



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLAS DE
HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y
EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS
FLEXIBLES**

TESIS

**Para obtener el grado de
Ingeniero Civil**

Presenta:

Nahum Josafat Roldán García.

Asesores:

Dr. Mario Salazar Amaya

Dr. Rafael Soto Espitia

Junio, 2019. Morelia, Mich.

Agradecimientos

Agradezco a mí madre **Sra. María de los Ángeles García Correa** por el apoyo incondicional de toda la vida y mi abuelo **Sr. Juan Garcia Ponce** por la inspiración que me brindo para tener afecto a la construcción.

A la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo** por brindarme la oportunidad de emprender y culminar mis estudios universitarios, en especial a la **Facultad de Ingeniería Civil** por la aceptación en su programa de estudios para emprender la carrera como Ingeniero Civil, así como todas sus instalaciones que me brindaron el apoyo de aprender.

Gracias al **Dr. Mario Salazar Amaya** y al **Dr. Rafael Soto Espitia** por la asesoría de esta investigación, por la confianza, tiempo y el conocimiento adquirido en el transcurso de la carrera así como al **Ing. Ernesto Alberto Núñez Guzmán** por su asesoría, apoyo y sus conocimientos brindados.

A mis compañeros de clases por todos los momentos y recuerdos en el transcurso de nuestra formación académica y fuera de ella; **Adrián Villa, Dylan Báez, Alma Sosa, German Huerta, Micaela Raso, Jorge Becerril, Miguel A. Ávila, Rogelio Arellano, Rodrigo Sosa, Juan Díaz, Jaime Sánchez, Jordán A, Eduardo Garcia, Pepe Molina, José C., Dulce F. Román Gamiño, Julio Arroyo, Leonardo G., Melisa Tapia, Gustavo Benítez.**

A todos mis amigos y conocidos por su apoyo tan incondicional.

Tabla de contenido

Resumen.....	1
Abstract.	2
Introducción.....	3
Hipótesis.....	4
Objetivo general.....	5
Objetivos particulares.....	5
1. Estado del arte.....	6
2. Marco teórico.....	8
2.1. Pavimentos flexibles.....	9
2.2. Capas de un pavimento flexible de acuerdo a la Normativa Para La Infraestructura Del Transporte	10
2.3. Requisitos para los materiales empleados en los pavimentos.	11
2.4. Tipos de asfaltos utilizados para la carpeta asfáltica.	19
2.5. Deterioros de los pavimentos flexibles en México	23
2.6. Acciones de conservación.	25
2.7. Auscultación del pavimento.	28
2.8. Equipo de alto desempeño para la evaluación de deterioros.	31
3. Metodología.....	36
3.1. Recopilación de información	36
3.2. Análisis de la información.....	37
3.3. Análisis comparativo.	38
3.4. Propuesta de catálogo de deterioros.	39
4. Resultados.....	40
4.1. Recopilación de información.....	40
4.1.1. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (SCT & IMT). País - México	40
4.1.2. Distress Identification Manual for The LTPP ,Fourth Revised Edition (Manual de identificación de los deterioros para el LTPP, Cuarta edición. País – Estados Unidos.....	41
4.1.3. Pavement Management System (Sistema de Gestión de Pavimentos). País – Estados Unidos	41
4.1.4. UDOT Distress Manual (Manual de deterioros de UDOT). País – Estados Unidos	42
4.1.5 Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de Iberia e Iberoamérica. País: Iberia e Iberoamérica	42
4.1.6. Pavement Maintenance Manual (Manual de Mantenimiento del Pavimento). País – Estados Unidos.....	43



Resumen.

Se realizó una investigación acerca de los deterioros en pavimentos flexibles, con la finalidad de promover un catálogo de deterioros que nos sirva para el darles solución y entender de una manera más factible estos deterioros, la gran problemática de las vías de comunicación es el mantenimiento que se les debe dar, ya que un pavimento si se conserva y se le da un mantenimiento adecuado puede seguir satisfaciendo su objetivo que es el brindar seguridad y comodidad al usuario.

