es el caso de la combinación #15, donde se tiene la opción de realizar un fresado superficial o la colocación de mezcla asfáltica pero no ambas.

Las combinaciones de tratamientos de conservación de los conjuntos para la conservación periódica baja, conservación periódica alta y rehabilitación alta, se incluyen en el apéndice B de esta tesis.

4.6.8. Paso 8: Recomendación de tratamientos de conservación

El paso 8, es el último paso en el proceso de diseño y análisis de la fase 5 de la metodología para recomendar tratamientos de conservación en pavimentos flexibles. Es el último punto, donde se obtiene un listado de tratamientos que pueden funcionar para el daño identificado en un tramo carretero.

Este paso consiste en la búsqueda de un valor de requerimiento para cada clase de deterioros, que puede ser catalogado como 'Si requiere tratamiento' o 'No requiere tratamiento'; es decir, a cada una de las clases se les asigna una de las dos etiquetas y en el listado de tratamientos por nivel de conservación, se realiza una búsqueda del tratamiento que puede aplicarse de ser necesario.

Para asignar el valor de requerimientos (si requiere, no requiere) para cada clase de deterioros, se extrae la información del paso 1 de la metodología expuesta en la figura 4.29, paso en que se realiza la interpretación del valor numérico de la superficie de respuesta por cada clase y de acuerdo a la etiqueta de severidad que resulte, se determina si requiere o no requiere de tratamiento.

De la interpretación del valor numérico de daño por clase, se tienen hasta cinco etiquetas de severidad (Low, Low-regular, Regular, Regular-high y High), y se asigna un valor positivo de requerimiento toda vez que el valor de la clase de que se trate, resulte diferente de Low. Un claro ejemplo es el siguiente:

Se tiene una valoración del deterioro de un tramo, tal que para cada clase resulta el etiquetado presentado en la tabla 4.17, donde el agrietamiento y los baches y bacheo resultan con una severidad 'Low', los defectos superficiales 'High' y las deformaciones y varios 'regular'.

Tabla 4.17: Ejemplo: interpretación del daño superficial (Combinación 200).

CLASES					# COMBINACIÓN	NIVEL DE CONSERVACIÓN
AGRIETAMIENTO	DEFECTOS SUPERFICIALES	DEFORMACIONES	BACHES Y BACHEO	VARIOS		
Low	High	Regular	Low	Regular	200	Conservación periódica alta (PA)
N	S	S	N	S	CODIGO	NSSNS

Donde:
 N: No requiere
 S: Si requiere

Tabla 4.18: Recomendación de tratamientos de conservación para una combinación 'NSSNS'.

	# COMBINACIÓN	CODIGO	COMBINACIÓN DE TRABAJOS REQUERIDOS (Descripción)
Opción 1	18	NSSNS	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
Opción 2	22	NSSNS	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
Opción 3	30	NSSNS	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
Opción 4	34	NSSNS	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica

Al momento de aplicar el paso 8, se tiene para la combinación de severidades mostradas en la tabla 4.17 que las clases de agrietamiento y baches y bacheo, no requieren de la implementación de un tratamiento y para el resto de las clases resulta un valor positivo de requerimiento de tratamiento de conservación.

La combinación de requerimiento positivos y negativos, son las buscadas en el conjunto de tratamientos de conservación que le corresponda. Siguiendo con el ejemplo de la tabla 4.17, se tiene entonces que bajo la combinación de severidades de las clases, resulta que se tiene un nivel de conservación periódica alta (PA), así que deberemos dirigirnos a su conjunto de tratamientos y buscaremos la combinación de requerimiento 'NSSNS' en dicho conjunto.

Al realizar la búsqueda de la combinación 'NSSNS' en el conjunto de la conservación periódica alta, resulta más de una recomendación de tratamientos de conservación (tabla B.2 y B.3, apéndice B), ya que existen más de una vez la combinación de requerimientos que se está buscando.

En la tabla 4.18 se muestran los tratamientos de conservación que coinciden para una combinación de requerimientos 'NSSNS'.

4.6.9. Aplicación práctica de la fase 5: Recomendación de tratamientos de conservación

La descripción de la fase 5 de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación expuesta de la sección 4.6.1 y hasta la sección 4.6.8, puede llegar a considerarse extensa, pero su aplicación en casos prácticos es mucho más sencilla. El objetivo de describirla es demostrar el procedimiento de su diseño y construcción, para finalmente concluir con un procedimiento que se puede replicar para diferentes condiciones.

Como se ha mencionado la aplicación de la fase 5 en un ambiente práctico resulta bastante mas sencilla que la construcción de la misma, ya que después de desarrollar el proceso de interpretación del daño superficial del pavimento, la creación de conjuntos de tratamientos para los niveles de conservación y cada uno de los análisis descritos, el proceso a seguir se condensa como se muestra en la figura 4.33.

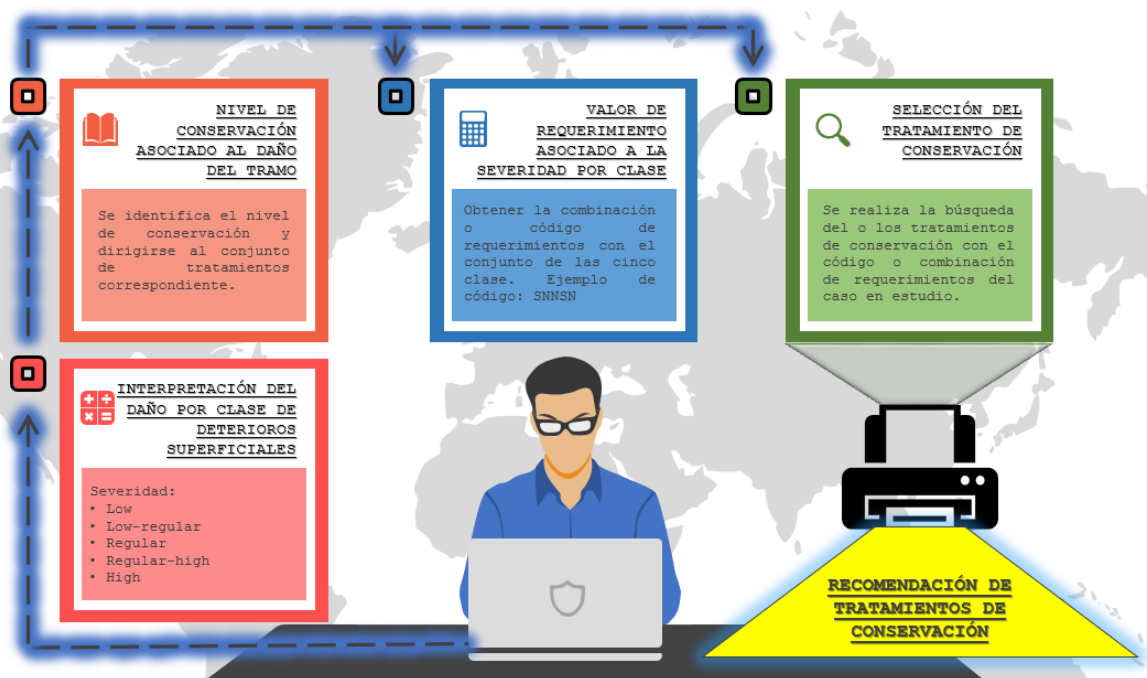


Figura 4.33: Procedimiento para aplicación práctica de la fase 5: Recomendación de tratamientos de conservación.

El procedimiento de aplicación práctico como se muestra en la figura 4.33, consiste en los siguientes 4 puntos:

1. Interpretar el valor numérico del daño superficial, para cada clase y realizar un etiquetado con: Low, Low-regular, Regular, Regular-high y High, según le corresponda al valor del daño superficial.
2. Con la combinación de las etiquetas para las clases de deterioros superficiales, obtenidas en el inciso anterior, identificar el nivel de conservación que le corresponde para dirigirse al conjunto de tratamientos de dicho nivel de conservación.
3. Asignar el valor de requerimiento 'Si requiere', 'No requiere', asociado a las etiquetas de severidad de cada una de las clases de deterioros superficiales.
4. Realizar una búsqueda de la combinación o código de requerimientos (Ejemplo: SNNNSN), de acuerdo al inciso anterior, en el listado de tratamientos de conservación y el nivel de conservación identificado.

El resultado que arrojará el procedimiento descrito en los cuatro puntos anteriores, será un tratamiento o un listado de tratamientos de conservación que se acoplan con el daño superficial identificado en un tramo carretero.

Capítulo 5

APLICACIÓN DE PROPUESTA METODOLÓGICA

5.1. Aplicación para caso práctico: FASE 1



La carretera destinada al estudio, forma parte de la red federal libre MEX-57, la cual es una vía de altas especificaciones A4. Específicamente se estudia el tramo San Luis Potosí - Matehuala (Figura 5.1), en el kilómetro 75+000 y hasta el kilómetro 108+000.

El objetivo que se tiene con el análisis que se desarrolla a continuación, de este tramo carretero, es mostrar analíticamente el funcionamiento de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación propuesta en esta tesis.

Las especificaciones y consideraciones para el desarrollo de este análisis de un caso práctico son las siguientes:

- **Activo carretero:** El activo de la sección transversal sobre el que se desarrolla el análisis es el pavimento flexible.
- **Niveles de conservación:** Se propondrán tratamientos para conservación periódica y de ser necesario, de rehabilitación.
- **Longitud del tramo:** el tramo a evaluar tiene una longitud de 33 kilómetros: del kilómetro 75+000 y hasta el kilómetro 108+000.
- **Factores de desempeño:** Se consideran los factores de desempeño propuestos por la SICT y de acuerdo a especificaciones las zonas de aceptación y rechazo serán las determinadas por normativa para autopistas.



Figura 5.1: Carretera MEX-57. Tramo en estudio: San Luis Potosí - Matehuala.

- Índice de Regularidad Internacional:
 - Bueno: IRI igual o menor a 1.80m/Km.
 - Regular: IRI menor o igual a 2.50m/Km.
 - Malo: IRI mayor a 2.50m/Km.
- Profundidad de roderas:
 - Bueno: PR menor o igual a 5mm.
 - Regular: PR menor o igual a 8mm.
 - Malo: PR mayor a 8mm.
- Deflexiones:
 - Buena: DF menor o igual a 0.4mm.
 - Mala: DF mayor a 0.4mm.
- Macrotextura:
 - Buena: TX mayor o igual 0.9mm.
 - Regular: TX mayor o igual a 0.75mm.
 - Mala: TX menor de 0.75mm.
- Coeficiente de fricción:
 - No aceptable: CF menor a 0.40 y mayor a 0.90.
 - Aceptable: CF mayor a 0.40 y menor a 0.90.
- Deterioros superficiales: se requieren los 18 deterioros superficiales correspondientes al pavimento flexible, evaluados en un rango de 0 a 10, donde cero es el valor ideal y 10 el máximo avance del deterioro.

5.2. Aplicación para caso práctico: FASE 2



La segunda fase solicita la organización de los datos de entrada especificados en la sección 5.1.

El agrupamiento de la información se realiza en secciones de 500 metros de longitud y se normalizan los valores para continuar con un análisis integral y no interfieran las unidades de los factores de desempeño en el proceso.

■ Normalización de datos:

Recordemos que la normalización de la información, se realiza con el proceso analítico de máximos y mínimos, como se describen en la sección 4.3. En las siguientes figuras se puede visualizar el resultado de la normalización con sus respectivos umbrales de aceptación y rechazo.

1. Deflexiones: figura 5.2.
2. Índice de regularidad internacional y profundidad de roderas: figura 5.3.
3. Macrotextura y coeficiente de fricción: figura 5.4.

■ Diferencias acumuladas:

El cálculo de las diferencias acumuladas para los factores de desempeño son calculadas con el proceso analítico se expuesto en la sección 4.3 y el resultado se presenta en las figuras siguientes:

1. Deflexiones: figura 5.5.
2. Índice de regularidad internacional y profundidad de roderas: figura 5.6.
3. Macrotextura y coeficiente de fricción: figura 5.7.

■ Transformadas wavelet:

El proceso de análisis a través de las transformadas wavelet, se realizó utilizando el software MATLAB, tomando el nivel 4 como el nivel de transformación que nos permite visualizar las variaciones de energía entre los factores de desempeño y se adecua también con la longitud del tramo en estudio.

El resultado de la transformación wavelet, se presenta en las siguientes figuras:

1. Deflexiones: figura 5.8.
2. Índice de regularidad internacional y profundidad de roderas: figura 5.9.
3. Macrotextura y coeficiente de fricción: figura 5.10.

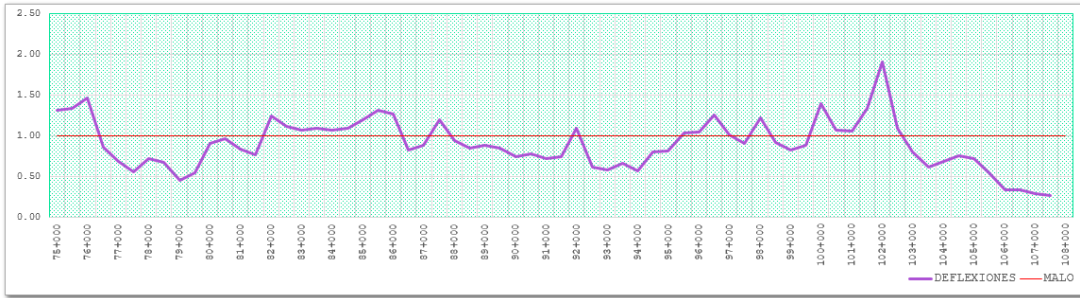


Figura 5.2: Normalización: Deflexiones (DEF).

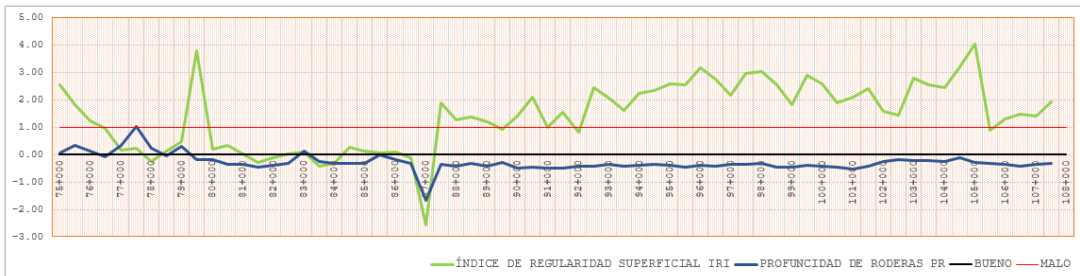


Figura 5.3: Normalización: Índice de regularidad internacional (IRI) y Profundidad de roderas (PR).

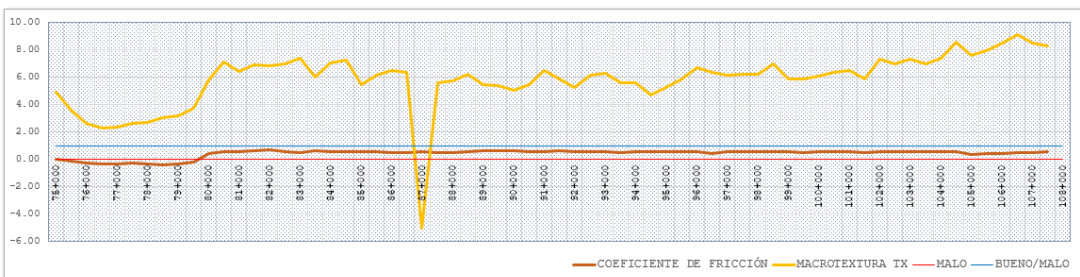


Figura 5.4: Normalización: Macrotextura (TX) y Coeficiente de fricción (CF).

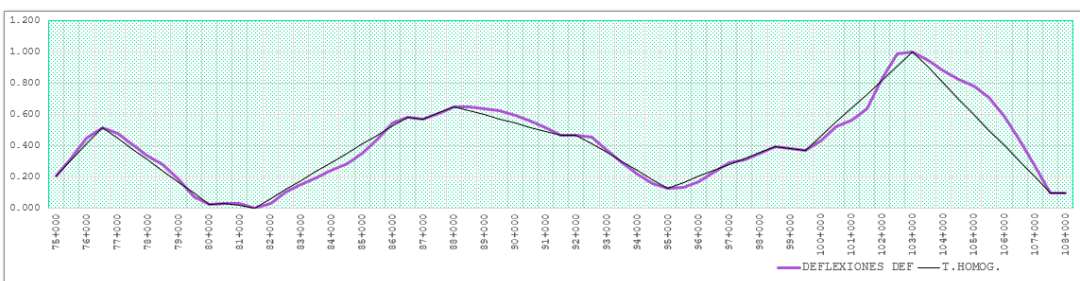


Figura 5.5: Diferencias acumuladas: Deflexiones (DEF).

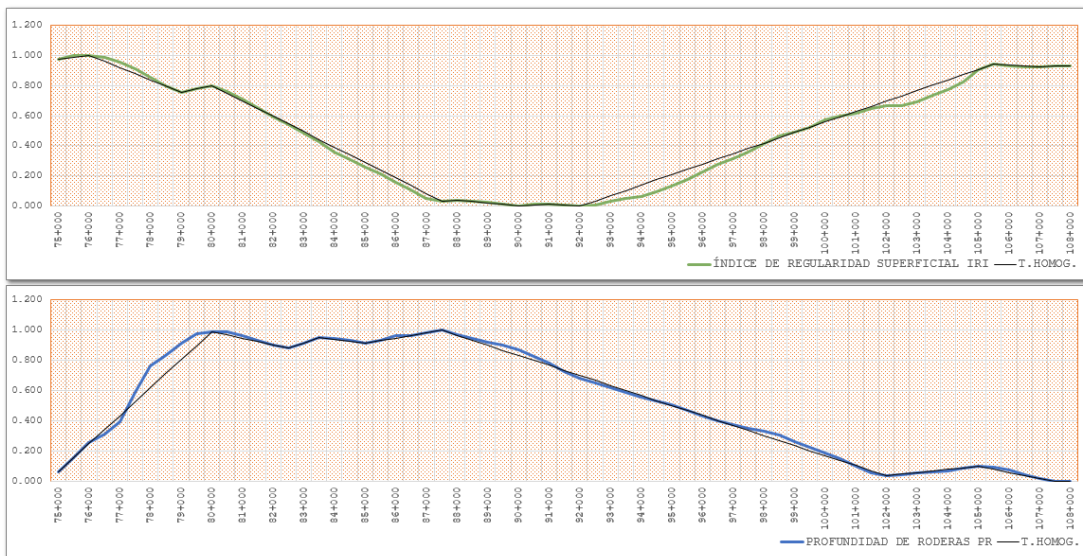


Figura 5.6: Diferencias acumuladas: Índice de regularidad internacional (IRI) y Profundidad de roderas (PR).