Para poderse adentrar sobre el ¿Por qué surgen estos deterioros? Se debe comprender desde un inicio lo que es un pavimento, es una estructura conformada por varias capas por así decirlo, posteriormente se debe comprender como está compuesto el pavimento, una de las principales fallas del pavimento se debe a que la calidad de los materiales no es la óptima, para ello existen unas normas de construcción que se deben efectuar para que así este pavimento este en las óptimas condiciones.

Existen equipos especializados que sirven para evaluar un pavimento, ya sea por medio de fotografías, sensores o laser especializados, resultan bastante interesantes puesto que incluso te da un diagnóstico completo del pavimento.

Se analizaron once (11) catálogos de los cuales son:

1. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas.
2. Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.
3. Pavement Management System.
4. Pavement Maintenance Manual.
5. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles.
6. Manuel D'Identification des dégradations des chaussées souples.
7. Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition).
8. UDOT Distress Manual.
9. Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali.
10. Pavement Condition Evaluation Manual.
11. SDDOT'S Enhanced Pavement Management System

De estos once catálogos se obtuvo una parte vital de cada uno para formar dos nuevos catálogos de deterioros, que este incluye; definición, origen, causas, evaluación y grado de severidad, acciones recomendadas para tratar los deterioros, fotografías. Las acciones recomendadas están regidas por la normativa para la conservación del pavimento.

Son dos catálogos una versión compleja y una versión simplificada, que su diferencia se destaca en su manera de evaluar los deterioros, es decir una manera más sencilla que la otra.



Abstract.

An investigation was made about the deteriorations in flexible pavements, with the purpose of promoting a catalog of deteriorations that will help us to solve them and to understand in a more feasible way these deteriorations, the great problematic of the communication channels is the maintenance that they must be given, since a pavement if it is conserved and given an adequate maintenance can continue satisfying its objective that is to offer security and comfort to the user.

To be able to enter on the Why do these deteriorations arise? One must understand from the beginning what a pavement is, it is a structure made up of several layers, so to speak, afterwards one must understand how the pavement is composed, one of the main faults of the pavement is that the quality of the materials does not is the optimum, for this there are construction standards that must be made so that this pavement is in the best conditions.

There are specialized equipment used to evaluate a pavement, either by means of photographs, sensors or specialized laser, they are quite interesting since it even gives you a complete diagnosis of the pavement.

It was analyzed eleven (11) catalogs of which are:

1. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas.
2. Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.
3. Pavement Management System.
4. Pavement Maintenance Manual.
5. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles.
6. Manuel D'identification des dégradations des chaussées souples.
7. Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition).
8. UDOT Distress Manual.
9. Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali.
10. Pavement Condition Evaluation Manual.
11. SDDOT'S Enhanced Pavement Management System

Of these eleven catalogs a vital part of each was obtained to form two new catalogs of deterioration, which this includes; definition, origin, causes, evaluation and degree of severity, recommended actions to treat deterioration, photographs. The recommended actions are governed by the regulations for the conservation of the pavement.

There are two catalogs, a complex version and a simplified version, whose difference stands out in its way of assessing deterioration, that is, in a simpler way than the other.

Palabras clave: catálogos de deterioros, pavimentos flexibles, evaluación de deterioros, nuevo catálogo de deterioros, equipo de alto desempeño.



Introducción.

Uno de las grandes problemáticas en México son las vías de comunicación, ya que algunas están en mal estado por diversos factores. Por ejemplo las carreteras, algunas de ellas presentan múltiples deterioros y esto es debido al mal mantenimiento que se les da, ocasionando que la vida útil de las carreteras se degrade bastante, no lleguen a cumplir su función y su vida útil, además de ocasionar accidentes viales. El mantenimiento es un tema bastante importante ya que gracias a esto hace que las cosas duren incluso lo proyectada para su vida útil.

Los deterioros en los pavimentos flexibles surgen por varios efectos como son: mal diseño, el clima, asfaltos inadecuados, filtraciones de agua, etc. Para ello es necesario estudiarlos y analizarlos para así darles la mejor solución. Existen algunos catálogos de deterioros en pavimentos flexibles en Latinoamérica por ejemplo: el catálogo de deterioros en pavimentos flexibles por el Instituto Mexicano de Transporte (IMT) y el catálogo de deterioros en pavimentos flexibles por el Consejo de directores de carreteras de iberia e iberoamericano. Un problema es que estos catálogos no están actualizados y ya que la información que nos brinda no podría ser suficiente para darles solución a los deterioros actuales.

Cada catálogo tiene su manera de describir y clasificar los diferentes deterioros en pavimentos flexibles así como también su terminología, con la comparación de estos se pretende darle la terminología nacional actualizada y su clasificación de estos.

En Mesopotamia fue una de las primeras ciudades en la construcción de carreteras hacia el año 3500 a.C. Posteriormente fueron los chinos los que desarrollan un sistema de carreteras en torno al siglo XI.

El desarrollo de la infraestructura carretera en México inicio en los años 20's, se construyen los primeros caminos con la finalidad de comunicas permanentemente a la capital con todos los estados y entre estos los puertos y las ciudades fronterizas más importantes. Después de su construcción se inicia la construcción de carreteras regionales, con esto se consiguió mejorar la conectividad de la red entre estados y mejorar el desarrollo de zonas de actividad económica.



Hipótesis.

Para que un pavimento dure el tiempo de vida de diseño se deben realizar acciones de mantenimiento correspondiente para así prever posibles fallas en el pavimento, esto será posible gracias a que se analiza en tiempo y forma los pavimentos.

Existen numerosos catálogos que describen los deterioros o fallas en pavimentos flexibles, cada uno tiene sus diferentes técnicas de auscultación, así como algunos más actualizados mencionan las posibles soluciones que se les puede dar a los problemas de pavimentos, lamentablemente en nuestro país el catálogo no está actualizado puesto que fue publicado en el año de 1991 y no es oficial tampoco cuenta con soluciones, para atender los diversos deterioros.

Se pretende con la implementación este catálogo de deterioros, los pavimentos flexibles se conserven y brinden seguridad al usuario.

Con este catálogo se pretende que se haga conciencia al gran problema que son estos deterioros y como se podrán interpretar de una manera fácil, proponer acciones de mantenimiento y así reducir los porcentajes de vías dañadas.



Objetivo general.

Desarrollar catálogo de deterioros de pavimentos flexibles.

Objetivos particulares.

- ✦ Analizar a fondo los tipos de deterioros.
- ✦ Conocer las causas que originan los deterioros.
- ✦ Realizar comparativa entre otros países que cuenten con catálogos de deterioros.
- ✦ Desarrollar catálogo de deterioros en pavimentos flexibles en México.
- ✦ Proponer acciones de mantenimiento para la conservación de los pavimentos flexibles.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



1. Estado del arte.

México tiene el catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en carreteras mexicanas por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT), así como en Latinoamérica el Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles de Iberia e Iberoamericano, aunque están muy desactualizados ya que el primero se publicó en el año de 1991 y el segundo en el año 2002, además estos usan terminologías diferentes para describir los deterioros.

A continuación en la tabla 1.1 se muestran algunos manuales de América e internacionales de forma resumida el título de cada uno, así como su año de publicación y sus autores.

Tabla 1.1 Año y autores de los diferentes manuales de pavimentos flexibles de América.

Titulo	ANO DE PUBLICACION	AUTORES	País
Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (IMT)	1991	IMT SCT	México
Catalogue des dégradations de Surface des chaussées	1998	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées	Francia
Pavement Management System	2001	DRM™ System	E.U.
Pavement Maintenance Manual	2002	Nebraska Department of Roads	E.U.
Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles De Iberia e Iberoamérica	2002	Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.	Latinoamérica
Manuel D'identification des dégradations des chaussées souples	2002	Transports Québec	Canadá
Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition)	2003	U.S. Department of Transportation in the interest of information change	E.U.
UDOT Distress Manual	2003	UDOT	E.U.
Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali	2005	Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità	Italia
Pavement Condition Evaluation Manual	2006	NPS ROAD INVENTORY PROGRAM	E.U.
SDDOT'S Enhanced Pavement Management System	2009	South Dakota Department of Transportation initiated the Research Project	E.U.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Sin duda alguna existen muchos manuales o catálogos de deterioros en pavimentos flexibles en el mundo, en la tabla 1.1 se aprecian algunos de ellos, no existe una clasificación en las que nos indique los mejores, pero si se puede analizar por así decirlo los más completos así como reconocidos como lo es; el catálogo de Iberia e Iberoamérica puesto que en este se presenta mucha información detallada acerca de los deterioros, la problemática de este se relaciona en lenguaje en el que se expresa ya que usa términos diferentes a los de México, tiene una clasificación de severidad para cada deterioro y también cuenta con una posible solución para cada grado de severidad.