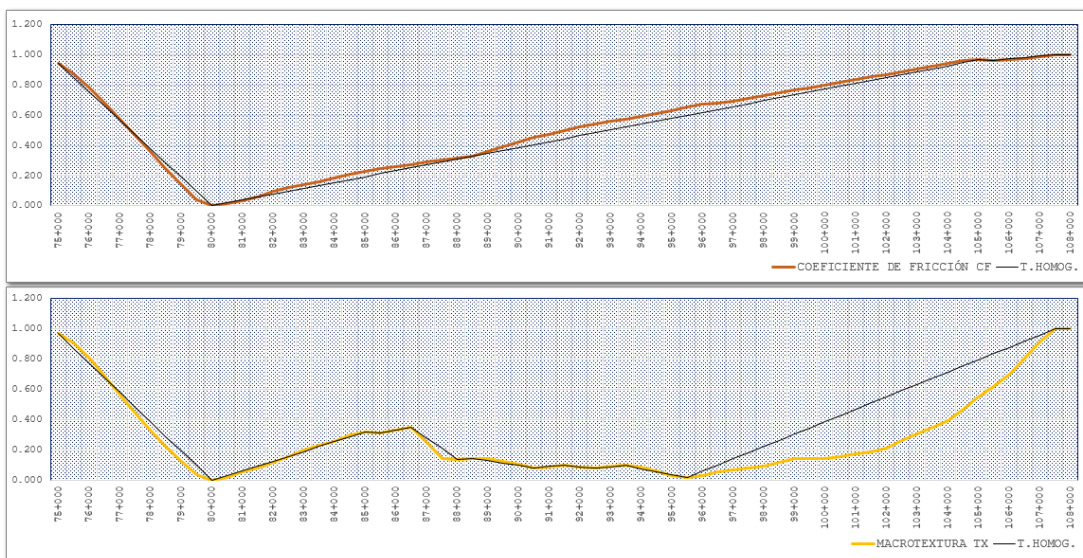


Figura 5.7: Diferencias acumuladas: Macrotextura (TX) y Coeficiente de fricción (CF).

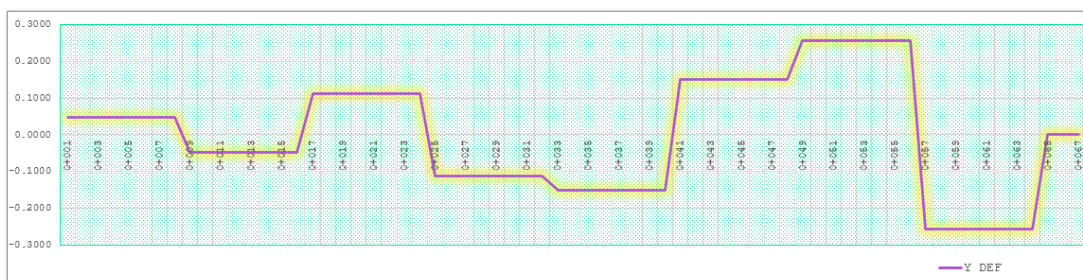


Figura 5.8: Transformadas wavelet: Deflexiones (DEF).

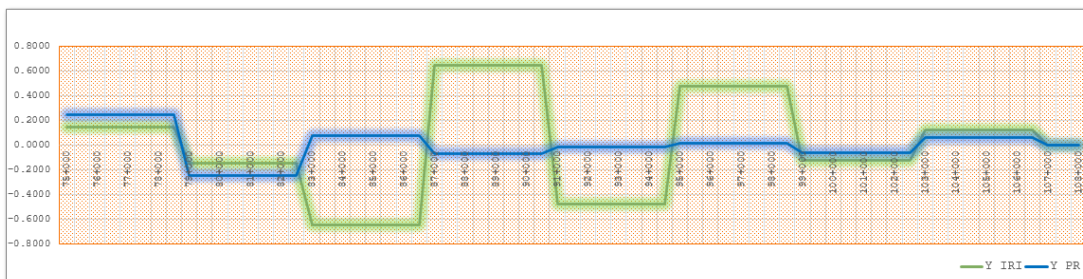


Figura 5.9: Transformadas wavelet: Índice de regularidad internacional (IRI) y Profundidad de roderas (PR).

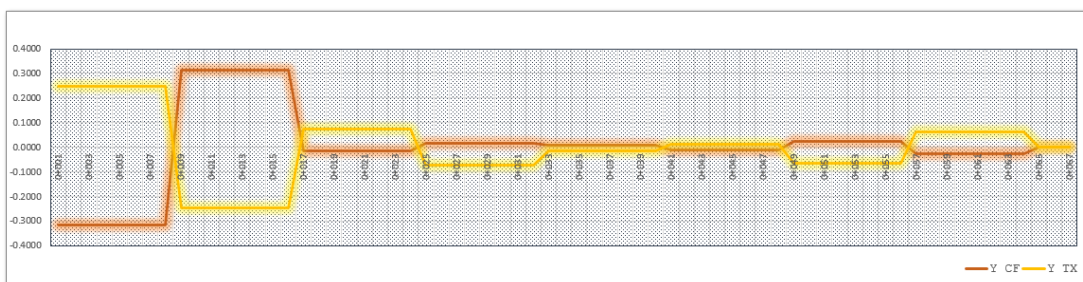


Figura 5.10: Transformadas wavelet: Macrotextura (TX) y Coeficiente de fricción (CF).

5.3. Aplicación para caso práctico: FASE 3



Ya que el tramo en estudio tiene una longitud de 33 kilómetros, es necesario seccionar dicho tramo, considerando que en su longitud presenta condiciones diferentes en cuanto a su condición funcional y estructural.

El seccionamiento además resulta necesario para asignar los tratamientos para cada tramo de pavimento y que estos tratamientos sean los más adecuados para el daño identificado evitando tratamientos de condiciones superiores o inferiores a los requerimientos; con esto se cuida el aspecto funcional y estructural de un pavimento.

El proceso de seccionamiento nos permite además evitar sobre costos en los trabajos de conservación, permitiendo asignar tratamientos adecuados que no se consideren sobrados para el daño identificado en el tramo.

El seccionamiento se realiza de acuerdo a la metodología propuesta en la figura 4.8. Para el caso de estudio, a continuación se desarrolla la aplicación de la metodología propuesta.

■ Inicio:

Los insumos para comenzar con el desarrollo de la metodología para el cálculo de zonas homogéneas, ya han sido obtenidos y se exponen en la sección 5.2.

Se tienen los datos de entrada que son:

- Normalización de datos (figuras 5.2, 5.3 y 5.4).
- Diferencias acumuladas (figuras 5.5, 5.6 y 5.7)
- Transformadas wavelet (figuras 5.8, 5.9 y 5.10).

■ Etapa 1:

Si se observa la figura 5.2 se observa que existen puntos que sobrepasan el umbral de aceptación de las deflexiones, por ello se realiza un primer seccionamiento basándose en la gráfica de diferencias acumuladas de las deflexiones.

A los tramos homogéneos resultantes de este seccionamiento se les asigna la etiqueta de bueno (B), regular (R) o malo (M) según la ubicación los puntos pertenecientes a cada tramo respecto al umbral de aceptación y rechazo en la gráfica de las deflexiones normalizadas.

En la figura 5.11, se presenta el seccionamiento por deflexiones, resultado de la etapa 1. Los tramos marcados en color rojo hacen referencia al estado malo (M), el color amarillo corresponden al estado regular (R) y el color verde al estado bueno (B).

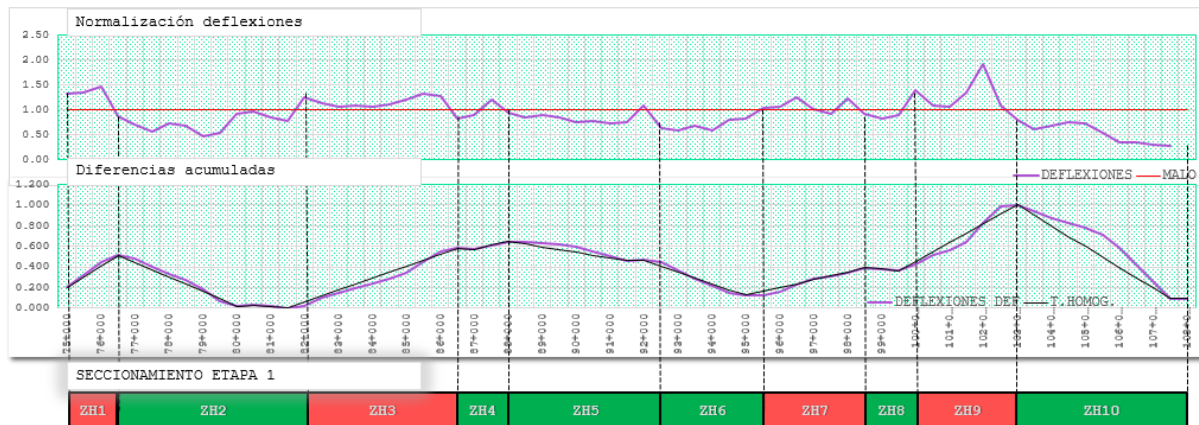


Figura 5.11: Seccionamiento: etapa 1.

■ Etapa 2:

Se revisan los tramos que en la etapa 1 resulten etiquetados como secciones en estado bueno (B). Esta segunda revisión se realiza con el factor IRI y la profundidad de roderas en conjunto, y utilizando la gráfica de energía o desgaste (transformada wavelet), que les corresponder a estos dos factores de desempeño.

Para la explicación de la etapa 2, tomaremos como base la zona homogénea ZH2 que como indica su etiqueta de estado bueno (B), requiere de una segunda revisión, bajo los factores de IRI y PR.

Se revisa el segmento del Km 76+500 al 82+000 en la gráfica de las transformadas wavelet que contiene al IRI y la profundidad de roderas; Se determina cual de los dos factores de desempeño presenta un valor absoluto de energía mayor y se realiza el seccionamiento de este tramo con la gráfica de diferencias acumuladas del que resultó mayor.

Como se observa en la figura 5.12, para el tramo 76+500 - 82+000 la profundidad de roderas presenta un valor absoluto mayor. Se toma entonces la gráfica de diferencias acumuladas de la profundidad de roderas y se secciona nuevamente el tramo asignando a los nuevos tramos la etiqueta del estado que tiene la profundidad de roderas en su gráfica de datos normalizados.

Del seccionamiento para el tramo 76+500 - 82+000 que se obtuvo en la etapa 1, para este segundo seccionamiento, ese único tramo, se convierte en dos sub tramos.

- El sub tramo 76+500 - 80+000 de acuerdo a la gráfica de datos normalizados de la profundidad de roderas, le corresponde una etiqueta de estado regular (R), esto debido a que los puntos pertenecientes a este tramo, se encuentran entre el umbral de estado bueno y el umbral de estado malo.
- Para el sub tramo 80+000 - 82+000, el etiquetado resultado en estado bueno (B) ya que los puntos de la gráfica de normalización profundidad de roderas, se encuentran por debajo del umbral de estado bueno (B).

En la figura 5.13, contiene los tramos en que se divide el tramo 76+500 - 82+000.

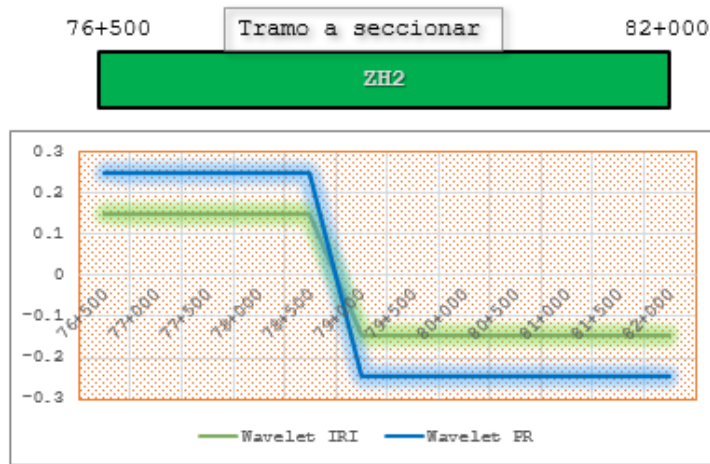


Figura 5.12: Comparación de energía IRI - PR: tramo 76+500 - 82+000.

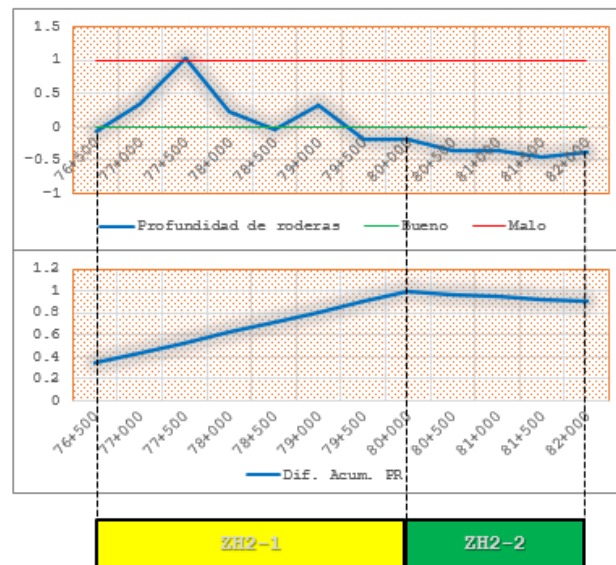


Figura 5.13: Seccionamiento: tramo 76+500 - 82+000.

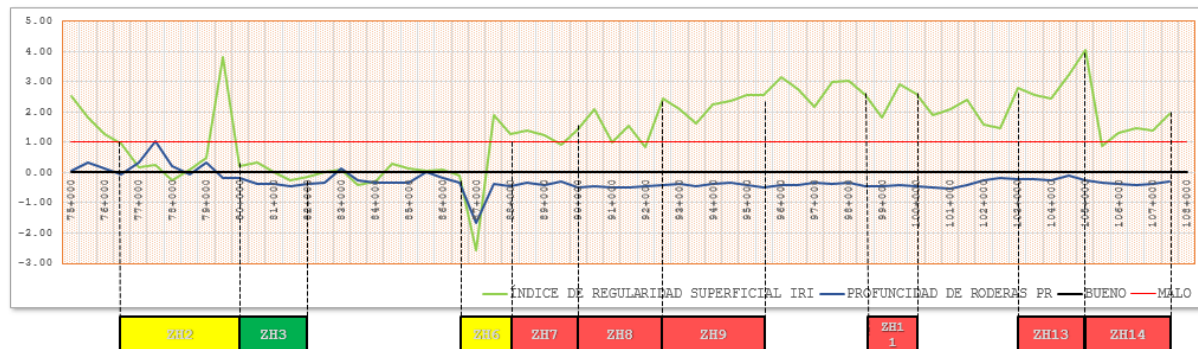


Figura 5.14: Seccionamiento: Etapa 2.

En la figura 5.16 se muestra el seccionamiento resultado de la aplicación de la etapa 2, con el etiquetado del estado que les corresponde.

■ Etapa 3:

Para terminar con el seccionamiento del tramo en estudio, la tercera etapa de revisión se enfoca en el aspecto de seguridad en el pavimento, al analizar en conjunto la macrotextura y el coeficiente de fricción.

Revisando los seccionamientos de la etapa 1 y 2, se concluye que en su mayoría el tramo carretero tiene fallas funcionales y/o estructurales, por esto la tercera etapa de análisis para seccionamiento solamente se enfoca en la única sección que hasta el momento se encuentra en buen estado.

El tramo para revisar desde el aspecto de la seguridad con esta tercera etapa es el tramo 80+000 - 82+000. Se utiliza el mismo procedimiento de la etapa 2, donde se analiza el valor de la energía en este caso de la macrotextura y el coeficiente de fricción y se elige el mayor de ellos para seccionar.

Al verificar la gráfica de valores normalizados para el coeficiente de fricción y macrotextura (figura 5.4), se tiene que ambos factores pertenecen a un mismo tramo de acuerdo a sus diferencias acumuladas y el único con deficiencias es la macrotextura, que resulta con estado regular (R); por lo tanto el tramo 80+000 - 82+000 se etiqueta con estado Regular.

Se concluye entonces con el seccionamiento del cintillo mostrado en la figura 5.15, donde se incluyen las zonas homogéneas de la etapa 1, de la etapa 2 y de la etapa 3; además, con el color en cada zona homogénea se indica el nivel de estado de las mismas (Bien, Regular, Mal).

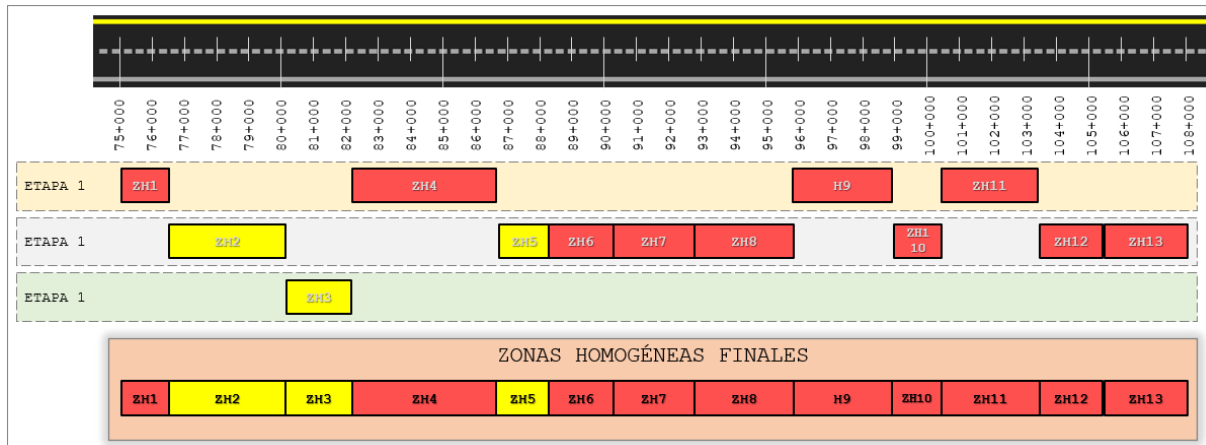


Figura 5.15: Seccionamiento final: tramo San Luis Potosí - Matehuala.

5.4. Aplicación para caso práctico: FASE 4



En este punto se tienen los tramos homogéneos ya delimitados, ahora es necesario determinar como se encuentra cada tramo de acuerdo al nivel de daño que se presente en cada caso; la determinación del daño para cada tramo homogéneo, se realiza con la valoración de los 18 deterioros superficiales para pavimento flexibles.

Se tienen 13 zonas homogéneas, como se puede ver en la figura 5.15 mostrada en la sección 5.3 y aun cuando dichas zonas homogéneas resultaron en diferente etapa de análisis y por lo tanto existen variadas deficiencias de los factores de desempeño, la aplicación de la fase 4 de la metodología propuesta en esta tesis, es igual para cada tramo.

Con el objetivo de mostrar el funcionamiento práctico de la fase 4 de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación expuesta en esta tesis, se toma la zona homogénea 6 (ZH6) del kilómetro 88+000 al kilómetro 90+000, para el cual se tiene el registro de los deterioros superficiales de la tabla 5.1.

- Datos de campo (Deterioros superficiales).

Recordemos que para aplicar la fase 4 propuesta en esta tesis, se requiere que los deterioros superficiales sean evaluados en campo calificándolos en un rango de 0 a 10, donde cero es la condición ideal, cuando el deterioro no existe para el pavimento en estudio y el valor de 10 cuando el deterioro alcanza su punto máximo.

En la tabla 5.1 se muestra la evaluación de los deterioros del tramo 88+000 - 90+000 en un rango de 0-10. Para la valoración del deterioro 12 (Textura lisa), únicamente se asigna un valor de 0 cuando no existe el deterioro y de 1 cuando si hay presencia de este; para el caso que se está analizando se tiene un valor de 1, lo que significa que si hay presencia de textura lisa.