Se puede resumir que el catálogo de Iberia e Iberoamérica es el más completo en comparación con los otros catálogos ya que es el único que resume de las acciones que se les puede dar al deterioro, más sin embargo este no describe de manera breve la manera en el cual se puede evaluar el deterioro. Su evaluación es por tramos de 100 mts, es una relación entre el área afectada y el número de deterioros en el pavimento, lo clasifica en porcentaje como; bajo, medio y alto. En resumen es algo ortodoxo la forma del cómo se evalúa los deterioros ya que en otros catálogos describe el cómo se puede evaluar un deterioro con ayuda de software y hardware, que resultan más factibles y más rápido la manera de evaluar un pavimento.

Como antes se mencionó hay una manera más fácil de evaluar los deterioros de un pavimento como lo describe el catálogo SDDOT'S Enhanced Pavement Management System que con la ayuda del programa Distress Survey ayuda a evaluar el pavimento y dar un criterio de ello en el cual se indica cuan dañado este el pavimento y para así proseguir a las acciones que se le puede dar al pavimento.

Cada catálogo se caracteriza por algo en particular, ya sea por su definición de cada deterioro y hasta su manera en la que se pueda evaluar el deterioro, algunos de ellos clasifican los deterioros en diferente manera como lo es el Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition) este los clasifica en; agrietamientos, baches, deformación de la superficie, defectos de la superficie, otros deterioros. En este catálogo destaca su peculiaridad de como el evaluar un pavimento puesto que es uno de los catálogos en el cual se describe con ilustraciones el cómo se debe evaluar los deterioros. Este y otros catálogos describen los deterioros de pavimentos flexibles y también los de pavimentos rígidos.

Hemos mencionado catálogos de América y Latinoamérica, cabe mencionar que también están los catálogos de Francia, Italia y Canadá que son: el "Catalogue des dégradations de Surface des chaussées" de Francia, "Manuel D'Identification des dégradations des chaussées souples" de Canadá, y el Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali de Italia. En los cuales están muy detallados en cuanto a información y solo se dedican en general a los pavimentos flexibles.



2. Marco teórico.

Debido al aumento de tamaño y densidad de las poblaciones en las ciudades de las primeras civilizaciones y la necesidad de comunicación con otras regiones se tornó necesaria para hacer llegar sus suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores, desde ese momento surgen las carreteras.

En la Tabla 2.1.1. Se puede apreciar la clasificación de caminos en México de acuerdo a su Tránsito Diario Promedio Anual que está estipulado en el apéndice para la clasificación de los caminos y puentes a que se refiere el artículo 6^{to} del reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.

Tabla 2.1.1. Clasificación de carreteras en México Fuente: (NOM SCT pesos y dimensiones, 2011).

Tipo de carretera	Nomenclatura	TDPA (Vehículos)
Carretera de cuatro carriles, Eje de Transporte	ET4	De hasta 100,000
Carretera de dos carriles, Eje de Transporte	ET2	De hasta 100,000
Carretera de cuatro carriles	A4	5,000 a 20,000
Carretera de dos carriles	A2	3,000 a 5,000
Carretera de cuatro carriles, Red primaria	B4	1,500 a 3,000
Carretera de dos carriles, Red primaria	B2	1,500 a 3,000
Carretera de dos carriles, Red secundaria	C	500 a 1,500
Carretera de dos carriles, Red alimentadora	D	100, 500

- **Carretera tipo ET:** Son aquellas forman parte de los ejes de transporte que establezca la Secretaría, cuyas características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso.
- **Carretera tipo A:** Son aquellas que por sus características geométricas y estructurales permiten la operación de todos los vehículos autorizados con las máximas dimensiones, capacidad y peso, excepto aquellos vehículos que por sus dimensiones y peso solo permitan en las carreteras tipo ET.
- **Carretera tipo B:** Son aquellas que conforman la red primaria y que atendiendo a sus características geométricas y estructurales prestan un servicio de comunicación interestatal, además de vincular el tránsito.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



- **Carretera tipo C:** red secundaria; son carreteras que atendiendo a sus características prestan servicio dentro del ámbito estatal con longitudes medias, estableciendo conexiones con la red primaria.
- **Carretera tipo D:** red alimentadora, son carreteras que atendiendo a sus características geométricas y estructurales principalmente prestan servicio dentro del ámbito municipal con longitudes relativamente cortas estableciendo conexiones con la red secundaria.