- Análisis difuso de sub-módulos.

Lo que propone la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación, objeto de esta tesis, en su fase 4 es primero evaluar los sub-módulos de deterioros superficiales, como se muestra en la figura 4.28.

En la tabla 5.2 se muestran los valores de entrada para los sub-módulos (AGR1, AGR2, DF1 y DF2) y el valor en la salida de cada uno de ellos.

- Análisis difuso de las clases de deterioros superficiales.

Tabla 5.1: Evaluación de deterioros superficiales: tramo 88+000 - 90+000.

No.	DETERIORO	ZH-1	
		88 + 000	90 + 000
1	Agrietamiento de piel de cocodrilo	3,90	
2	Exudación de asfalto	1,00	
3	Agrietamiento con patrón de mapa	2,00	
4	Bordo o depresión localizados	0,00	
5	Ondulaciones transversales	4,00	
6	Depresión por asentamiento	0,00	
7	Agrietamiento en la orilla	0,00	
8	Grietas de reflexión	2,00	
9	Acotamiento en desnivel	0,00	
10	Grietas longitudinales y transversales	3,00	
11	Baches o cortes reparados en el pavimento	3,00	
12	Textura lisa	1,00	
13	Baches abiertos	6,00	
14	Roderas	2,00	
15	Corrimiento en la carpeta	0,00	
16	Agrietamiento por deslizamiento	0,00	
17	Levantamiento por expansión	1,50	
18	Desgaste o erosión (incluye indentación)	5,00	

Tabla 5.2: Evaluación parcial difusa tramo 88+000 - 90+000: sub-módulos AGR1, AGR2, DF1 y DF2.

CLASE	No.	DETERIORO	NOM	VALOR DE CAMPO	SUB-MÓDULO	EVALUACIÓN PARCIAL DIFUSA
AGRIETAMIENTO	1	Agrietamiento de piel de cocodrilo	Cocodrilo	3,90	AGR1	4,91
	3	Agrietamiento con patrón de mapa	Mapa	2,00		
	8	Grietas de reflexión	Reflexión	2,00	AGR2	3,77
	10	Grietas longitudinales y transversales	Long-transv	3,00		
DEFORMACIONES	5	Ondulaciones transversales	Ondulaciones	4,00	DF1	1,45
	14	Roderas	Roderas	2,00		
	17	Levantamiento por expansión	Levantamiento	1,50	DF2	1,29
	4	Bordo o depresión localizados	Bordo-depresión	0,00		
6	Depresión por asentamiento	Asentamiento	0,00			

Tabla 5.3: Evaluación difusa tramo 88+000 - 90+000: Clases AGR, DSUP,DF, BYB y VA.

CLASE	No.	DETERIORO	NOM	VALOR DE CAMPO	SUB-MÓDULOS	EVALUACIÓN PARCIAL DIFUSA	CLASE SUPERFICIE	VALOR CLASE
AGRIETAMIENTO	1	Agrietamiento de piel de cocodrilo	Cocodrilo	3,90			AGR	5,00
	3	Agrietamiento con patrón de mapa	Mapa	2,00	AGR1	4,91		
	8	Grietas de reflexión	Reflexión	2,00				
	10	Grietas longitudinales y transversales	Long-transv	3,00	AGR2	3,77		
	7	Agrietamiento en la orilla	N / A	0,00	AGR3	0,00		
	16	Agrietamiento por deslizamiento	N / A	0,00	AGR3	0,00		
DEFECTOS SUPERFICIALES	2	Exudación de asfalto	Exudación	1,00			DSUP	6,10
	12	Textura lisa	T-lisa	1,00	DSUP	1,00		
	18	Desgaste o erosión (incluye indentación)	Desgaste	5,00				
DEFORMACIONES	5	Ondulaciones transversales	Ondulaciones	4,00			DF	0,90
	14	Roderos	Roderos	2,00	DF1	1,45		
	17	Levantamiento por expansión	Levantamiento	1,50				
	4	Bordo o depresión localizados	Bordo-depresión	0,00	DF2	1,29		
	6	Depresión por asentamiento	Asentamiento	0,00				
	15	Corrimiento en la carpeta	N / A	0,00	DF3	0,00		
BACHES Y BACHEO	11	Baches o cortes reparados en el pavimento	Reparados	3,00			BYB	4,96
	13	Baches abiertos	Abiertos	6,00	BYB	6,00		
VARIOS	9	Acotamiento en desnivel	N / A	0,00	N / A	0,00	VA	0,00

Ya que se tienen los valores de los sub-módulos, nos encontramos en condiciones de calcular el valor de daño de las cuatro clases que lo requieren. La clase de varios conformada por el deterioro denominado acotamiento en desnivel, no requiere del cálculo de valor de daño a través de un análisis difuso.

El valor de campo de la clase de varios (VA) ingresa de manera directa en el análisis de la valoración del daño superficial de un pavimento, considerando que de manera particular en su clase, no interactúa con ningún otro deterioro.

En la tabla 5.3 se presenta los resultados del daño superficial del tramo en estudio (ZH6). El daño superficial del tramo resulta etiquetado con un valor numérico queda sujeto de una interpretación para continuar con la aplicación de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación.

5.5. Aplicación para caso práctico: FASE 5



La fase 5 constituye la parte final de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación, obteniendo precisamente con la aplicación de esta fase, el tratamiento de conservación que se presente más adecuado en sincronía con el daño superficial identificado.

Continuando con la ejemplificación que se lleva, la aplicación de la fase 5: recomendación de tratamientos de conservación, se llevará a cabo sobre la zona homogénea comprendida del kilómetro 88+000 al 90+000.

El mismo procedimiento que se detalla para el tramo 88+000 - 90+000, se aplica de la misma manera para el resto de las secciones que resultaron para el tramo carretero en estudio: San Luis Potosí - Matehuala (75+000 - 108+000).

En la figura 5.16 se presenta el resumen de daño superficial por clase de deterioros superficiales, que se obtuvo en la aplicación de la fase 4 (sección 5.4)

Para realizar el análisis de un tramo carretero, de acuerdo al daño superficial que presenta y con el realizar la recomendación de un tratamiento de conservación, se sigue el procedimiento descrito en la sección 4.6.9, específicamente siguiendo el proceso de la figura 4.33 y para el caso de estudio resulta lo siguiente.

- **Interpretación del valor numérico del daño superficial.**

Se revisa la tabla 4.12, donde se indican los rangos entre los que fluctúan las etiquetas de severidad y se realiza una interpretación de los valores de daño para cada clase, etiquetando la clase con la etiqueta de la severidad que corresponda.

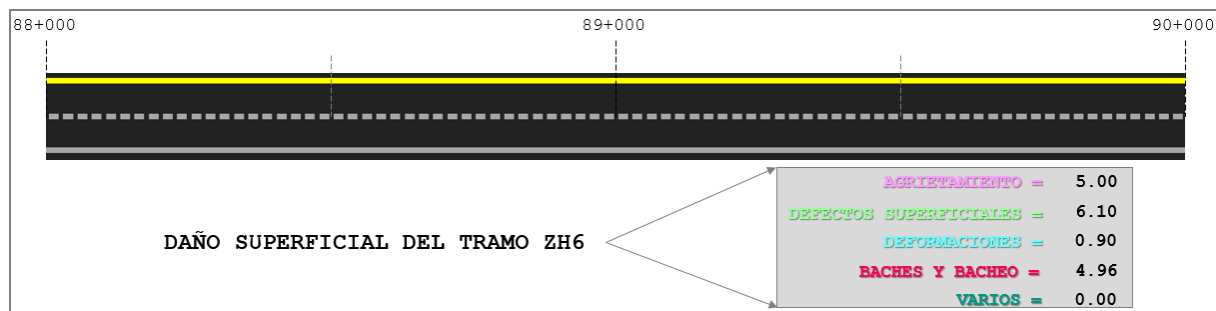


Figura 5.16: Daño superficial: tramo 88+000 - 90+000.

Tabla 5.4: Interpretación de daño para cada clase de deterioros superficiales.

Clases de deterioro superficiales					
	AGRIETAMIENTO	DEFECTOS SUPERFICIALES	DEFORMACIONES	BACHES Y BACHEO	VARIOS
VALOR DEL DAÑO	5,00	6,10	0,90	4,96	0,00
RANGO	3,55 - 5,01	5,72 - 7,14	0,73 - 3,60	1,45 - 5,71	0,00 - 2,87
INTERPRETACIÓN	Regular	Regular - High	Low - Regular	Regular	Low

*COMBINACIÓN: R-RH-LR-R-L

Por ejemplo para la clase de agrietamiento que resulta con un valor de daño de 5, al compararlo con la tabla 4.12 se concluye la clase con un nivel 'Regular' de severidad, ya que la etiqueta de severidad 'Regular' esta comprendido en el rango $3.55 < \text{Regular} < 5.01$.

En la tabla 5.4, se presentan los valores de daño superficial por clase, interpretados con la etiqueta de severidad que corresponde.

- **Nivel de conservación.**

Con la combinación de las etiquetas para las clases de deterioros superficiales, obtenidas de la interpretación del valor numérico del daño, se procede a determinar el nivel de conservación que se requiere en el tramo.

Con la combinación R-RH-LR-R-L, nos dirigimos a las tablas reglas y niveles de conservación del apéndice B, específicamente en la tabla B.9, encontramos que la combinación buscada en la numero 598 y a esta se encuentra asociado un nivel de conservación **periódica alta (PA)**.

- **Valor de requerimiento.**

Asignar el valor de requerimiento 'Si requiere', 'No requiere', al daño superficial de cada clase, el cual fue asociado a una etiqueta de severidad de acuerdo al rango en que se ubicó (tabla 5.4).

Como describe en la sección 4.6.8, se asigna un valor positivo de requerimiento, a todo clase que sea etiquetada con una severidad diferente a 'Low'. Se tiene entonces que la clase de agrietamiento, defectos superficiales, deformaciones, baches y bacheo requieren de atención al contener etiquetas de severidad diferente de low.

La combinación de requerimientos en forma de código que se tiene para este caso es: SSSSN.

El código anterior es el que se buscará en las combinaciones de tratamientos de conservación, periódica alta para el caso que se está tratando.

- **Selección del tratamiento de conservación.**

El último paso de la metodología propuesta en esta tesis, consiste en seleccionar el tratamiento de conservación que resulta adecuado, de acuerdo a los parámetros y consideraciones que se tienen en el análisis y desarrollo de la metodología.

Para seleccionar el tratamiento de conservación, nos dirigimos a la tabla de tratamientos de conservación para conservación periódica alta y se busca el código 'SSSSN' que resulta en el inciso anterior, siendo el tratamiento que se ubique el que cumple con las necesidades del tramo en estudio.

Tabla 5.5: Tratamientos de conservación.

CÓDIGO: SSSSN		
	COMBINACIÓN	DESCRIPCIÓN DE TRABAJOS
Opción 1	55	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
Opción 2	59	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
Opción 3	67	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
Opción 4	71	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
Opción 5	91	Fresado superficial o riego de sello + Bacheo superficial
Opción 6	95	Fresado superficial, riego de sello, Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
Opción 7	103	Fresado superficial + Bacheo superficial
Opción 8	107	Fresado superficial o Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial

Puede ser el caso que no solamente resulte un tratamiento de conservación, esto debido a que existen varias combinaciones de tratamientos que cumplen con las necesidades del tramo, como es el caso que se está desarrollando.

En la tabla 5.5, se presentan las coincidencias del código 'SSSSN' del caso de estudio siendo el listado de tratamientos presentes en la tabla, los que se alinean con el daño superficial que se identificó para el tramo en estudio.

Como se puede observar existen 8 opciones de tratamiento en las que coincide el código que se busca, pero algunas de esas 8 opciones coinciden en la descripción de los trabajos; esto se debe a que un mismo tratamiento de conservación puede ser aplicado a más de una clase de deterioros superficiales.

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusiones

Actualmente, en México la selección de los tratamientos de conservación de manera convencional presenta inconsistencias importantes, ya que comúnmente se realiza de acuerdo al conocimiento que sobre el tema el constructor ha adquirido durante su práctica profesional; inclusive la selección de los tratamientos de conservación se basa en recomendaciones de casos de éxito sin considerar una evaluación de la funcionalidad de los tratamientos, o de la condición estructural, funcional y de seguridad del pavimento.

El no contar con una metodología formal que permita realizar recomendaciones de tratamientos de conservación, puede llevar a implementar tratamientos que no resultan los adecuados para la condición en que se encuentre un pavimento, situación que además de guiar a pérdidas en tiempo y pérdidas de recursos, puede no lograr el objetivo principal de la conservación de una carretera que es extender su vida útil.

De la investigación del estado del arte relacionado con el tema de conservación de pavimentos, destaca como un tema bastante extenso, considerando que de manera casi cotidiana, se están desarrollando técnicas o tratamientos de conservación, así como productos nuevos en el mercado pero en lo que respecta a las metodologías que nos permitan seleccionar un tratamiento o producto para conservación de pavimentos, nos encontramos con un vacío en el desarrollo de investigaciones sobre el tema.

También en lo que respecta al estado del arte, como se puede ver en el apartado dedicado a este tema, existen un número limitado de proyectos desarrollados y publicados que si bien brindan un panorama sobre el camino a seguir para seleccionar tratamientos de conservación, en su mayoría estas propuestas presentan deficiencias importantes.

La principal deficiencia de las limitadas investigaciones sobre selección de tratamientos de conservación se debe a que no consideran los factores de desempeño de carácter estructural, funcional y de seguridad, de una manera integral, dirigiendo su enfoque en su mayoría a uno solo de estos factores y por consiguiente representando solo la condición que dicho factor le proporciona sin representar de manera completa la realidad de un pavimento.

Debido al espacio desierto que existe sobre el desarrollo de metodologías para selección

de tratamientos de conservación, en esta tesis se estableció un procedimiento metodológico que describe las fases necesarias para realizar dicha selección del tratamiento de conservación necesarios para el daño identificado en un tramo carretero. Esta metodología permite ser aplicada para un número ilimitado de tramos carreteros que cuenten con los recursos necesarios para recabar los insumos que la metodología requiere.

Se concluyó que los factores de desempeño propuestos por la SICT, permiten realizar una evaluación y descripción completa del pavimento, exhibiendo el aspecto estructural con la valoración de las deflexiones, el aspecto funcional en el sentido longitudinal y transversal con el IRI y la profundidad de roderas y el aspecto de la seguridad con el coeficiente de fricción, la macrotextura; además, con los deterioros superficiales se puede evaluar el estado físico del pavimento.

La metodología propuesta en esta tesis permite ser aplicada para casos de estudio donde la obtención de los factores de desempeño o cualquiera de los insumos que solicita como entrada, no estuvieran disponibles; cuando se presente este tipo de casos, la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación, puede aplicarse teniendo en cuenta que a falta de uno o más insumos, el resultado podría llegar a ser errado con mayor probabilidad.

El objetivo de realizar un análisis integral de los factores de desempeño de un pavimento es representar su estado actual lo más específico posible; por ello en esta tesis se define como una de las aportaciones más importantes el desarrollo de un análisis integral que toma en cuenta factores de desempeño de deflexiones, índice de regularidad internacional, profundidad de roderas, coeficiente de fricción, macrotextura y deterioros superficiales.

Una aportación bastante importante de esta tesis, es la que respecta a la metodología para el cálculo de zonas homogéneas, donde se propuso un análisis que considera un sentido de revisión de la sección del pavimento, mismo que se enfoca en un inicio en el aspecto estructural y concluye con el aspecto de la seguridad en la superficie del pavimento.

Se busca realizar una correcta descripción del estado físico y del comportamiento de la estructura de un pavimento proponiendo la delimitación de zonas homogéneas con todos los factores de desempeño propuesto por la SICT para la auscultación de pavimento ordenándolos para seguir una orden de revisión desde el sentido estructural hasta el de seguridad, teniendo en cuenta que cada uno de estos proporciona información sobre aspectos diferentes a considerar en un pavimento flexible.

Desarrollar un proceso que simplifique la delimitación de zonas homogéneas es una valiosa aportación ya que cubre una necesidad también abandonada de la conservación de carreteras, siendo que la correcta delimitación de los tramos homogéneos es uno de los pasos más importantes al momento de seleccionar un tratamiento de conservación.

Además, la correcta delimitación de zonas homogéneas en un pavimento flexible, es un tema que toma tanta importancia cuando de conservación de pavimentos se trata, ya que de este aspecto puede depender el correcto desempeño de la vialidad, a lo largo del tiempo, y permite también proteger la inversión de recursos, tomando en consideración que si se seccionó de la forma correcta el tratamiento de conservación que se elija será el adecuado que permita detener la evolución del deterioro perfectamente identificado en la tramo que se trate.

Es fundamental desarrollar análisis de pavimentos que se basen en una descripción completa del mismo y esto se logra en esta tesis haciendo uso de los factores de desempeño

antes mencionados para la evaluación de un pavimento, mismos que representan condiciones diferentes en el pavimento y que de ser considerados de manera individual en un proceso de análisis pueden generar incertidumbre en los resultados.

En lo que respecta a la propuesta de realizar un análisis difuso para determinar el nivel de daño de un tramo carretero, se presenta como una relevante aportación, ya que de este modo permite valorar el conocimiento común de los tomadores de decisión en conservación de pavimentos, de los evaluadores de tramos carreteros y de los manuales de evaluación de deterioros superficiales, convirtiendo el conocimiento de cada uno de esos actores involucrados en el tema, de una etiqueta lingüística a un valor cuantitativo que puede ser fácilmente evaluado y analizado.

De los tratamientos de conservación, se tiene que existen una cantidad bastante considerable tanto de tratamientos como de técnicas de aplicación, para el desarrollo de esta tesis se optó por dar un primer acercamiento al proceso de recomendación de dichos tratamientos, con una colección de los tratamientos convencionales que engloban a los tratamientos y técnicas particulares.

Con la colección de los tratamientos convencionales utilizados en el proceso de recomendación de la metodología expuesta en esta tesis, se construyó una relación de combinación de tratamientos de conservación con los niveles de conservación periódica y rehabilitación asociados también, a un nivel de daño superficial en el pavimento.

Por último, resulta interesante recalcar que la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación que se desarrolló en esta tesis, favorecerá en gran medida los futuros proyectistas o encargados de la conservación de las carreteras, experimentados y no experimentados en el tema, brindando un procedimiento que permite elegir el tratamiento de conservación que mejor se adecue al daño identificado y que además esté cimentado en un análisis minucioso que da soporte a la toma de decisiones.

6.2. Trabajo futuro

Con la rápida y continua aparición de técnicas, tratamientos y materiales para conservación de pavimentos, se sugiere como trabajo futuro el desarrollar una metodología que complemente a la presentada en esta tesis, con recomendación de tratamientos más específicos para el mantenimiento de un pavimento.

Esta primera sugerencia de trabajo futuro surge después de encontrar que existen ya una gamma bastante amplia de tratamiento de conservación y como se puede advertir en los conjuntos de tratamientos de conservación para los niveles de conservación periódica y rehabilitación que se crearon en esta tesis, los resultados que pueden obtenerse de aplicar la metodología que se está proponiendo, son combinaciones de tratamientos convencionales.