En comparación al manual de proyecto geométrico de carreteras 2018 existe una diferente clasificación para el tipo de vehículos y estipula lo siguiente:

- Los vehículos se han clasificado según alguno de sus atributos; por ejemplo su función se han clasificado como de pasajeros o de carga, según su peso como ligeros o pesados, según su régimen.

2.1. Pavimentos flexibles.

(<https://www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles>)

Se le conoce como pavimento al conjunto de capas de material seleccionado, este recibe de forma directa la carga del tránsito y una de su función es el de transmitir esas cargas a las capas inferiores en forma disipada, como su nombre lo indica son flexibles.

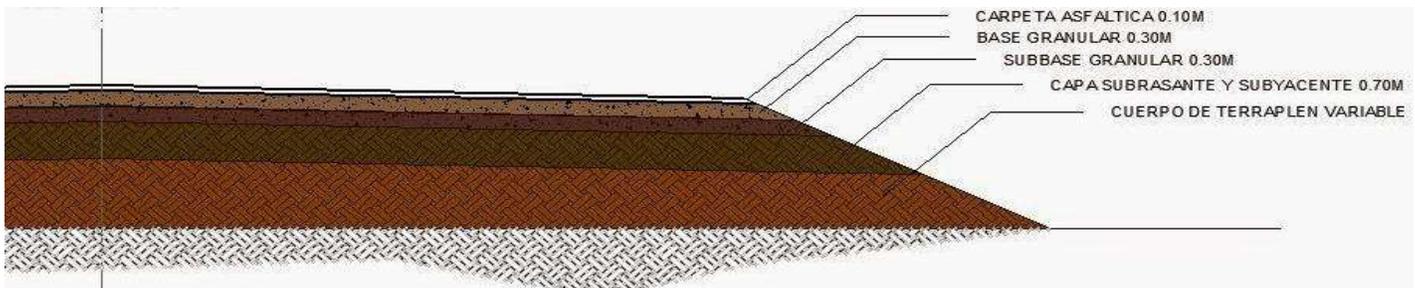


Fig. 2.1.1. Sección transversal de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles están compuestos principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base, resulta más económico en su construcción inicial.

Antes mencionado los pavimentos flexibles es un conjunto de varias capas las cuales son:

- **Carpeta asfáltica**
 - **Base**
 - **Sub-base**
 - **Subrasante**
 - **Subyacente**
 - **Terraplén**
- } **Pavimentos**
- } **Terracerías**



2.2. Capas de un pavimento flexible de acuerdo a la Normativa Para La Infraestructura Del Transporte

Carpeta asfáltica en frío o caliente.

- **Carpeta asfáltica con mezcla en caliente (N-CTR-CAR-1-04-006/14):**
Estas se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico. Debe brindar una superficie de rodamiento adecuada con la textura y color conveniente, capaz de resistir el tráfico que se transitara sobre ella y debe impedir la infiltración del agua las demás capas.
- **Carpeta asfáltica con mezcla en frío (N-CTR-CAR-1-04-007/15):**
Estas al igual que las mezclas en caliente se construyen mediante el tendido y compactación de una mezcla de materiales pétreos de granulometría densa y cemento asfáltico en emulsión, modificado o no, debe brindar al usuario una superficie de rodadura uniforme, cómoda y segura. Tiene la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos hacia capas inferiores.

Los ejes equivalentes son la cantidad pronosticada de repeticiones del eje de carga equivalente de 18 kips (8,16 t = 80 kN) para un periodo determinado.

Base (SCT 2011): Esta capa consiste principalmente en brindar resistencia a la sub-base y a la subrasante, es decir esta capa disminuye los esfuerzos producidos por el tránsito para las capas inferiores. Debe drenar el agua infiltrada en la carpeta o por los acotamientos del pavimento, así como impedir la ascensión capilar.