Con esta primer sugerencia de trabajo futuro, sobre complementar la metodología propuesta en esta tesis con recomendaciones de tratamientos particulares, se tendría por ejemplo que la recomendación no sea solamente la colocación de un riego de sello sino lograr recomendar un tratamiento más específico como un riego anti polvo, o en lugar de recomendar una estabilización de base, recomendar una estabilización de base con asfalto espumado, con cal o con cemento portland, entre otros.

Otra sugerencia de trabajo futuro es el desarrollar un software que permita automatizar

la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación, propuesta en esta tesis, ya sea la totalidad de las cinco fases o solamente partes de la misma, esto considerando que en la actualidad, nos encontramos inmersos en tecnología y programas de cómputo en básicamente cualquier área del conocimiento.

Por ejemplo como se menciona, se puede buscar el automatizar en un programa de cómputo, la metodología completa o en su defecto las partes de esta como la fase de la delimitación de zonas homogéneas.

En la misma línea del tema de conservación de carreteras, una última sugerencia de trabajo futuro, podría ser el desarrollar una metodología para trabajos de conservación para otros tipos de pavimento. Por ejemplo desarrollar la versión de la metodología para la recomendación de tratamientos de conservación para pavimentos rígidos, esto teniendo en consideración que la propuesta que se trae en esta tesis se desarrolló para pavimentos flexibles.

Apéndice A

Análisis del deterioro

Tabla A.1: Parámetros de funciones de membresía para clase 2: DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP).

DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP)			
DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Exudación de asfalto	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
Textura lisa	EXISTE	Trapezoidal	1, 1, 1, 1
Desgaste o erosión	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
CLASE	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA SALIDA	
		FORMA	PARÁMETROS
DEFECTOS SUPERFICIALES	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 2.5
	LR	Triangular	1, 2.5, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2.5, 4.5, 5.5, 7.5
	RH	Triangular	6, 7.5, 9
	HIGH	Trapezoidal	7.5, 9, 10,10

Tabla A.2: Reglas de interacción de niveles de severidad. Clase de DEFECTOS SUPERFICIALES.

DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP)					
Exudación de asfalto	Textura lisa	Desgaste o Erosión	COMBINACION	# REGLA	EVALUACIÓN
B	N / A	B	B.NA.B	1	L
B	N / A	M	B.NA.M	2	LR
B	N / A	A	B.NA.A	3	RH
B	SE	B	B.SE.B	4	RH
B	SE	M	B.SE.M	5	H
B	SE	A	B.SE.A	6	H
M	N / A	B	M.NA.B	7	LR
M	N / A	M	M.NA.M	8	R
M	N / A	A	M.NA.A	9	H
M	SE	B	M.SE.B	10	H
M	SE	M	M.SE.M	11	H
M	SE	A	M.SE.A	12	H
A	N / A	B	A.NA.B	13	RH
A	N / A	M	A.NA.M	14	H
A	N / A	A	A.NA.A	15	H
A	SE	B	A.SE.B	16	H
A	SE	M	A.SE.M	17	H
A	SE	A	UN MAR	18	H

L:	BAJO
LR:	BAJA REGULAR
R:	REGULAR
RH:	REGULAR-ALTA
H:	ELEVADO

B:	BAJO
M:	MEDIO
A:	ALTO
N / A:	NO APLICA
SE:	EXISTE

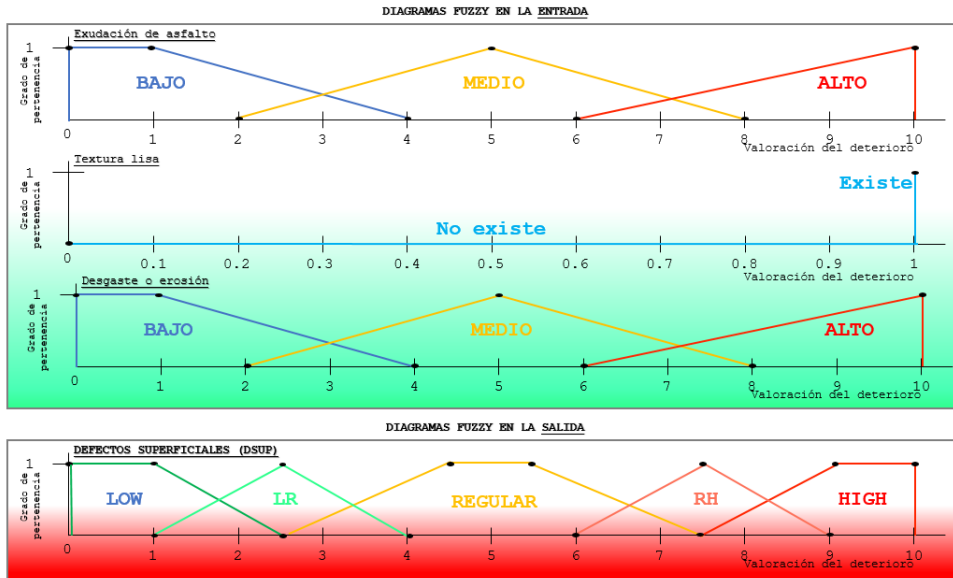


Figura A.1: Conjunto difuso para clase 2: DEFECTOS SUPERFICIALES (DSUP).

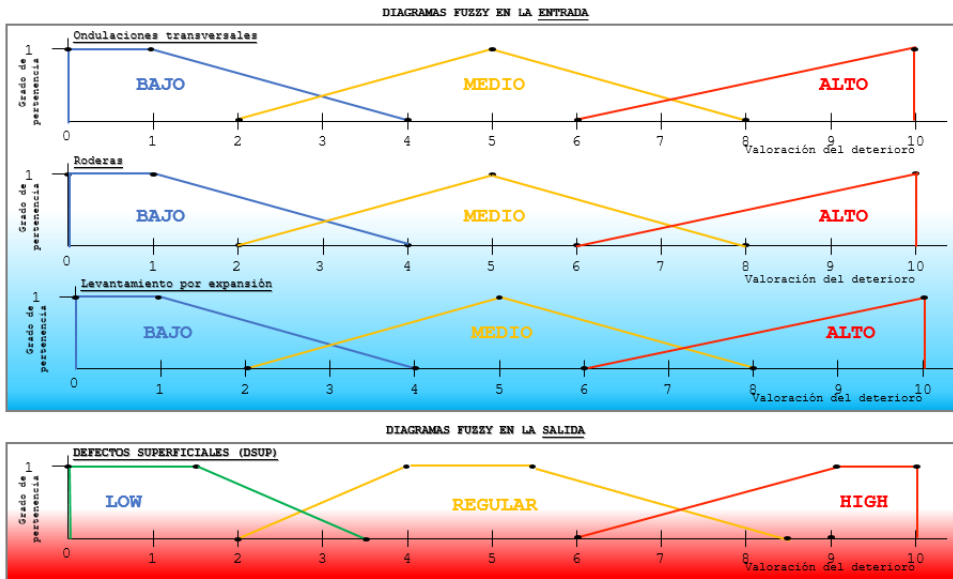


Figura A.2: Conjunto difuso sub-módulo DF1.

Tabla A.3: Parámetros de funciones de membresía para sub-módulos DF1 y DF2.

DEFORMACIONES (DF1)			
DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Ondulaciones transversales	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
Roderas	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
Levantamiento por expansión	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
SUB-MÓDULO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA SALIDA	
		FORMA	PARÁMETROS
DF1	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1.5, 3.5
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4, 5.5, 8.5
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10,10
DEFORMACIONES (DF2)			
DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Bordo o depresión localizados	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
Depresión por asentamiento	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
SUB-MÓDULO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA SALIDA	
		FORMA	PARÁMETROS
DF2	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1.5, 3.5
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4, 5.5, 8
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10,10

Tabla A.4: Reglas de interacción de niveles de severidad. Sub-módulos DF1 y DF2.

Deformaciones DF1						Deformaciones DF2					
Ondulaciones transversales	Roderas	Levantamiento por expansión	COMBINACIÓN	# REGLA	EVALUACION	Bordo o depresión localizado	Depresión por asentamiento	COMBINACIÓN	# REGLA	EVALUACION	
B	B	B	BBB	1	L	B	B	BB	1	L	
B	B	M	BBM	2	L	B	M	BM	2	L	
B	B	A	BBA	3	R	B	A	BA	3	R	
B	M	B	BMB	4	L	M	B	MB	4	L	
B	M	M	BMM	5	R	M	M	MM	5	R	
B	M	A	BMA	6	R	M	A	MA	6	R	
B	A	B	BbB	7	R	A	B	AB	7	R	
B	A	M	BAM	8	R	A	M	AM	8	R	
B	A	A	BAA	9	H	A	A	AA	9	H	
M	B	B	MBB	10	L						
M	B	M	MBM	11	R						
M	B	A	MBA	12	R						
M	M	B	MMB	13	R						
M	M	M	mmm	14	R						
M	M	A	MMA	15	H						
A	B	B	MAB	16	R						
A	A	M	MAM	17	H						
A	A	A	MAA	18	H						
A	B	B	ABB	19	R						
A	B	M	ABM	20	R						
A	B	A	ABA	21	H						
A	M	B	AMB	22	R						
A	M	M	AMM	23	H						
A	M	A	AMA	24	H						
A	A	B	AAB	25	H						
A	A	M	AAM	26	H						
A	A	A	AAA	27	H						

	B	BAJO
	M	MEDIO
	A	ALTO
	L	BAJO
	R	REGULAR
	H	ELEVADO

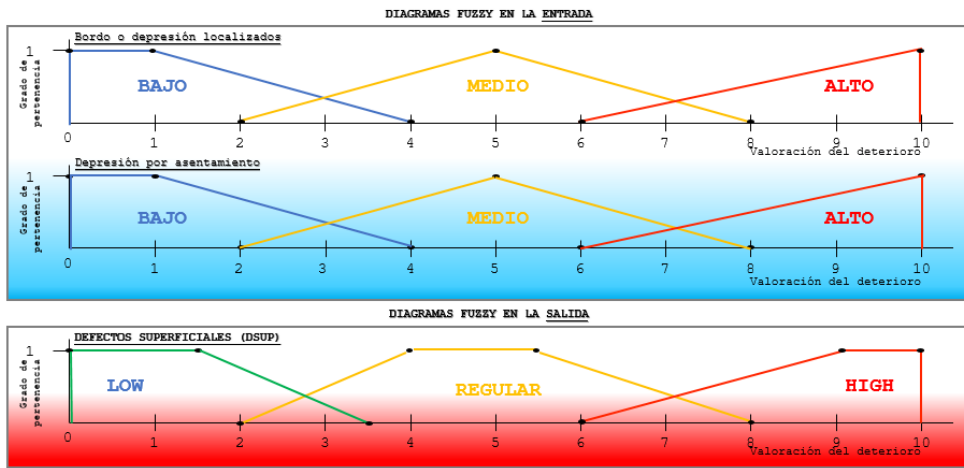


Figura A.3: Conjunto difuso sub-módulo DF2.

Tabla A.5: Parámetros de funciones de membresía para clase 3: DEFORMACIONES (DF).

DEFORMACIONES (DF)			
DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Deformaciones 1 (DF1)	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1.5, 3.5
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4, 5.5, 8.5
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10, 10
Deformaciones 2 (DF2)	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1.5, 3.5
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4, 5.5, 8.5
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10, 10
Corrimiento de la carpeta	LOW	Trapezoidal	0, 0, 0.5, 4.5
	REGULAR	Triangular	2, 5, 8
	HIGH	Triangular	5.5, 10, 10
CLASE	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA SALIDA	
		FORMA	PARÁMETROS
DEFORMACIONES	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1, 2.5
	LR	Triangular	1, 2.5, 4
	REGULAR	Trapezoidal	2.5, 4.5, 5.5, 7.5
	RH	Triangular	6, 7.5, 9
	HIGH	Trapezoidal	7.5, 9, 10, 10

Tabla A.6: Reglas de interacción de niveles de severidad. Clase de DEFORMACIONES (DF).

DEFORMACIONES (DF)					
Deformaciones DF1	Deformaciones DF2	Corrimiento de Carpeta	COMBINACION	# REGLA	EVALUACIÓN
L	L	L	LLL	1	L
L	L	R	LLR	2	LR
L	L	H	LLH	3	R
L	R	L	LRL	4	R
L	R	R	LRR	5	R
L	R	H	LRH	6	R
L	H	L	LHL	7	RH
L	H	R	LHR	8	RH
L	H	H	LHH	9	RH
R	L	L	RLL	10	R
R	L	R	RLR	11	R
R	L	H	RLH	12	R
R	R	L	RRL	13	R
R	R	R	RRR	14	R
R	R	H	RRH	15	RH
R	H	L	RHL	16	RH
R	H	R	RHR	17	RH
R	H	H	RHH	18	RH
H	L	L	HLL	19	H
H	L	R	HLR	20	H
H	L	H	HLH	21	H
H	R	L	HRL	22	H
H	R	R	HRR	23	H
H	R	H	HRH	24	H
H	H	L	HHL	25	H
H	H	R	HHR	26	H
H	H	H	HHH	27	H

■ L: LOW
■ R: REGULAR
■ H: HIGH
■ LR: LOW-REGULAR
■ RH: REGULAR-HIGH

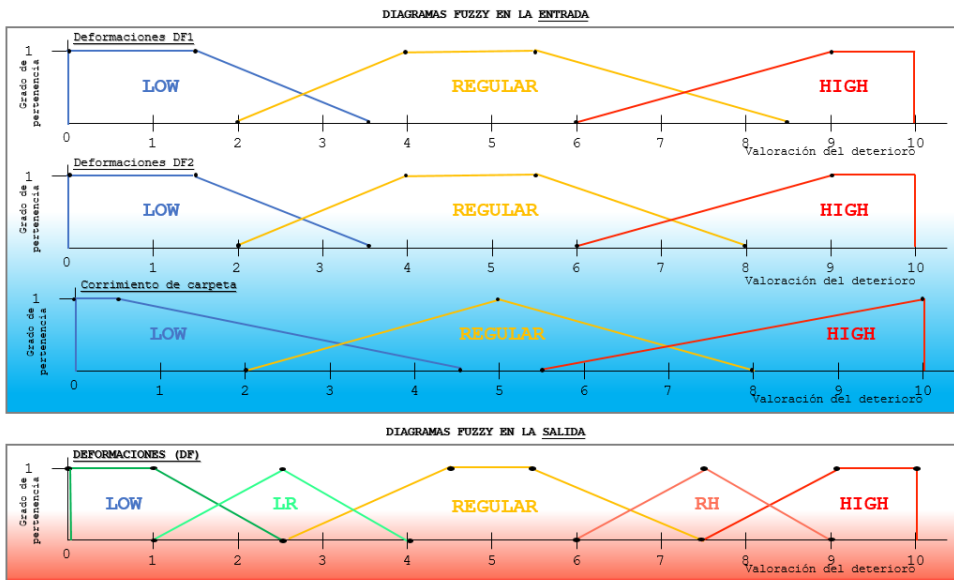


Figura A.4: Conjunto difuso para clase 3: DEFORMACIONES (DF).

Tabla A.7: Parámetros de funciones de membresía para clase 4: BACHES Y BACHEO (BYB).

BACHES Y BACHEO (BYB)			
DETERIORO	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA ENTRADA	
		FORMA	PARÁMETROS
Baches o cortes reparados	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
Baches abiertos	BAJO	Trapezoidal	0, 0, 1, 4
	MEDIO	Triangular	2, 5, 8
	ALTO	Triangular	6, 10, 10
CLASE	SEVERIDAD	FUNCIONES DE MEMBRESÍA EN LA SALIDA	
		FORMA	PARÁMETROS
BYB	LOW	Trapezoidal	0, 0, 1.5, 3.5
	REGULAR	Trapezoidal	2, 4, 5.5, 8
	HIGH	Trapezoidal	6, 9, 10,10

Tabla A.8: Reglas de interacción de niveles de severidad. Clase de BACHES Y BACHEO.

BACHES Y BACHEO (BYB)				
Baches o cortes reparados	Baches abiertos	COMBINACION	# REGLA	EVALUACIÓN
B	B	BB	1	L
B	M	BM	2	R
B	A	BA	3	H
M	B	MB	4	L
M	M	MM	5	R
M	A	MA	6	H
A	B	AB	7	R
A	M	AM	8	H
A	A	AA	9	H

B:	BAJO
M:	MEDIO
A:	ALTO
L:	LOW
R:	REGULAR
H:	HIGH

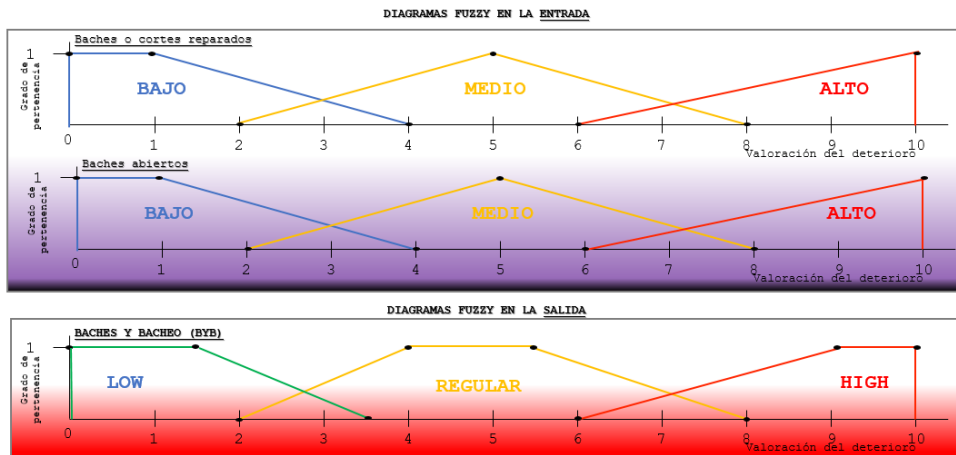


Figura A.5: Conjunto difuso para clase 4: BACHES Y BACHEO (BYB).

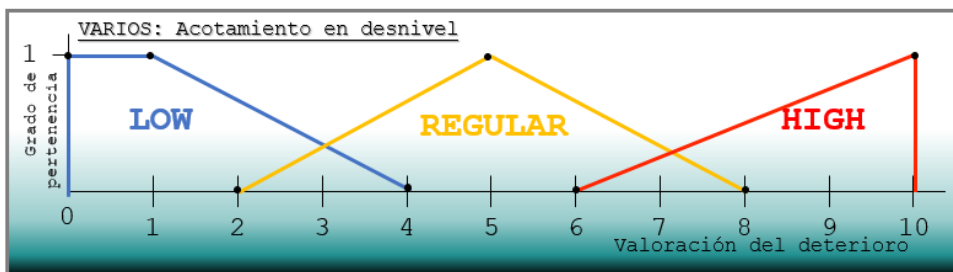


Figura A.6: Conjunto difuso. Clase: Varios (VA).

Apéndice B

Tratamientos de conservación

Tabla B.1: Combinación de tratamientos de conservación: Periódica baja (PB).

# Combinación	CODIGO	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	COMBINACIÓN DE TRABAJOS REQUERIDOS (Descripción)
1	NNNN	NR	NR	NR	NR	NR	No requiere trabajos
2	NNNS	NR	NR	NR	NR	T9	Renivelación local con mezcla asfáltica
3	NNSN	NR	NR	NR	T3	NR	Bacheo superficial
4	NNSS	NR	NR	NR	T3	T9	Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
5	NNSN	NR	NR	T6	NR	NR	Riego de sello
6	NNSNS	NR	NR	T6	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
7	NNSN	NR	NR	T6	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
8	NNSNS	NR	NR	T6	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
9	NSNN	NR	T5	NR	NR	NR	Riego asfáltico
10	NSNS	NR	T5	NR	NR	T9	Riego asfáltico + Renivelación local con mezcla asfáltica
11	NSNSN	NR	T5	NR	T3	NR	Riego asfáltico + Bacheo superficial
12	NSNSS	NR	T5	NR	T3	T9	Riego asfáltico + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
13	NSSN	NR	T5	T6	NR	NR	Riego de sello
14	NSSNS	NR	T5	T6	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
15	NSSN	NR	T5	T6	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
16	NSSNS	NR	T5	T6	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
17	SNNN	T1	NR	NR	NR	NR	Sellado de fisuras
18	SNNNS	T1	NR	NR	NR	T9	Sellado de fisuras + Renivelación local con mezcla asfáltica
19	SNSN	T1	NR	NR	T3	NR	Sellado de fisuras + Bacheo superficial
20	SNSS	T1	NR	NR	T3	T9	Sellado de fisuras + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
21	SNSN	T1	NR	T6	NR	NR	Riego de sello
22	SNSNS	T1	NR	T6	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
23	SNSN	T1	NR	T6	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
24	SNSNS	T1	NR	T6	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
25	SSNN	T1	T5	NR	NR	NR	Riego asfáltico
26	SSNS	T1	T5	NR	NR	T9	Riego asfáltico + Renivelación local con mezcla asfáltica
27	SSNSN	T1	T5	NR	T3	NR	Riego asfáltico + Bacheo superficial
28	SSNS	T1	T5	NR	T3	T9	Riego asfáltico + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
29	SSSN	T1	T5	T6	NR	NR	Sellado de fisuras + Riego se sello
30	SSSNS	T1	T5	T6	NR	T9	Sellado de fisuras + Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
31	SSSN	T1	T5	T6	T3	NR	Sellado de fisuras + Riego de sello + Bacheo superficial
32	SSSNS	T1	T5	T6	T3	T9	Sellado de fisuras + Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación con mezcla
33	SNNNN	T2	NR	NR	NR	NR	Relleno de grietas
34	SNNNS	T2	NR	NR	NR	T9	Relleno de grietas + Renivelación local con mezcla asfáltica
35	SNSN	T2	NR	NR	T3	NR	Relleno de grietas + Bacheo superficial
36	SNSS	T2	NR	NR	T3	T9	Relleno de grietas + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
37	SNSN	T2	NR	T6	NR	NR	Relleno de grietas + Riego de sello
38	SNSNS	T2	NR	T6	NR	T9	Relleno de grietas + Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
39	SNSN	T2	NR	T6	T3	NR	Relleno de grietas + Riego de sello + Bacheo superficial
40	SNSNS	T2	NR	T6	T3	T9	Relleno de grietas + Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
41	SSNN	T2	T5	NR	NR	NR	Relleno de grietas + Riego asfáltico
42	SSNS	T2	T5	NR	NR	T9	Relleno de grietas + Riego asfáltico + Renivelación local con mezcla asfáltica
43	SSNSN	T2	T5	NR	T3	NR	Relleno de grietas + Riego asfáltico + Bacheo superficial
44	SSNSS	T2	T5	NR	T3	T9	Relleno de grietas + Riego asfáltico + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
45	SSSN	T2	T5	T6	NR	NR	Relleno de grietas + Riego de sello
46	SSSNS	T2	T5	T6	NR	T9	Relleno de grietas + Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
47	SSSN	T2	T5	T6	T3	NR	Relleno de grietas + Riego de sello + Bacheo superficial
48	SSSNS	T2	T5	T6	T3	T9	Relleno de grietas + Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
49	SNNN	T5	NR	NR	NR	NR	Riego asfáltico
50	SNNNS	T5	NR	NR	NR	T9	Riego asfáltico + Renivelación local con mezcla asfáltica
51	SNSN	T5	NR	NR	T3	NR	Riego asfáltico + Bacheo superficial
52	SNSS	T5	NR	NR	T3	T9	Riego asfáltico + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
53	SNSN	T5	NR	T6	NR	NR	Riego de sello
54	SNSNS	T5	NR	T6	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
55	SNSN	T5	NR	T6	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
56	SNSNS	T5	NR	T6	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
57	SSNN	T5	T5	NR	NR	NR	Riego asfáltico
58	SSNS	T5	T5	NR	NR	T9	Riego asfáltico + Renivelación local con mezcla asfáltica
59	SSNSN	T5	T5	NR	T3	NR	Riego asfáltico + Bacheo superficial
60	SSNSS	T5	T5	NR	T3	T9	Riego asfáltico + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
61	SSSN	T5	T5	T6	NR	NR	Riego de sello
62	SSSNS	T5	T5	T6	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
63	SSSN	T5	T5	T6	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
64	SSSNS	T5	T5	T6	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica

Tabla B.2: Tabla A. Combinación de tratamientos de conservación: Periódica alta (PA).

# Combinación	CÓDIGO	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	COMBINACIÓN DE TRABAJOS REQUERIDOS (Descripción)
1	NNNN	NR	NR	NR	NR	NR	No requiere trabajos
2	NNNS	NR	NR	NR	T9	NR	Renivelación local con mezcla asfáltica
3	NNNS	NR	NR	NR	T3	NR	Bacheo superficial
4	NNSS	NR	NR	NR	T3	T9	Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
5	NNSNN	NR	NR	T7	NR	NR	Fresado superficial
6	NNSNS	NR	NR	T7	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
7	NNSNN	NR	NR	T7	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
8	NSSSS	NR	NR	T7	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
9	NNSNN	NR	NR	T9	NR	NR	Renivelación local con mezcla asfáltica
10	NNSNS	NR	NR	T9	NR	T9	Renivelación local con mezcla asfáltica
11	NSSNN	NR	NR	T9	T3	NR	Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
12	NSSSS	NR	NR	T9	T3	T9	Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
13	NSNNN	NR	T6	NR	NR	NR	Riego de sello
14	NSNSN	NR	T6	NR	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
15	NSNSN	NR	T6	NR	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
16	NSSS	NR	T6	NR	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
17	NSSNN	NR	T6	T7	NR	NR	Riego de sello o Fresado superficial
18	NSSNS	NR	T6	T7	NR	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
19	NSSNN	NR	T6	T7	T3	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
20	NSSSS	NR	T6	T7	T3	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
21	NSSNN	NR	T6	T9	NR	NR	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
22	NSSNS	NR	T6	T9	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
23	NSSNN	NR	T6	T9	T3	NR	Riego de sello o Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
24	NSSSS	NR	T6	T9	T3	T9	Riego de sello o Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
25	NSNNN	NR	T7	NR	NR	NR	Fresado superficial
26	NSNNS	NR	T7	NR	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
27	NSNSN	NR	T7	NR	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
28	NSSS	NR	T7	NR	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
29	NSSNN	NR	T7	T7	NR	NR	Fresado superficial
30	NSSNS	NR	T7	T7	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
31	NSSNN	NR	T7	T7	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
32	NSSSS	NR	T7	T7	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
33	NSSNN	NR	T7	T9	NR	NR	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
34	NSSNS	NR	T7	T9	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
35	NSSNN	NR	T7	T9	T3	NR	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
36	NSSSS	NR	T7	T9	T3	T9	Fresado superficial o Renivelación Local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
37	SNNNN	T6	NR	NR	NR	NR	Riego de sello
38	SNNNS	T6	NR	NR	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
39	SNNNS	T6	NR	NR	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
40	SNNSS	T6	NR	NR	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
41	SNNNN	T6	NR	T7	NR	NR	Riego de sello o Fresado superficial
42	SNSNS	T6	NR	T7	NR	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
43	SNSNS	T6	NR	T7	T3	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
44	SNSSS	T6	NR	T7	T3	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
45	SNSNN	T6	NR	T9	NR	NR	Riego de sello o Renivelación local con mezcla asfáltica
46	SNSNS	T6	NR	T9	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
47	SNSNN	T6	NR	T9	T3	NR	Riego de sello o Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
48	SNSSS	T6	NR	T9	T3	T9	Riego de sello o Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
49	SSNNN	T6	T6	NR	NR	NR	Riego de sello
50	SSNNS	T6	T6	NR	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
51	SSNSN	T6	T6	NR	T3	NR	Riego de sello + Bacheo superficial
52	SSNS	T6	T6	NR	T3	T9	Riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
53	SSSNN	T6	T6	T7	NR	NR	Riego de sello o Fresado superficial
54	SSSNS	T6	T6	T7	NR	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
55	SSSS	T6	T6	T7	T3	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
56	SSSS	T6	T6	T7	T3	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
57	SSSNN	T6	T6	T9	NR	NR	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
58	SSSNS	T6	T6	T9	NR	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
59	SSSSN	T6	T6	T9	T3	NR	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
60	SSSS	T6	T6	T9	T3	T9	Riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
61	SSNNN	T6	T7	NR	NR	NR	Riego de sello o Fresado superficial
62	SSNNS	T6	T7	NR	NR	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
63	SSNSN	T6	T7	NR	T3	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
64	SSNS	T6	T7	NR	T3	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
65	SSSNN	T6	T7	T7	NR	NR	Riego de sello o Fresado superficial
66	SSSNS	T6	T7	T7	NR	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica
67	SSSS	T6	T7	T7	T3	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial
68	SSSS	T6	T7	T7	T3	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
69	SSSNN	T6	T7	T9	NR	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
70	SSSNS	T6	T7	T9	NR	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica

Tabla B.3: Tabla B. Combinación de tratamientos de conservación: Periódica alta (PA).

# Combinación	CÓDIGO	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	COMBINACIÓN DE TRABAJOS REQUERIDOS (Descripción)
71	SSSSN	T6	T7	T9	T3	NR	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
72	SSSSS	T6	T7	T9	T3	T9	Riego de sello o Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
73	SNNNN	T7	NR	NR	NR	NR	Fresado superficial
74	SNNNS	T7	NR	NR	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
75	SNNSS	T7	NR	NR	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
76	SNNSS	T7	NR	NR	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
77	SNSNN	T7	NR	T7	NR	NR	Fresado superficial
78	SNSNS	T7	NR	T7	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
79	SNSNN	T7	NR	T7	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
80	SNSSS	T7	NR	T7	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
81	SNSNN	T7	NR	T9	NR	NR	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
82	SNSNS	T7	NR	T9	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
83	SNSNS	T7	NR	T9	T3	NR	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
84	SNSSS	T7	NR	T9	T3	T9	Fresado superficial + Renivelación Local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
85	SSNNN	T7	T6	NR	NR	NR	Fresado superficial o riego de sello
86	SSNNS	T7	T6	NR	NR	T9	Fresado superficial o riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
87	SSNSN	T7	T6	NR	T3	NR	Fresado superficial o riego de sello + Bacheo superficial
88	SSNSN	T7	T6	NR	T3	T9	Fresado superficial o riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
89	SSSNN	T7	T6	T7	NR	NR	Fresado superficial o riego de sello
90	SSSNS	T7	T6	T7	NR	T9	Fresado superficial o riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
91	SSSSN	T7	T6	T7	T3	NR	Fresado superficial o riego de sello + Bacheo superficial
92	SSSSS	T7	T6	T7	T3	T9	Fresado superficial o riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
93	SSSNN	T7	T6	T9	NR	NR	Fresado superficial, riego de sello, Renivelación local con mezcla asfáltica
94	SSSNS	T7	T6	T9	NR	T9	Fresado superficial, riego de sello + Renivelación local con mezcla asfáltica
95	SSSSN	T7	T6	T9	T3	NR	Fresado superficial, riego de sello, Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
96	SSSSS	T7	T6	T9	T3	T9	Fresado superficial, riego de sello + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
97	SSNNN	T7	T7	NR	NR	NR	Fresado superficial
98	SSNNS	T7	T7	NR	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
99	SSNSN	T7	T7	NR	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
100	SSNSN	T7	T7	NR	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
101	SSSNN	T7	T7	T7	NR	NR	Fresado superficial
102	SSSNS	T7	T7	T7	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
103	SSSSN	T7	T7	T7	T3	NR	Fresado superficial + Bacheo superficial
104	SSSSS	T7	T7	T7	T3	T9	Fresado superficial + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
105	SSSNN	T7	T7	T9	NR	NR	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
106	SSSNS	T7	T7	T9	NR	T9	Fresado superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica
107	SSSSN	T7	T7	T9	T3	NR	Fresado superficial o Renivelación local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial
108	SSSSS	T7	T7	T9	T3	T9	Fresado superficial o Renivelación Local con mezcla asfáltica + Bacheo superficial + Renivelación local con mezcla asfáltica

Tabla B.4: Combinación de tratamientos de conservación: Rehabilitación alta (RA).

# Combinación	CÓDIGO	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	COMBINACIÓN DE TRABAJOS REQUERIDOS (Descripción)
1	NNNN	NR	NR	NR	NR	NR	No requiere trabajos
2	NNNS	NR	NR	NR	NR	T10	Carpeta de mezcla asfáltica
3	NNNS	NR	NR	NR	T4	NR	Bacheo profundo
4	NNSS	NR	NR	NR	T4	T10	Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
5	NNSN	NR	NR	T8	NR	NR	Recorte de capas
6	NSSS	NR	NR	T8	NR	T10	Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica
7	NSSN	NR	NR	T8	T4	NR	Recorte de capas + Bacheo profundo
8	NSSS	NR	NR	T8	T4	T10	Recorte de capas + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
9	NNSN	NR	NR	T11	NR	NR	Estabilización de bases
10	NNSN	NR	NR	T11	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
11	NSSN	NR	NR	T11	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
12	NSSS	NR	NR	T11	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
13	NSNN	NR	T7	NR	NR	NR	Fresado superficial
14	NSNS	NR	T7	NR	NR	T10	Fresado superficial + Carpeta de mezcla asfáltica
15	NSNS	NR	T7	NR	T4	NR	Fresado superficial + Bacheo profundo
16	NSSS	NR	T7	NR	T4	T10	Fresado superficial + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
17	NSSN	NR	T7	T8	NR	NR	Fresado superficial o recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica
18	NSSS	NR	T7	T8	NR	T10	Fresado superficial o Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica
19	NSSN	NR	T7	T8	T4	NR	Fresado superficial o Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo
20	NSSS	NR	T7	T8	T4	T10	Fresado superficial o Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
21	NSSN	NR	T7	T11	NR	NR	Estabilización de bases
22	NSSS	NR	T7	T11	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
23	NSSN	NR	T7	T11	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
24	NSSS	NR	T7	T11	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
25	SNNN	T8	NR	NR	NR	NR	Recorte de capas
26	SNNNS	T8	NR	NR	NR	T10	Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica
27	SNNNS	T8	NR	NR	T4	NR	Recorte de capas + Bacheo profundo
28	SNNSS	T8	NR	NR	T4	T10	Recorte de capas + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
29	SNSN	T8	NR	T8	NR	NR	Recorte de capas
30	SNSNS	T8	NR	T8	NR	T10	Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica
31	SNSN	T8	NR	T8	T4	NR	Recorte de capas + Bacheo profundo
32	SNSSS	T8	NR	T8	T4	T10	Recorte de capas + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
33	SNSN	T8	NR	T11	NR	NR	Estabilización de bases
34	SNSNS	T8	NR	T11	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
35	SNSN	T8	NR	T11	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
36	SNSSS	T8	NR	T11	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
37	SSNN	T8	T7	NR	NR	NR	Recorte de capas o Fresado superficial
38	SSNS	T8	T7	NR	NR	T10	Recorte de capas o Fresado superficial + Carpeta de mezcla asfáltica
39	SSNS	T8	T7	NR	T4	NR	Recorte de capas o Fresado superficial + Bacheo profundo
40	SSSS	T8	T7	NR	T4	T10	Recorte de capas o Fresado superficial + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
41	SSNN	T8	T7	T8	NR	NR	Recorte de capas
42	SSNS	T8	T7	T8	NR	T10	Recorte de capas + Carpeta de mezcla asfáltica
43	SSSN	T8	T7	T8	T4	NR	Recorte de capas + Bacheo profundo
44	SSSS	T8	T7	T8	T4	T10	Recorte de capas + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
45	SSSN	T8	T7	T11	NR	NR	Estabilización de bases
46	SSNS	T8	T7	T11	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
47	SSSN	T8	T7	T11	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
48	SSSS	T8	T7	T11	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
49	SNNN	T11	NR	NR	NR	NR	Estabilización de bases
50	SNNNS	T11	NR	NR	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
51	SNNNS	T11	NR	NR	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
52	SNNSS	T11	NR	NR	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
53	SNSN	T11	NR	T8	NR	NR	Estabilización de bases
54	SNSNS	T11	NR	T8	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
55	SNSN	T11	NR	T8	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
56	SNSSS	T11	NR	T8	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
57	SNSN	T11	NR	T11	NR	NR	Estabilización de bases
58	SNSNS	T11	NR	T11	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
59	SNSN	T11	NR	T11	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
60	SNSSS	T11	NR	T11	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
61	SSNN	T11	T7	NR	NR	NR	Estabilización de bases
62	SSNS	T11	T7	NR	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
63	SSNS	T11	T7	NR	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
64	SSSS	T11	T7	NR	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
65	SSNN	T11	T7	T8	NR	NR	Estabilización de bases
66	SSNS	T11	T7	T8	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
67	SSSN	T11	T7	T8	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
68	SSSS	T11	T7	T8	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica
69	SSSN	T11	T7	T11	NR	NR	Estabilización de bases
70	SSNS	T11	T7	T11	NR	T10	Estabilización de bases + Carpeta de mezcla asfáltica
71	SSSN	T11	T7	T11	T4	NR	Estabilización de bases + Bacheo profundo
72	SSSS	T11	T7	T11	T4	T10	Estabilización de bases + Bacheo profundo + Carpeta de mezcla asfáltica