Sub-base (SCT 2011): Esta capa también consiste en absorber deformaciones perjudiciales en la subrasante, algunos de estas deformaciones son cambios volumétricos relacionados a cambios de humedad, impidiendo que se reflejen en la superficie del pavimento. Uno de los graves problemas en los pavimentos es la ascensión capilar y esta capa ayuda a impedirlo hacia la base. Además debe resistir las cargas de tránsito y transmitir las adecuadamente a las terracerías.

Subrasante (SCT 2002): Ayuda a evitar que las demás capas se contamine cuando el terraplén o el terreno natural sea de arcillas o material fino, como una de sus funciones similares a las demás capas es la de recibir y resistir cargas del tránsito y transmitir las a las capas inferiores.

Subyacente (SCT 2002). Los materiales para la capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de terraplén.

Terraplén (SCT 2016): Se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de banco. La calidad de un terraplén depende en gran medida de su



correcta realización, es decir de la apropiada colocación y tratamiento de los diferentes materiales empleados.

2.3. Requisitos para los materiales empleados en los pavimentos.

Materiales de revestimiento. El material que se emplee en la construcción de revestimientos debe cumplir con las características granulométricas que se establecen en la tabla a continuación. La relación entre el porcentaje en masa que pase de la malla N° 200 al que pase la malla N° 40 no será mayor de 0.65.

Se debe cumplir criterios de calidad los materiales para su óptimo funcionamiento y así puedan ofrecer un gran desempeño, la granulometría es parte fundamental para el desempeño de este tipo y por eso se debe cumplir los requisitos de la tabla 2.3.1.

Tabla 2.3.1. Requisitos de granulometría del material para revestimientos

Malla		Porcentaje que pasa
Abertura mm	Designación n	
75	3"	100
50	2"	85 – 100
37.5	1 ½"	75 – 100
25	1"	66 – 100
19	¾"	61 – 100
9.5	3/8"	50 – 100
4.75	N°4	40 – 80
2	N°10	30 – 60
0.85	N°20	20- 44
0.425	N°40	14 – 32
0.25	N°60	10 – 25
0.15	N°100	7 – 20
0.075	N°200	5 – 15

El material que se vaya utilizar en la construcción de revestimientos, cumplirá con las características granulométricas que están establecidas en la tabla 2.3.1 y con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 2.3.2 de acuerdo a la norma "N-CMT-4.01/02".

Tabla 2.3.2 Requisitos de calidad para el material de revestimientos.

Característica	Valor %
Límite líquido, máximo	30
Índice plástico, máximo	15
Equivalente de arena; % mínimo	30
Valor Soporte de California (CBR), mínimo	50
Grado de compactación, mínimo	95



Materiales para bases hidráulicas.

Los requisitos de calidad que se deben cumplir en los materiales que se usen en la construcción de bases hidráulicas de pavimentos asfálticos están establecidos en la Norma Técnica (N-CMT-4-02-002/16).

Estos materiales pueden ser:

- Materiales cribados
- Materiales parcialmente triturados
- Materiales totalmente triturados
- Materiales mezclado

Cuando inmediatamente después de la construcción de la base se coloque una carpeta de mezcla asfáltica de granulometría densa, ya sea en caliente o en frío, el material debe tener las características granulométricas que se establecen la

Tabla 2.3.3 Requisitos de granulometría de los materiales para bases de pavimentos flexibles

tabla 2.3.3. Y en la figura 2.3.1.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\sum L \leq 10^6$	$\sum L > 10^6$
75	3"	100	100
50	2"	85 - 100	85 - 100
37.5	1 1/2"	75 - 100	75 - 100
25	1"	63 - 100	62 - 90
19	3/4"	54 - 100	54 - 83
9.5	3/8"	40 - 100	40 - 65
4.75	Nº4	30 - 80	30 - 50
2	Nº10	21 - 60	21 - 36
0.85	Nº20	13 - 44	13 - 25
0.425	Nº40	8 - 31	8 - 17
0.25	Nº60	5 - 23	5 - 12
0.15	Nº100	3 - 17	3 - 9
0.075	Nº200	0 - 10	0 - 5

Se considera que el tamaño de sus partículas no será mayor de veinte por ciento del espesor de la base, se debe cumplir los requisitos de calidad que se indican en la tabla 2.3.4 y esto corresponde a la Norma SCT (N.CMT-4-02-002/16), en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Cuando la base se construya se coloque solamente un tratamiento asfáltico superficial, el material para la base tendrá las características granulométricas que se establecen en la tabla.