Tabla B.5: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
1	L	L	L	L	L	L	NC	71	L	LR	R	H	R	RH	RB
2	L	L	L	L	R	L	NC	72	L	LR	R	H	H	RH	RB
3	L	L	L	L	H	LR	PB	73	L	LR	RH	L	L	RH	RB
4	L	L	L	R	L	LR	PB	74	L	LR	RH	L	R	RH	RB
5	L	L	L	R	R	R	PB	75	L	LR	RH	L	H	RH	RB
6	L	L	L	R	H	R	PB	76	L	LR	RH	R	L	RH	RB
7	L	L	L	H	L	R	RB	77	L	LR	RH	R	R	RH	RB
8	L	L	L	H	R	RH	RB	78	L	LR	RH	R	H	RH	RB
9	L	L	L	H	H	RH	RB	79	L	LR	RH	H	L	RH	RB
10	L	L	LR	L	L	LR	PB	80	L	LR	RH	H	R	RH	RB
11	L	L	LR	L	R	LR	PB	81	L	LR	RH	H	H	RH	RA
12	L	L	LR	L	H	LR	PB	82	L	LR	H	L	L	RH	RA
13	L	L	LR	R	L	LR	PB	83	L	LR	H	L	R	RH	RA
14	L	L	LR	R	R	R	PB	84	L	LR	H	L	H	H	RA
15	L	L	LR	R	H	R	PB	85	L	LR	H	R	L	H	RA
16	L	L	LR	H	L	R	RB	86	L	LR	H	R	R	H	RA
17	L	L	LR	H	R	R	RB	87	L	LR	H	R	H	H	RA
18	L	L	LR	H	H	R	RB	88	L	LR	H	H	L	H	RA
19	L	L	R	L	L	LR	PA	89	L	LR	H	H	R	H	RA
20	L	L	R	L	R	R	PA	90	L	LR	H	H	H	H	RA
21	L	L	R	L	H	R	PA	91	L	R	L	L	L	LR	PB
22	L	L	R	R	L	R	PA	92	L	R	L	L	R	LR	PB
23	L	L	R	R	R	R	PA	93	L	R	L	L	H	R	PB
24	L	L	R	R	H	R	PA	94	L	R	L	R	L	R	PB
25	L	L	R	H	L	R	RB	95	L	R	L	R	R	R	PB
26	L	L	R	H	R	R	RB	96	L	R	L	R	H	R	PB
27	L	L	R	H	H	RH	RB	97	L	R	L	H	L	R	RB
28	L	L	RH	L	L	R	RB	98	L	R	L	H	R	R	RB
29	L	L	RH	L	R	R	RB	99	L	R	L	H	H	R	RB
30	L	L	RH	L	H	RH	RB	100	L	R	LR	L	L	R	PB
31	L	L	RH	R	L	R	RB	101	L	R	LR	L	R	R	PB
32	L	L	RH	R	R	RH	RB	102	L	R	LR	L	H	R	PB
33	L	L	RH	R	H	RH	RB	103	L	R	LR	R	L	R	PB
34	L	L	RH	H	L	RH	RA	104	L	R	LR	R	R	R	PA
35	L	L	RH	H	R	RH	RA	105	L	R	LR	R	H	R	PA
36	L	L	RH	H	H	RH	RA	106	L	R	LR	H	L	RH	RB
37	L	L	H	L	L	RH	RA	107	L	R	LR	H	R	RH	RB
38	L	L	H	L	R	RH	RA	108	L	R	LR	H	H	RH	RB
39	L	L	H	L	H	RH	RA	109	L	R	R	L	L	R	PA
40	L	L	H	R	L	RH	RA	110	L	R	R	L	R	R	PA
41	L	L	H	R	R	RH	RA	111	L	R	R	L	H	R	PA
42	L	L	H	R	H	RH	RA	112	L	R	R	R	L	R	PA
43	L	L	H	H	L	RH	RA	113	L	R	R	R	R	R	PA
44	L	L	H	H	R	RH	RA	114	L	R	R	R	H	R	PA
45	L	L	H	H	H	RH	RA	115	L	R	R	H	L	RH	RB
46	L	LR	L	L	L	L	NC	116	L	R	R	H	R	RH	RB
47	L	LR	L	L	R	LR	NC	117	L	R	R	H	H	RH	RB
48	L	LR	L	L	H	LR	PB	118	L	R	RH	L	L	RH	RB
49	L	LR	L	R	L	LR	PB	119	L	R	RH	L	R	RH	RB
50	L	LR	L	R	R	LR	PB	120	L	R	RH	L	H	RH	RB
51	L	LR	L	R	H	LR	PB	121	L	R	RH	R	L	RH	RB
52	L	LR	L	H	L	LR	RB	122	L	R	RH	R	R	RH	RB
53	L	LR	L	H	R	LR	RB	123	L	R	RH	R	H	RH	RB
54	L	LR	L	H	H	R	RB	124	L	R	RH	H	L	RH	RB
55	L	LR	LR	L	L	LR	PB	125	L	R	RH	H	R	RH	RB
56	L	LR	LR	L	R	LR	PB	126	L	R	RH	H	H	H	RB
57	L	LR	LR	L	H	LR	PB	127	L	R	H	L	L	RH	RA
58	L	LR	LR	R	L	LR	PB	128	L	R	H	L	R	RH	RA
59	L	LR	LR	R	R	R	PB	129	L	R	H	L	H	RH	RA
60	L	LR	LR	R	H	R	PB	130	L	R	H	R	L	RH	RA
61	L	LR	LR	H	L	R	RB	131	L	R	H	R	R	H	RA
62	L	LR	LR	H	R	R	RB	132	L	R	H	R	H	H	RA
63	L	LR	LR	H	H	RH	RB	133	L	R	H	H	L	H	RA
64	L	LR	R	L	L	R	PA	134	L	R	H	H	R	H	RA
65	L	LR	R	L	R	R	PA	135	L	R	H	H	H	H	RA
66	L	LR	R	L	H	R	PA	136	L	RH	L	L	L	R	PA
67	L	LR	R	R	L	R	PA	137	L	RH	L	L	R	R	PA
68	L	LR	R	R	R	R	PA	138	L	RH	L	L	H	R	PA
69	L	LR	R	R	H	R	PA	139	L	RH	L	R	L	R	PA
70	L	LR	R	H	L	RH	RB	140	L	RH	L	R	R	R	PA

Tabla B.6: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
141	L	RH	L	R	H	R	PA	211	L	H	RH	R	L	H	RB
142	L	RH	L	H	L	RH	RB	212	L	H	RH	R	R	H	RB
143	L	RH	L	H	R	RH	RB	213	L	H	RH	R	H	H	RB
144	L	RH	L	H	H	RH	RB	214	L	H	RH	H	L	H	RB
145	L	RH	LR	L	L	R	PA	215	L	H	RH	H	R	H	RB
146	L	RH	LR	L	R	R	PA	216	L	H	RH	H	H	H	RB
147	L	RH	LR	L	H	R	PA	217	L	H	H	L	L	H	RA
148	L	RH	LR	R	L	R	PA	218	L	H	H	L	R	H	RA
149	L	RH	LR	R	R	R	PA	219	L	H	H	L	H	H	RA
150	L	RH	LR	R	H	R	PA	220	L	H	H	R	L	H	RA
151	L	RH	LR	H	L	R	RB	221	L	H	H	R	R	H	RA
152	L	RH	LR	H	R	RH	RB	222	L	H	H	R	H	H	RA
153	L	RH	LR	H	H	RH	RB	223	L	H	H	H	L	H	RA
154	L	RH	R	L	L	R	PA	224	L	H	H	H	R	H	RA
155	L	RH	R	L	R	R	PA	225	L	H	H	H	H	H	RA
156	L	RH	R	L	H	RH	PA	226	LR	L	L	L	L	LR	PB
157	L	RH	R	R	L	RH	PA	227	LR	L	L	L	R	LR	PB
158	L	RH	R	R	R	RH	PA	228	LR	L	L	L	H	LR	PA
159	L	RH	R	R	H	RH	PA	229	LR	L	L	R	L	LR	PA
160	L	RH	R	H	L	RH	RB	230	LR	L	L	R	R	LR	PA
161	L	Rh	R	H	R	RH	RB	231	LR	L	L	R	H	LR	PA
162	L	RH	R	H	H	RH	RB	232	LR	L	L	H	L	LR	RB
163	L	RH	RH	L	L	RH	RB	233	LR	L	L	H	R	LR	RB
164	L	RH	RH	L	R	RH	RB	234	LR	L	L	H	H	R	RB
165	L	RH	RH	L	H	RH	RB	235	LR	L	LR	L	L	LR	PB
166	L	RH	RH	R	L	RH	RB	236	LR	L	LR	L	R	LR	PB
167	L	RH	RH	R	R	RH	RB	237	LR	L	LR	L	H	LR	PA
168	L	RH	RH	R	H	RH	RB	238	LR	L	LR	R	L	LR	PA
169	L	RH	RH	H	L	RH	RB	239	LR	L	LR	R	R	R	PA
170	L	RH	RH	H	R	H	RB	240	LR	L	LR	R	H	R	PA
171	L	RH	RH	H	H	H	RB	241	LR	L	LR	H	L	R	RB
172	L	RH	H	L	L	RH	RA	242	LR	L	LR	H	R	R	RB
173	L	RH	H	L	R	RH	RA	243	LR	L	LR	H	H	R	RB
174	L	RH	H	L	H	RH	RA	244	LR	L	R	L	L	R	PA
175	L	RH	H	R	L	RH	RA	245	LR	L	R	L	R	R	PA
176	L	RH	H	R	R	H	RA	246	LR	L	R	L	H	R	PA
177	L	RH	H	R	H	H	RA	247	LR	L	R	R	L	R	RB
178	L	RH	H	H	L	H	RA	248	LR	L	R	R	R	R	RB
179	L	RH	H	H	R	H	RA	249	LR	L	R	R	H	R	RB
180	L	RH	H	H	H	H	RA	250	LR	L	R	H	L	R	RB
181	L	H	L	L	L	RH	PA	251	LR	L	R	H	R	R	RB
182	L	H	L	L	R	RH	PA	252	LR	L	R	H	H	RH	RB
183	L	H	L	L	H	RH	PA	253	LR	L	RH	L	L	RH	RB
184	L	H	L	R	L	RH	PA	254	LR	L	RH	L	R	RH	RB
185	L	H	L	R	R	RH	PA	255	LR	L	RH	L	H	RH	RB
186	L	H	L	R	H	RH	PA	256	LR	L	RH	R	L	RH	RB
187	L	H	L	H	L	RH	RB	257	LR	L	RH	R	R	RH	RB
188	L	H	L	H	R	RH	RB	258	LR	L	RH	R	H	RH	RB
189	L	H	L	H	H	H	RB	259	LR	L	RH	H	L	RH	RB
190	L	H	LR	L	L	RH	PA	260	LR	L	RH	H	R	RH	RB
191	L	H	LR	L	R	RH	PA	261	LR	L	RH	H	H	H	RB
192	L	H	LR	L	H	RH	PA	262	LR	L	H	L	L	H	RA
193	L	H	LR	R	L	RH	PA	263	LR	L	H	L	R	H	RA
194	L	H	LR	R	R	RH	PA	264	LR	L	H	L	H	H	RA
195	L	H	LR	R	H	Rh	PA	265	LR	L	H	R	L	H	RA
196	L	H	LR	H	L	RH	RB	266	LR	L	H	R	R	H	RA
197	L	H	LR	H	R	RH	RB	267	LR	L	H	R	H	H	RA
198	L	H	LR	H	H	H	RB	268	LR	L	H	H	L	H	RA
199	L	H	R	L	L	RH	PA	269	LR	L	H	H	R	H	RA
200	L	H	R	L	R	RH	PA	270	LR	L	H	H	H	H	RA
201	L	H	R	L	H	RH	PA	271	LR	LR	L	L	L	LR	PA
202	L	H	R	R	L	RH	PA	272	LR	LR	L	L	R	LR	PA
203	L	H	R	R	R	RH	PA	273	LR	LR	L	L	H	LR	PA
204	L	H	R	R	H	RH	PA	274	LR	LR	L	R	L	LR	PA
205	L	H	R	H	L	RH	RB	275	LR	LR	L	R	R	R	PA
206	L	H	R	H	R	H	RB	276	LR	LR	L	R	H	R	PA
207	L	H	R	H	H	H	RB	277	LR	LR	L	H	L	R	RB
208	L	H	RH	L	L	H	RB	278	LR	LR	L	H	R	R	RB
209	L	H	RH	L	R	H	RB	279	LR	LR	L	H	H	RH	RB
210	L	H	RH	L	H	H	RB	280	LR	LR	LR	L	L	LR	PA

Tabla B.7: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
281	LR	LR	LR	L	R	LR	PA	351	LR	R	RH	H	H	H	RB
282	LR	LR	LR	L	H	LR	PA	352	LR	R	H	L	L	RH	RA
283	LR	LR	LR	R	L	R	PA	353	LR	R	H	L	R	H	RA
284	LR	LR	LR	R	R	R	PA	354	LR	R	H	L	H	H	RA
285	LR	LR	LR	R	H	R	PA	355	LR	R	H	R	L	H	RA
286	LR	LR	LR	H	L	R	RB	356	LR	R	H	R	R	H	RA
287	LR	LR	LR	H	R	RH	RB	357	LR	R	H	R	H	H	RA
288	LR	LR	LR	H	H	RH	RB	358	LR	R	H	H	L	H	RA
289	LR	LR	R	L	L	R	RB	359	LR	R	H	H	R	H	RA
290	LR	LR	R	L	R	R	RB	360	LR	R	H	H	H	H	RA
291	LR	LR	R	L	H	R	RB	361	LR	RH	L	L	L	R	PA
292	LR	LR	R	R	L	R	RB	362	LR	RH	L	L	R	R	PA
293	LR	LR	R	R	R	R	RB	363	LR	RH	L	L	H	R	PA
294	LR	LR	R	R	H	R	RB	364	LR	RH	L	R	L	R	PA
295	LR	LR	R	H	L	RH	RB	365	LR	RH	L	R	R	R	PA
296	LR	LR	R	H	R	RH	RB	366	LR	RH	L	R	H	R	PA
297	LR	LR	R	H	H	RH	RB	367	LR	RH	L	H	L	R	RB
298	LR	LR	RH	L	L	RH	RB	368	LR	RH	L	H	R	RH	RB
299	LR	LR	RH	L	R	RH	RB	369	LR	RH	L	H	H	RH	RB
300	LR	LR	RH	L	H	RH	RB	370	LR	RH	LR	L	L	R	PA
301	LR	LR	RH	R	L	RH	RB	371	LR	RH	LR	L	R	R	PA
302	LR	LR	RH	R	R	RH	RB	372	LR	RH	LR	L	H	RH	PA
303	LR	LR	RH	R	H	RH	RB	373	LR	RH	LR	R	L	RH	PA
304	LR	LR	RH	H	L	RH	RB	374	LR	RH	LR	R	R	RH	PA
305	LR	LR	RH	H	R	RH	RB	375	LR	RH	LR	R	H	RH	PA
306	LR	LR	RH	H	H	H	RB	376	LR	RH	LR	H	L	RH	RB
307	LR	LR	H	L	L	RH	RA	377	LR	RH	LR	H	R	RH	RB
308	LR	LR	H	L	R	RH	RA	378	LR	RH	LR	H	H	H	RB
309	LR	LR	H	L	H	H	RA	379	LR	RH	R	L	L	RH	RB
310	LR	LR	H	R	L	H	RA	380	LR	RH	R	L	R	RH	RB
311	LR	LR	H	R	R	H	RA	381	LR	RH	R	L	H	RH	RB
312	LR	LR	H	R	H	H	RA	382	LR	RH	R	R	L	RH	RB
313	LR	LR	H	H	L	H	RA	383	LR	RH	R	R	R	RH	RB
314	LR	LR	H	H	R	H	RA	384	LR	RH	R	R	H	RH	RB
315	LR	LR	H	H	H	H	RA	385	LR	RH	R	H	L	RH	RB
316	LR	R	L	L	L	LR	PA	386	LR	RH	R	H	R	RH	RB
317	LR	R	L	L	R	LR	PA	387	LR	RH	R	H	H	H	RB
318	LR	R	L	L	H	LR	PA	388	LR	RH	RH	L	L	RH	RB
319	LR	R	L	R	L	R	PA	389	LR	RH	RH	L	R	RH	RB
320	LR	R	L	R	R	R	PA	390	LR	RH	RH	L	H	RH	RB
321	LR	R	L	R	H	R	PA	391	LR	RH	RH	R	L	RH	RB
322	LR	R	L	H	L	R	RB	392	LR	RH	RH	R	R	RH	RB
323	LR	R	L	H	R	R	RB	393	LR	RH	RH	R	H	RH	RB
324	LR	R	L	H	H	RH	RB	394	LR	RH	RH	H	L	RH	RB
325	LR	R	LR	L	L	LR	PA	395	LR	RH	RH	H	R	H	RB
326	LR	R	LR	L	R	LR	PA	396	LR	RH	RH	H	H	H	RB
327	LR	R	LR	L	H	R	PA	397	LR	RH	H	L	L	H	RA
328	LR	R	LR	R	L	R	PA	398	LR	RH	H	L	R	H	RA
329	LR	R	LR	R	R	R	PA	399	LR	RH	H	L	H	H	RA
330	LR	R	LR	R	H	R	PA	400	LR	RH	H	R	L	H	RA
331	LR	R	LR	H	L	R	RB	401	LR	RH	H	R	R	H	RA
332	LR	R	LR	H	R	RH	RB	402	LR	RH	H	R	H	H	RA
333	LR	R	LR	H	H	RH	RB	403	LR	RH	H	H	L	H	RA
334	LR	R	R	L	L	R	RB	404	LR	RH	H	H	R	H	RA
335	LR	R	R	L	R	R	RB	405	LR	RH	H	H	H	H	RA
336	LR	R	R	L	H	R	RB	406	LR	H	L	L	L	RH	PA
337	LR	R	R	R	L	R	RB	407	LR	H	L	L	R	RH	PA
338	LR	R	R	R	R	R	RB	408	LR	H	L	L	H	RH	PA
339	LR	R	R	R	H	RH	RB	409	LR	H	L	R	L	RH	PA
340	LR	R	R	H	L	RH	RB	410	LR	H	L	R	R	RH	PA
341	LR	R	R	H	R	RH	RB	411	LR	H	L	R	H	RH	PA
342	LR	R	R	H	H	RH	RB	412	LR	H	L	H	L	RH	RB
343	LR	R	RH	L	L	RH	RB	413	LR	H	L	H	R	H	RB
344	LR	R	RH	L	R	RH	RB	414	LR	H	L	H	H	H	RB
345	LR	R	RH	L	H	RH	RB	415	LR	H	LR	L	L	RH	PA
346	LR	R	RH	R	L	RH	RB	416	LR	H	LR	L	R	RH	PA
347	LR	R	RH	R	R	RH	RB	417	LR	H	LR	L	H	RH	PA
348	LR	R	RH	R	H	RH	RB	418	LR	H	LR	R	L	RH	PA
349	LR	R	RH	H	L	RH	RB	419	LR	H	LR	R	R	RH	PA
350	LR	R	RH	H	R	RH	RB	420	LR	H	LR	R	H	RH	PA

Tabla B.8: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
421	LR	H	LR	H	L	RH	RB	491	R	L	H	R	R	H	RA
422	LR	H	LR	H	R	H	RB	492	R	L	H	R	H	H	RA
423	LR	H	LR	H	H	H	RB	493	R	L	H	H	L	H	RA
424	LR	H	R	L	L	RH	RB	494	R	L	H	H	R	H	RA
425	LR	H	R	L	R	RH	RB	495	R	L	H	H	H	H	RA
426	LR	H	R	L	H	RH	RB	496	R	LR	L	L	L	R	PA
427	LR	H	R	R	L	RH	RB	497	R	LR	L	L	R	R	PA
428	LR	H	R	R	R	RH	RB	498	R	LR	L	L	H	R	PA
429	LR	H	R	R	H	RH	RB	499	R	LR	L	R	L	R	PA
430	LR	H	R	H	L	RH	RB	500	R	LR	L	R	R	R	PA
431	LR	H	R	H	R	H	RB	501	R	LR	L	R	H	R	PA
432	LR	H	R	H	H	H	RB	502	R	LR	L	H	L	R	RB
433	LR	H	RH	L	L	RH	RB	503	R	LR	L	H	R	RH	RB
434	LR	H	RH	L	R	RH	RB	504	R	LR	L	H	H	RH	RB
435	LR	H	RH	L	H	RH	RB	505	R	LR	LR	L	L	R	PA
436	LR	H	RH	R	L	RH	RB	506	R	LR	LR	L	R	R	PA
437	LR	H	RH	R	R	RH	RB	507	R	LR	LR	L	H	R	PA
438	LR	H	RH	R	H	H	RB	508	R	LR	LR	R	L	R	PA
439	LR	H	RH	H	L	H	RB	509	R	LR	LR	R	R	R	PA
440	LR	H	RH	H	R	H	RB	510	R	LR	LR	R	H	R	PA
441	LR	H	RH	H	H	H	RB	511	R	LR	LR	H	L	RH	RB
442	LR	H	H	L	L	H	RA	512	R	LR	LR	H	R	RH	RB
443	LR	H	H	L	R	H	RA	513	R	LR	LR	H	H	RH	RB
444	LR	H	H	L	H	H	RA	514	R	LR	R	L	L	R	PA
445	LR	H	H	R	L	H	RA	515	R	LR	R	L	R	R	PA
446	LR	H	H	R	R	H	RA	516	R	LR	R	L	H	R	PA
447	LR	H	H	R	H	H	RA	517	R	LR	R	R	L	R	PA
448	LR	H	H	H	L	H	RA	518	R	LR	R	R	R	R	PA
449	LR	H	H	H	R	H	RA	519	R	LR	R	R	H	R	PA
450	LR	H	H	H	H	H	RA	520	R	LR	R	H	L	R	RB
451	R	L	L	L	L	R	PA	521	R	LR	R	H	R	RH	RB
452	R	L	L	L	R	R	PA	522	R	LR	R	H	H	RH	RB
453	R	L	L	L	H	R	PA	523	R	LR	RH	L	L	RH	RB
454	R	L	L	R	L	R	PA	524	R	LR	RH	L	R	RH	RB
455	R	L	L	R	R	R	PA	525	R	LR	RH	L	H	RH	RB
456	R	L	L	R	H	R	PA	526	R	LR	RH	R	L	RH	RB
457	R	L	L	H	L	R	RB	527	R	LR	RH	R	R	RH	RB
458	R	L	L	H	R	R	RB	528	R	LR	RH	R	H	RH	RB
459	R	L	L	H	H	R	RB	529	R	LR	RH	H	L	RH	RB
460	R	L	LR	L	L	R	PA	530	R	LR	RH	H	R	RH	RB
461	R	L	LR	L	R	R	PA	531	R	LR	RH	H	H	RH	RB
462	R	L	LR	L	H	R	PA	532	R	LR	H	L	L	RH	RA
463	R	L	LR	R	L	R	PA	533	R	LR	H	L	R	RH	RA
464	R	L	LR	R	R	R	PA	534	R	LR	H	L	H	RH	RA
465	R	L	LR	R	H	RH	PA	535	R	LR	H	R	L	H	RA
466	R	L	LR	H	L	RH	RB	536	R	LR	H	R	R	H	RA
467	R	L	LR	H	R	RH	RB	537	R	LR	H	R	H	H	RA
468	R	L	LR	H	H	RH	RB	538	R	LR	H	H	L	H	RA
469	R	L	R	L	L	R	PA	539	R	LR	H	H	R	H	RA
470	R	L	R	L	R	R	PA	540	R	LR	H	H	H	H	RA
471	R	L	R	L	H	R	PA	541	R	R	L	L	L	R	PA
472	R	L	R	R	L	R	PA	542	R	R	L	L	R	R	PA
473	R	L	R	R	R	R	PA	543	R	R	L	L	H	R	PA
474	R	L	R	R	H	R	PA	544	R	R	L	R	L	R	PA
475	R	L	R	H	L	R	RB	545	R	R	L	R	R	R	PA
476	R	L	R	H	R	RH	RB	546	R	R	L	R	H	R	PA
477	R	L	R	H	H	RH	RB	547	R	R	L	H	L	R	RB
478	R	L	RH	L	L	RH	RB	548	R	R	L	H	R	RH	RB
479	R	L	RH	L	R	RH	RB	549	R	R	L	H	H	RH	RB
480	R	L	RH	L	H	RH	RB	550	R	R	LR	L	L	R	PA
481	R	L	RH	R	L	RH	RB	551	R	R	LR	L	R	R	PA
482	R	L	RH	R	R	RH	RB	552	R	R	LR	L	H	R	PA
483	R	L	RH	R	H	RH	RB	553	R	R	LR	R	L	R	PA
484	R	L	RH	H	L	RH	RB	554	R	R	LR	R	R	R	PA
485	R	L	RH	H	R	H	RB	555	R	R	LR	R	H	R	PA
486	R	L	RH	H	H	H	RB	556	R	R	LR	H	L	R	RB
487	R	L	H	L	L	H	RA	557	R	R	LR	H	R	RH	RB
488	R	L	H	L	R	H	RA	558	R	R	LR	H	H	RH	RB
489	R	L	H	L	H	H	RA	559	R	R	R	L	L	R	PA
490	R	L	H	R	L	H	RA	560	R	R	R	L	R	R	PA

Tabla B.9: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
561	R	R	R	L	H	R	PA	631	R	H	L	L	L	RH	PA
562	R	R	R	R	L	R	PA	632	R	H	L	L	R	RH	PA
563	R	R	R	R	R	R	PA	633	R	H	L	L	H	RH	PA
564	R	R	R	R	H	RH	PA	634	R	H	L	R	L	RH	PA
565	R	R	R	H	L	RH	RB	635	R	H	L	R	R	RH	PA
566	R	R	R	H	R	RH	RB	636	R	H	L	R	H	RH	PA
567	R	R	R	H	H	RH	RB	637	R	H	L	H	L	Rh	RB
568	R	R	RH	L	L	RH	RB	638	R	H	L	H	R	H	RB
569	R	R	RH	L	R	RH	RB	639	R	H	L	H	H	H	RB
570	R	R	RH	L	H	RH	RB	640	R	H	LR	L	L	RH	PA
571	R	R	RH	R	L	RH	RB	641	R	H	LR	L	R	RH	PA
572	R	R	RH	R	R	RH	RB	642	R	H	LR	L	H	RH	PA
573	R	R	RH	R	H	RH	RB	643	R	H	LR	R	L	RH	PA
574	R	R	RH	H	L	RH	RB	644	R	H	LR	R	R	RH	PA
575	R	R	RH	H	R	RH	RB	645	R	H	LR	R	H	RH	PA
576	R	R	RH	H	H	H	RB	646	R	H	LR	H	L	H	RB
577	R	R	H	L	L	H	RA	647	R	H	LR	H	R	H	RB
578	R	R	H	L	R	H	RA	648	R	H	LR	H	H	H	RB
579	R	R	H	L	H	H	RA	649	R	H	R	L	L	RH	PA
580	R	R	H	R	L	H	RA	650	R	H	R	L	R	RH	PA
581	R	R	H	R	R	H	RAS	651	R	H	R	L	H	RH	PA
582	R	R	H	R	H	H	RA	652	R	H	R	R	L	RH	PA
583	R	R	H	H	L	H	RA	653	R	H	R	R	R	RH	PA
584	R	R	H	H	R	H	RA	654	R	H	R	R	H	H	PA
585	R	R	H	H	H	H	RA	655	R	H	R	H	L	H	RB
586	R	RH	L	L	L	R	PA	656	R	H	R	H	R	H	RB
587	R	RH	L	L	R	R	PA	657	R	H	R	H	H	H	RB
588	R	RH	L	L	H	R	PA	658	R	H	RH	L	L	RH	RB
589	R	RH	L	R	L	R	PA	659	R	H	RH	L	R	RH	RB
590	R	RH	L	R	R	R	PA	660	R	H	RH	L	H	RH	RB
591	R	RH	L	R	H	RH	PA	661	R	H	RH	R	L	RH	RB
592	R	RH	L	H	L	RH	RB	662	R	H	RH	R	R	RH	RB
593	R	RH	L	H	R	RH	RB	663	R	H	RH	R	H	H	RB
594	R	RH	L	H	H	RH	RB	664	R	H	RH	H	L	H	RB
595	R	RH	LR	L	L	R	PA	665	R	H	RH	H	R	H	RB
596	R	RH	LR	L	R	R	PA	666	R	H	RH	H	H	H	RB
597	R	RH	LR	L	H	R	PA	667	R	H	H	L	L	H	RA
598	R	RH	LR	R	L	R	PA	668	R	H	H	L	R	H	RA
599	R	RH	LR	R	R	R	PA	669	R	H	H	L	H	H	RA
600	R	RH	LR	R	H	R	PA	670	R	H	H	R	L	H	RA
601	R	RH	LR	H	L	RH	RB	671	R	H	H	R	R	H	RA
602	R	RH	LR	H	R	RH	RB	672	R	H	H	R	H	H	RA
603	R	RH	LR	H	H	RH	RB	673	R	H	H	H	L	H	RA
604	R	RH	R	L	L	RH	PA	674	R	H	H	H	R	H	RA
605	R	RH	R	L	R	RH	PA	675	R	H	H	H	H	H	RA
606	R	RH	R	L	H	RH	PA	676	RH	L	L	L	L	RH	RB
607	R	RH	R	R	L	RH	PA	677	RH	L	L	L	R	RH	RB
608	R	RH	R	R	R	RH	PA	678	RH	L	L	L	H	RH	RB
609	R	RH	R	R	H	RH	PA	679	RH	L	L	R	L	RH	RB
610	R	RH	R	H	L	Rh	RB	680	RH	L	L	R	R	RH	RB
611	R	RH	R	H	R	Rh	RB	681	RH	L	L	R	H	RH	RB
612	R	RH	R	H	H	H	RB	682	RH	L	L	H	L	RH	RA
613	R	RH	RH	L	L	RH	RB	683	RH	L	L	H	R	RH	RA
614	R	RH	RH	L	R	RH	RB	684	RH	L	L	H	H	H	RA
615	R	RH	RH	L	H	RH	RB	685	RH	L	LR	L	L	RH	RB
616	R	RH	RH	R	L	RH	RB	686	RH	L	LR	L	R	RH	RB
617	R	RH	RH	R	R	RH	RB	687	RH	L	LR	L	H	RH	RB
618	R	RH	RH	R	H	RH	RB	688	RH	L	LR	R	L	RH	RB
619	R	RH	RH	H	L	RH	RB	689	RH	L	LR	R	R	RH	RB
620	R	RH	RH	H	R	H	RB	690	RH	L	LR	R	H	RH	RB
621	R	RH	RH	H	H	H	RB	691	RH	L	LR	H	L	RH	RA
622	R	RH	H	L	L	H	RA	692	RH	L	LR	H	R	H	RA
623	R	RH	H	L	R	H	RA	693	RH	L	LR	H	H	H	RA
624	R	RH	H	L	H	H	RA	694	RH	L	R	L	L	RH	RB
625	R	RH	H	R	L	H	RA	695	RH	L	R	L	R	RH	RB
626	R	RH	H	R	R	H	RA	696	RH	L	R	L	H	RH	RB
627	R	RH	H	R	H	H	RA	697	RH	L	R	R	L	RH	RB
628	R	RH	H	H	L	H	RA	698	RH	L	R	R	R	RH	RB
629	R	RH	H	H	R	H	RA	699	RH	L	R	R	H	RH	RB
630	R	RH	H	H	H	H	RA	700	RH	L	R	H	L	RH	RA

Tabla B.10: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
701	RH	L	R	H	R	H	RA	771	RH	R	L	R	H	RH	RB
702	RH	L	R	H	H	H	RA	772	RH	R	L	H	L	RH	RA
703	RH	L	RH	L	L	RH	RA	773	RH	R	L	H	R	RH	RA
704	RH	L	RH	L	R	RH	RA	774	RH	R	L	H	H	RH	RA
705	RH	L	RH	L	H	RH	RA	775	RH	R	LR	L	L	RH	RB
706	RH	L	RH	R	L	RH	RA	776	RH	R	LR	L	R	RH	RB
707	RH	L	RH	R	R	RH	RA	777	RH	R	LR	L	H	RH	RB
708	RH	L	RH	R	H	H	RA	778	RH	R	LR	R	L	RH	RB
709	RH	L	RH	H	L	H	RA	779	RH	R	LR	R	R	RH	RB
710	RH	L	RH	H	R	H	RA	780	RH	R	LR	R	H	RH	RB
711	RH	L	RH	H	H	H	RA	781	RH	R	LR	H	L	RH	RA
712	RH	L	H	L	L	H	RA	782	RH	R	LR	H	R	H	RA
713	RH	L	H	L	R	H	RA	783	RH	R	LR	H	H	H	RA
714	RH	L	H	L	H	H	RA	784	RH	R	R	L	L	RH	RB
715	RH	L	H	R	L	H	RA	785	RH	R	R	L	R	RH	RB
716	RH	L	H	R	R	H	RA	786	RH	R	R	L	H	RH	RB
717	RH	L	H	R	H	H	RA	787	RH	R	R	R	L	RH	RB
718	RH	L	H	H	L	H	RA	788	RH	R	R	R	R	RH	RB
719	RH	L	H	H	R	H	RA	789	RH	R	R	R	H	H	RB
720	RH	L	H	H	H	H	RA	790	RH	R	R	H	L	H	RA
721	RH	LR	L	L	L	RH	RB	791	RH	R	R	H	R	H	RA
722	RH	LR	L	L	R	RH	RB	792	RH	R	R	H	H	H	RA
723	RH	LR	L	L	H	RH	RB	793	RH	R	RH	L	L	RH	RA
724	RH	LR	L	R	L	RH	RB	794	RH	R	RH	L	R	RH	RA
725	RH	LR	L	R	R	RH	RB	795	RH	R	RH	L	H	RH	RA
726	RH	LR	L	R	H	RH	RB	796	RH	R	Rh	R	L	RH	RA
727	RH	LR	L	H	L	RH	RA	797	RH	R	Rh	R	R	RH	RA
728	RH	LR	L	H	R	RH	RA	798	RH	R	Rh	R	H	RH	RA
729	RH	LR	L	H	H	H	RA	799	RH	R	RH	H	L	H	RA
730	RH	LR	LR	L	L	RH	RB	800	RH	R	RH	H	R	H	RA
731	RH	LR	LR	L	R	RH	RB	801	RH	R	RH	H	H	H	RA
732	RH	LR	LR	L	H	RH	RB	802	RH	R	H	L	L	H	RA
733	RH	LR	LR	R	L	RH	RB	803	RH	R	H	L	R	H	RA
734	RH	LR	LR	R	R	RH	RB	804	RH	R	H	L	H	H	RA
735	RH	LR	LR	R	H	RH	RB	805	RH	R	H	R	L	H	RA
736	RH	LR	LR	H	L	RH	RA	806	RH	R	H	R	R	H	RA
737	RH	LR	LR	H	R	H	RA	807	RH	R	H	R	H	H	RA
738	RH	LR	LR	H	H	H	RA	808	RH	R	H	H	L	H	RA
739	RH	LR	R	L	L	RH	RB	809	RH	R	H	H	R	H	RA
740	RH	LR	R	L	R	RH	RB	810	RH	R	H	H	H	H	RA
741	RH	LR	R	L	H	RH	RB	811	RH	RH	L	L	L	RH	RB
742	RH	LR	R	R	L	RH	RB	812	RH	RH	L	L	R	RH	RB
743	RH	LR	R	R	R	RH	RB	813	RH	RH	L	L	H	RH	RB
744	RH	LR	R	R	H	RH	RB	814	RH	RH	L	R	L	RH	RB
745	RH	LR	R	H	L	RH	RA	815	RH	RH	L	R	R	RH	RB
746	RH	LR	R	H	R	RH	RA	816	RH	RH	L	R	H	RH	RB
747	RH	LR	R	H	H	H	RA	817	RH	RH	L	H	L	H	RA
748	RH	LR	RH	L	L	RH	RA	818	RH	RH	L	H	R	H	RA
749	RH	LR	RH	L	R	RH	RA	819	RH	RH	L	H	H	H	RA
750	RH	LR	RH	L	H	RH	RA	820	RH	RH	LR	L	L	RH	RB
751	RH	LR	RH	R	L	RH	RA	821	RH	RH	LR	L	R	RH	RB
752	RH	LR	RH	R	R	RH	RA	822	RH	RH	LR	L	H	RH	RB
753	RH	LR	RH	R	H	H	RA	823	RH	RH	LR	R	L	RH	RB
754	RH	LR	RH	H	L	H	RA	824	RH	RH	LR	R	R	RH	RB
755	RH	LR	RH	H	R	H	RA	825	RH	RH	LR	R	H	H	RB
756	RH	LR	RH	H	H	H	RA	826	RH	RH	LR	H	L	H	RA
757	RH	LR	H	L	L	H	RA	827	RH	RH	LR	H	R	H	RA
758	RH	LR	H	L	R	H	RA	828	RH	RH	LR	H	H	H	RA
759	RH	LR	H	L	H	H	RA	829	RH	RH	R	L	L	RH	RB
760	RH	LR	H	R	L	H	RA	830	RH	RH	R	L	R	RH	RB
761	RH	LR	H	R	R	H	RA	831	RH	RH	R	L	H	RH	RB
762	RH	LR	H	R	H	H	RA	832	RH	RH	R	R	L	RH	RB
763	RH	LR	H	H	L	H	RA	833	RH	RH	R	R	R	RH	RB
764	RH	LR	H	H	R	H	RA	834	RH	RH	R	R	H	H	RB
765	RH	LR	H	H	H	H	RA	835	RH	RH	R	H	L	H	RA
766	RH	R	L	L	L	RH	RB	836	RH	RH	R	H	R	H	RA
767	RH	R	L	L	R	RH	RB	837	RH	RH	R	H	H	H	RA
768	RH	R	L	L	H	RH	RB	838	RH	RH	RH	L	L	RH	RA
769	RH	R	L	R	L	RH	RB	839	RH	RH	RH	L	R	RH	RA
770	RH	R	L	R	R	RH	RB	840	RH	RH	RH	L	H	RH	RA