Los requisitos de calidad que se debe cumplir para bases hidráulicas están indicados en la tabla 2.3.4, que están estipulados en la Norma SCT (N.CMT-4-02-002/16).

Tabla 2.3.4 Requisitos de calidad para bases hidráulicas.

Característica	Valor %	
	$\sum_{6} L \leq 10$	$\sum_{6} L > 10$
Límite líquido, máximo	25	25
Índice plástico, máximo	6	6
Equivalente de arena; % mínimo	40	50
Valor Soporte de California (CBR), mínimo	80	100
Desgaste Los Ángeles, máximo	35	30
Partículas alargadas y lajeadas, máximo	40	35
Grado de compactación, mínimo	100	100

De acuerdo a la gráfica granulométrica se deben tener las características granulométricas conforme a la tabla 2.3.4.

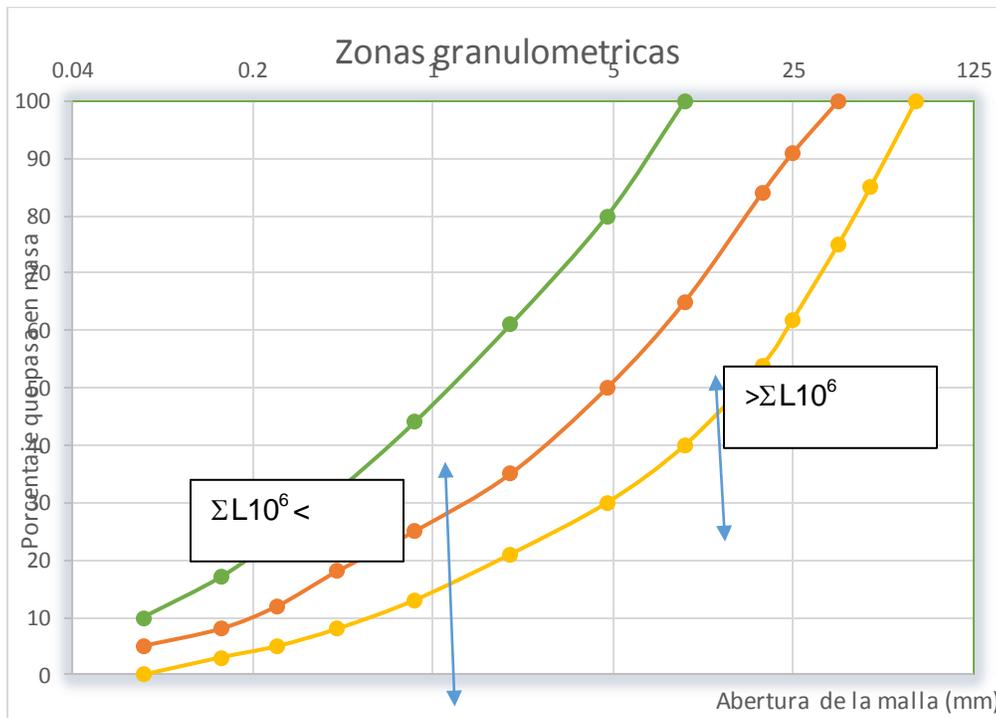


Fig. 2.3.1 Zonas granulométricas recomendadas para bases hidráulicas



Materiales para subbase.

El material tendrá las características granulométricas que establecen en la tabla 2.3.5 y se muestran en la figura, considerando que el tamaño máximo de sus

Tabla 2.3.5 Requisitos de granulometría de los materiales para subbases hidráulicas.

partículas no será mayor a veinticinco por ciento del espesor de la sub-base.