Tabla B.11: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
841	RH	RH	RH	R	L	RH	RA	911	H	L	LR	L	R	H	RA
842	RH	RH	RH	R	R	RH	RA	912	H	L	LR	L	H	H	RA
843	RH	RH	RH	R	H	H	RA	913	H	L	LR	R	L	H	RA
844	RH	RH	RH	H	L	H	RA	914	H	L	LR	R	R	H	RA
845	RH	RH	RH	H	R	H	RA	915	H	L	LR	R	H	H	RA
846	RH	RH	RH	H	H	H	RA	916	H	L	LR	H	L	H	RA
847	RH	RH	H	L	L	H	RA	917	H	L	LR	H	R	H	RA
848	RH	RH	H	L	R	H	RA	918	H	L	LR	H	H	H	RA
849	RH	RH	H	L	H	H	RA	919	H	L	R	L	L	H	RA
850	RH	RH	H	R	L	H	RA	920	H	L	R	L	R	H	RA
851	RH	RH	H	R	R	H	RA	921	H	L	R	L	H	H	RA
852	RH	RH	H	R	H	H	RA	922	H	L	R	R	L	H	RA
853	RH	RH	H	H	L	H	RA	923	H	L	R	R	R	H	RA
854	RH	RH	H	H	R	H	RA	924	H	L	R	R	H	H	RA
855	RH	RH	H	H	H	H	RA	925	H	L	R	H	L	H	RA
856	RH	H	L	L	L	RH	RB	926	H	L	R	H	R	H	RA
857	RH	H	L	L	R	RH	RB	927	H	L	R	H	H	H	RA
858	RH	H	L	L	H	RH	RB	928	H	L	RH	L	L	H	RA
859	RH	H	L	R	L	RH	RB	929	H	L	RH	L	R	H	RA
860	RH	H	L	R	R	RH	RB	930	H	L	RH	L	H	H	RA
861	RH	H	L	R	H	RH	RB	931	H	L	RH	R	L	H	RA
862	RH	H	L	H	L	H	RA	932	H	L	RH	R	R	H	RA
863	RH	H	L	H	R	H	RA	933	H	L	RH	R	H	H	RA
864	RH	H	L	H	H	H	RA	934	H	L	RH	H	L	H	RA
865	RH	H	LR	L	L	H	RB	935	H	L	RH	H	R	H	RA
866	RH	H	LR	L	R	H	RB	936	H	L	RH	H	H	H	RA
867	RH	H	LR	L	H	H	RB	937	H	L	H	L	L	H	RA
868	RH	H	LR	R	L	H	RB	938	H	L	H	L	R	H	RA
869	RH	H	LR	R	R	H	RB	939	H	L	H	L	H	H	RA
870	RH	H	LR	R	H	H	RB	940	H	L	H	R	L	H	RA
871	RH	H	LR	H	L	H	RA	941	H	L	H	R	R	H	RA
872	RH	H	LR	H	R	H	RA	942	H	L	H	R	H	H	RA
873	RH	H	LR	H	H	H	RA	943	H	L	H	H	L	H	RA
874	RH	H	R	L	L	H	RB	944	H	L	H	H	R	H	RA
875	RH	H	R	L	R	H	RB	945	H	L	H	H	H	H	RA
876	RH	H	R	L	H	H	RB	946	H	LR	L	L	L	H	RA
877	RH	H	R	R	L	H	RB	947	H	LR	L	L	R	H	RA
878	RH	H	R	R	R	H	RB	948	H	LR	L	L	H	H	RA
879	RH	H	R	R	H	H	RB	949	H	LR	L	R	L	H	RA
880	RH	H	R	H	L	H	RA	950	H	LR	L	R	R	H	RA
881	RH	H	R	H	R	H	RA	951	H	LR	L	R	H	H	RA
882	RH	H	R	H	H	H	RA	952	H	LR	L	H	L	H	RA
883	RH	H	RH	L	L	H	RA	953	H	LR	L	H	R	H	RA
884	RH	H	RH	L	R	H	RA	954	H	LR	L	H	H	H	RA
885	RH	H	RH	L	H	H	RA	955	H	LR	LR	L	L	H	RA
886	RH	H	RH	R	L	H	RA	956	H	LR	LR	L	R	H	RA
887	RH	H	RH	R	R	H	RA	957	H	LR	LR	L	H	H	RA
888	RH	H	RH	R	H	H	RA	958	H	LR	LR	R	L	H	RA
889	RH	H	RH	H	L	H	RA	959	H	LR	LR	R	R	H	RA
890	RH	H	RH	H	R	H	RA	960	H	LR	LR	R	H	H	RA
891	RH	H	RH	H	H	H	RA	961	H	LR	LR	H	L	H	RA
892	RH	H	H	L	L	H	RA	962	H	LR	LR	H	R	H	RA
893	RH	H	H	L	R	H	RA	963	H	LR	LR	H	H	H	RA
894	RH	H	H	L	H	H	RA	964	H	LR	R	L	L	H	RA
895	RH	H	H	R	L	H	RA	965	H	LR	R	L	R	H	RA
896	RH	H	H	R	R	H	RA	966	H	LR	R	L	H	H	RA
897	RH	H	H	R	H	H	RA	967	H	LR	R	R	L	H	RA
898	RH	H	H	H	L	H	RA	968	H	LR	R	R	R	H	RA
899	RH	H	H	H	R	H	RA	969	H	LR	R	R	H	H	RA
900	RH	H	H	H	H	H	RA	970	H	LR	R	H	L	H	RA
901	H	L	L	L	L	H	RA	971	H	LR	R	H	R	H	RA
902	H	L	L	L	R	H	RA	972	H	LR	R	H	H	H	RA
903	H	L	L	L	H	H	RA	973	H	LR	RH	L	L	H	RA
904	H	L	L	R	L	H	RA	974	H	LR	RH	L	R	H	RA
905	H	L	L	R	R	H	RA	975	H	LR	RH	L	H	H	RA
906	H	L	L	R	H	H	RA	976	H	LR	RH	R	L	H	RA
907	H	L	L	H	L	H	RA	977	H	LR	RH	R	R	H	RA
908	H	L	L	H	R	H	RA	978	H	LR	RH	R	H	H	RA
909	H	L	L	H	H	H	RA	979	H	LR	RH	H	L	H	RA
910	H	L	LR	L	L	H	RA	980	H	LR	RH	H	R	H	RA

Tabla B.12: Reglas y niveles de conservación para las cinco clases de deterioros superficiales.

# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación	# Combinación	AGR	DSUP	DF	BYB	VA	Evaluación	N. conservación
981	H	LR	RH	H	H	H	RA	1053	H	RH	LR	H	H	H	RA
982	H	LR	H	L	L	H	RA	1054	H	RH	R	L	L	H	RA
983	H	LR	H	L	R	H	RA	1055	H	RH	R	L	R	H	RA
984	H	LR	H	L	H	H	RA	1056	H	RH	R	L	H	H	RA
985	H	LR	H	R	L	H	RA	1057	H	RH	R	R	L	H	RA
986	H	LR	H	R	R	H	RA	1058	H	RH	R	R	R	H	RA
987	H	LR	H	R	H	H	RA	1059	H	RH	R	R	H	H	RA
988	H	LR	H	H	L	H	RA	1060	H	RH	R	H	L	H	RA
989	H	LR	H	H	R	H	RA	1061	H	RH	R	H	R	H	RA
990	H	LR	H	H	H	H	RA	1062	H	RH	R	H	H	H	RA
991	H	R	L	L	L	H	RA	1063	H	RH	RH	L	L	H	RA
992	H	R	L	L	R	H	RA	1064	H	RH	RH	L	R	H	RA
993	H	R	L	L	H	H	RA	1065	H	RH	RH	L	H	H	RA
994	H	R	L	R	L	H	RA	1066	H	RH	RH	R	L	H	RA
995	H	R	L	R	R	H	RA	1067	H	RH	RH	R	R	H	RA
996	H	R	L	R	H	H	RA	1068	H	RH	RH	R	H	H	RA
997	H	R	L	H	L	H	RA	1069	H	RH	RH	H	L	H	RA
998	H	R	L	H	R	H	RA	1070	H	RH	RH	H	R	H	RA
999	H	R	L	H	H	H	RA	1071	H	RH	RH	H	H	H	RA
1000	H	R	LR	L	L	H	RA	1072	H	RH	H	L	L	H	RA
1001	H	R	LR	L	R	H	RA	1073	H	RH	H	L	R	H	RA
1002	H	R	LR	L	H	H	RA	1074	H	RH	H	L	H	H	RA
1003	H	R	LR	R	L	H	RA	1075	H	RH	H	R	L	H	RA
1004	H	R	LR	R	R	H	RA	1076	H	RH	H	R	R	H	RA
1005	H	R	LR	R	H	H	RA	1077	H	RH	H	R	H	H	RA
1006	H	R	LR	H	L	H	RA	1078	H	RH	H	H	L	H	RA
1007	H	R	LR	H	R	H	RA	1079	H	RH	H	H	R	H	RA
1008	H	R	LR	H	H	H	RA	1080	H	RH	H	H	H	H	RA
1009	H	R	R	L	L	H	RA	1081	H	H	L	L	L	H	RA
1010	H	R	R	L	R	H	RA	1082	H	H	L	L	R	H	RA
1011	H	R	R	L	H	H	RA	1083	H	H	L	L	H	H	RA
1012	H	R	R	R	L	H	RA	1084	H	H	L	R	L	H	RA
1013	H	R	R	R	R	H	RA	1085	H	H	L	R	R	H	RA
1014	H	R	R	R	H	H	RA	1086	H	H	L	R	H	H	RA
1015	H	R	R	H	L	H	RA	1087	H	H	L	H	L	H	RA
1016	H	R	R	H	R	H	RA	1088	H	H	L	H	R	H	RA
1017	H	R	R	H	H	H	RA	1089	H	H	L	H	H	H	RA
1018	H	R	RH	L	L	H	RA	1090	H	H	LR	L	L	H	RA
1019	H	R	RH	L	R	H	RA	1091	H	H	LR	L	R	H	RA
1020	H	R	RH	L	H	H	RA	1092	H	H	LR	L	H	H	RA
1021	H	R	RH	R	L	H	RA	1093	H	H	LR	R	L	H	RA
1022	H	R	RH	R	R	H	RA	1094	H	H	LR	R	R	H	RA
1023	H	R	RH	R	H	H	RA	1095	H	H	LR	R	H	H	RA
1024	H	R	RH	H	L	H	RA	1096	H	H	LR	H	L	H	RA
1025	H	R	RH	H	R	H	RA	1097	H	H	LR	H	R	H	RA
1026	H	R	RH	H	H	H	RA	1098	H	H	LR	H	H	H	RA
1027	H	R	H	L	L	H	RA	1099	H	H	R	L	L	H	RA
1028	H	R	H	L	R	H	RA	1100	H	H	R	L	R	H	RA
1029	H	R	H	L	H	H	RA	1101	H	H	R	L	H	H	RA
1030	H	R	H	R	L	H	RA	1102	H	H	R	R	L	H	RA
1031	H	R	H	R	R	H	RA	1103	H	H	R	R	R	H	RA
1032	H	R	H	R	H	H	RA	1104	H	H	R	R	H	H	RA
1033	H	R	H	H	L	H	RA	1105	H	H	R	H	L	H	RA
1034	H	R	H	H	R	H	RA	1106	H	H	R	H	R	H	RA
1035	H	R	H	H	H	H	RA	1107	H	H	R	H	H	H	RA
1036	H	RH	L	L	L	H	RA	1108	H	H	RH	L	L	H	RA
1037	H	RH	L	L	R	H	RA	1109	H	H	RH	L	R	H	RA
1038	H	RH	L	L	H	H	RA	1110	H	H	RH	L	H	H	RA
1039	H	RH	L	R	L	H	RA	1111	H	H	RH	R	L	H	RA
1040	H	RH	L	R	R	H	RA	1112	H	H	RH	R	R	H	RA
1041	H	RH	L	R	H	H	RA	1113	H	H	RH	R	H	H	RA
1042	H	RH	L	H	L	H	RA	1114	H	H	RH	H	L	H	RA
1043	H	RH	L	H	R	H	RA	1115	H	H	RH	H	R	H	RA
1044	H	RH	L	H	H	H	RA	1116	H	H	RH	H	H	H	RA
1045	H	RH	LR	L	L	H	RA	1117	H	H	H	L	L	H	RA
1046	H	RH	LR	L	R	H	RA	1118	H	H	H	L	R	H	RA
1047	H	RH	LR	L	H	H	RA	1119	H	H	H	L	H	H	RA
1048	H	RH	LR	R	L	H	RA	1120	H	H	H	R	L	H	RA
1049	H	RH	LR	R	R	H	RA	1121	H	H	H	R	R	H	RA
1050	H	RH	LR	R	H	H	RA	1122	H	H	H	R	H	H	RA
1051	H	RH	LR	H	L	H	RA	1123	H	H	H	H	L	H	RA
1052	H	RH	LR	H	R	H	RA	1124	H	H	H	H	R	H	RA
								1125	H	H	H	H	H	H	RA

Bibliografía

- [1] Delmar Salomón. (2009). Conservación de pavimentos: Metodología y estrategias. EUA.
- [2] Dirección General de Servicio Técnicos. (2014). Guía de procedimientos y técnicas para la conservación de carreteras en México. México D.F.
- [3] Alberta, Infrastructure and transportation. (2006). Guidelines for assesing pavement preservation treatments and strategies, 2da. Edicion. Canadá.
- [4] Barriga Dall'orto S.A. – Ingenieros Consultores. (2013). Manual de Carreteras, Conservación vial. Perú.
- [5] Wilde W. James, Thompson Luke, Wood J. Thomas. (2014). Cost-Efective pavement preservation solutions for the real woeld. Minnesota.
- [6] Espinoza Arreola José de Jesús. (2017). Herramienta de selección de tratamientos de conservación.
- [7] De León Izappi Edgar, Morrison Akyiaa, W. Flintsch Gerardo and McGhee Kevin. (2015). Best practices and performance assesment for preventive maintenance treatments for Virginia pavements. Virginia.
- [8] Buss Ashley, Claypool Benjamin and Bektas Fatit, Institute for transportation, Iowa state university. (2019). Effectiveness of Pavement preservation techniques. Iowa.
- [9] Kröger Ignacio Kröger Santiago. (2019). Tratamientos superficiales de alto desempeño. Uruguay.
- [10] Xu Yang, Zhanping You, Jacob Hiller y David Watkins (2018): Pavement performance zone based on mechanistic-empirical design and temperature indices, Transportmetrica A: Transport Science, DOI: 10.1080/23249935.2018.1457734
- [11] Rubio torres, Alarcón Ibarra y Morales Rosales (2018): Metodología para la construcción de mapas de temperatura basada en la influencia termo - topográfica y el grado de desempeño PG aplicada en la selección de cementos asfálticos. (MITRVT).
- [12] Pashant R. Pambhar, Dr. L.B: Zala, Amit A. Amin (2018). Flexible pavement overlay design cumulative difference approach of homogeneous section.

- [13] Francisco Vela, Universidad Nacional del Sur, Argentina (Marzo 2013). Transformada de Fourier en procesamiento digital de imágenes, funciones de variable compleja.
- [14] Blasco Badillo Silvia, Universidad de Sevilla, Sevilla (2007). Técnicas de umbralización orientadas a la implementación de sistemas portátiles de monitorización de electrocardiogramas. Capítulo 9, Anexo 2.
- [15] Almache Cabrera Juan, Universidad de Cuenca, Ecuador (2013). Lógica clásica y Lógica difusa: facetas que la caracterizan.
- [16] Gonzales Morcillo Carlos. lógica difusa: Una introducción práctica.
- [17] Rodo Paula.(06 de julio 2019). Normalización estadística. *Economidepdia.com*. <https://economipedia.com/definiciones/normalizacion-estadistica.html>
- [18] Macea Mercado Luis Fernando, Morales Luis, Márquez Días Luis Gabriel. México (2016). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en via de desarrollo. Ingeniería, Investigación y Tecnología UNAM.
- [19] Cincire Romero Victor M. Capas delgadas de rodadura en caliente, experiencia en México: El reto del cambio de estado de la práctica actual al estado del arte.
- [20] R. Gary Hicks, Stephen B. Seeds and David G. Peshkin. Washington DC. (2001). Selecting a pavement maintenance treatment for flexible pavement. Foundation for pavement preservation.
- [21] Tellez Gutierrez Rodolfo, Solorio Murillo Ricardo, Pérez Salazar Alfonso, Sánchez Loo María A., Torres Ortiz Sandra. México (2004). Sistema de evaluación de pavimentos. Instituto Mexicano del Transporte IMT
- [22] H. David Jeong, Omar Smadi, Douglas D. Grangsberr Donald F. and Sharon A. Greenwood. Iowa EUA (2015). Pavement treatment selection tool (PTST) for local agencies.
- [23] Dominguez Suárez Carlos. México (2014). Evaluación superficial de los pavimentos (IRI, PR, MAC, DET), mediante el uso de equipos de alto rendimiento en diversos tramos de la red carretera federal. SCT, Servicios técnicos.
- [24] De la Cruz Ortíz Claudia, Ramos Mamani Jorge. Método diferencias acumuladas.
- [25] Roy Barrantes Jiménez, Denia Sibaja Obando y Juan Diego Porras Alvarado. Costa Rica (2008). Desarrollo de herramientas de gestión con base en la determinación de índices, red vial nacional.
- [26] Pérez Rosales Germán Rodrigo y Andagua Mendoza Kangy Edinson. Lima, Perú (2015). Evaluación de las técnicas de diseño de pavimentos básicos para la conservación vial del tramo V de la carretera Acobamba - puente alcomachay en el departamento de huacavelica.

- [27] Beltrán Calvo Gloria Inés y Romo Organista Miguel Pedro. México (2014). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. Universidad Nacional de Colombia y Universidad Nacional Autónoma de México.
- [28] Rodríguez Velázquez Edgar Daniel. Perú (2009). Cálculo de índice de condición del pavimento flexible en la av. Luis Montero, distrito de Castilla.
- [29] Pérez Tello Wagner Julio.(2017). Determinación y evaluación del nivel de incidencia de las patologías del concreto en los pavimentos rígidos del girón arica del distrito de Calleria, provincia de coronel Portillo. depto de Ucayali.
- [30] Russ Yupek, Nancy Albright, Jennifer Bradenberg and Matt Haubrich. EUA (2012). Best Practices in performance measurement for highway maintenance and preservation.
- [31] D.G. Peshkin and T.E. Hoerner. EUA (2005). Pavement preservation: Practices research plans and initiatives.
- [32] Germán Abel Panta Campos. Perú (2017). Determinación y evaluación de las patologías del pavimento flexible de la av. Chulucanas entre las progresivas km 0+000 al km 0+670 del distrito veintiséis de octubre, provincia de Piura y depto. de Piura.
- [33] Díaz Cardenas Juan Manuel. Bogota, Colombia (2014). Evaluación de la metodología PCI como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles.
- [34] Jessica Marcomini Pinatt, Marcelo Luis Chicati, Jesner Sereni Ildefonso and Claudia Regina Grégio D'arce Filetti. Brazil (2020). Evaluation of pavement condition index by different methods: case study of maringa, Brazil.
- [35] Rodrigo Miró R. España. Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el confort (ruido) y la seguridad. Universidad de Cataluña.
- [36] Michael T. McNerney, B.J. Landsberger, Tracy Turen and Albert Pandelides. EUA. Comparative field measurements of tire pavement noise of selected Texas pavements.
- [37] Rico R. A., J.M. Orozco y O.R. Tellez G. y M. Elizondo R. México (1990). Manual operativo de campo, sistema mexicano para la administración de pavimentos. IMT.
- [38] Azor Montoya Jesús Rubén. La transformada Wavelet. Universidad de Mendoza.
- [39] Tratamientos superficiales aplicables para la conservación de la red carretera federal. Boletín técnico, Secretaría de infraestructura, dirección general de servicios técnicos. (2020).
- [40] Marco Martínez. (2021). ¿Que es la transformada de Fourier y para que sirve?. Nobbot tecnología para las personas. <http://nobbot.com/educación/que-es-la-transformada-de-fourier-y-para-que-sirve>.

- [41] Alejandro Nieto. (abril 2021). La transformada de fourier. Xataka. <http://xataka.com/otros/alguien-ha-hecho-video-perfecto-para-todos-que-sufrimos-intentando-entender-transformada-fourier>.
- [42] Ahmad Alhasan, David J. White and Kris de Brabanterb. Iowa, EUA (2015). Continuous wavelet analysis of pavement profiles.
- [43] Malgozata Wutke, Anna Lejzerowicz and Andrzej Garbacz. Polonia (2020). The use of wavelet analysis to improve the accuracy of pavement layer thickness estimation based on amplitudes of electromagnetic waves.
- [44] Liu Wei and T.F. Fwa. Singapur (2004). Characterizing road roughness by wavelet transform.
- [45] Liu Wei, T.F. Fwa and Zhao Zhe. Singapur (2005). Wavelet analysis and interpretation of road roughness. 10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:2(120)