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura	Designación	$\sum L \leq 10^6$	$\sum L > 10^6$
75	3"	100	100
50	2"	85 – 100	85 – 100
37.5	1 ½"	75 – 100	75 – 100
25	1"	63 – 100	62 – 100
19	¾"	54 – 100	54 – 100
9.5	3/8"	40 – 100	40 – 100
4.75	Nº4	30 – 100	30 – 80
2	Nº10	21 – 100	21 – 60
0.85	Nº20	13 – 92	13 – 45
0.425	Nº40	8 – 75	8 – 33
0.25	Nº60	5 – 60	5 – 26
0.15	Nº100	3 – 45	3 – 20
0.0075	Nº200	0 - 25	0 - 15

De acuerdo a la tabla 2.3.5 se realiza la gráfica de características granulométricas que especifica las zonas recomendadas para una adecuada granulometría.

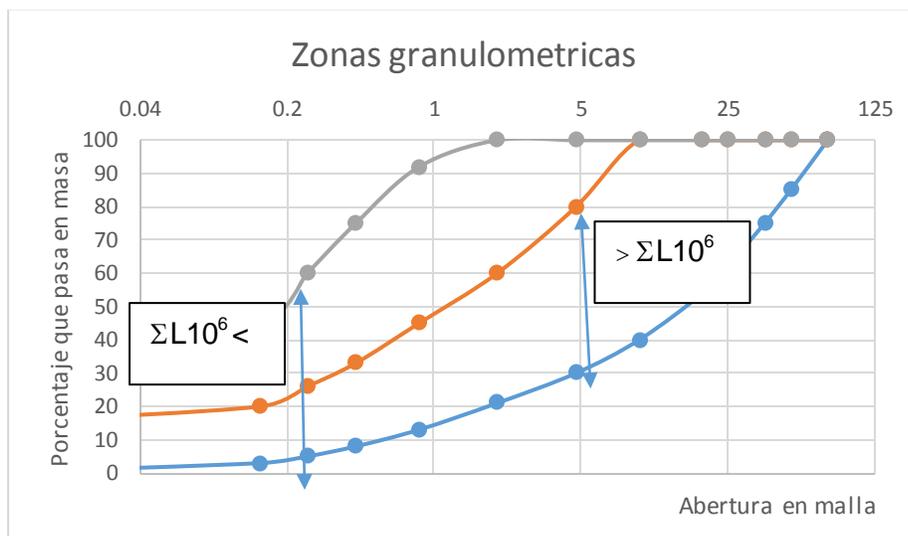


Fig. 2.3.2 Zonas granulométricas recomendadas para sub-base.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACION Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Con los requisitos de calidad se indican en la tabla 2.3.6 que se establecen en la Norma (N-CMT-4-02-001/16), en función de la intensidad del tránsito en términos del número de ejes equivalentes acumulados, ocho punto dos (8.2) toneladas, esperado durante la vida útil del pavimento (ΣL).

Tabla 2.3.6. Requisitos de calidad para sub-bases.

Características	Valor	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$\Sigma L > 10^6$
Límite líquido, máximo	30	25
Índice plástico, máximo	10	6
Valor Soporte de California (CBR), mínimo	50	60
Equivalente de arena, mínimo	30	40
Desgaste Los Ángeles, máximo	50	40
Grado de compactación, mínimo	100	100

Materiales para la carpeta asfáltica (mezclas asfálticas)

Las mezclas asfálticas en caliente, diseñadas de acuerdo con los procedimientos descritos en el Método Marshall para Mezclas Asfálticas de Granulometría Densa deben cumplir los siguientes requisitos, de acuerdo con el tránsito esperado en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8.2) toneladas, acumulados durante la vida útil del pavimento (ΣL) cumplirá con los requisitos de calidad que se indican en la tabla 2.3.7 de la Norma SCT (N-CMT-4-05-003/16)

Tabla 2.3.7 Requisitos de calidad para mezclas asfálticas de granulometría densa, diseñados por el método Marshall

Características	Número de ejes equivalentes	
	$\Sigma L \leq 10^6$	$10^6 < \Sigma L \leq 10^7$
Compactación; número de golpes en cada	50	75
Estabilidad; N (lb _f), mínimo	5,340 (1,200)	8,000 (1,800)
Flujo; mm (10 ⁻² in)	2 – 4 (8 – 16)	2 – 3.5 (8 - 14)
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC); %	3 - 5	3 -5
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA); %	65 - 78	65 - 75

Las mezclas asfálticas en caliente se elaborarán a las temperaturas más bajas posibles que permitan obtener una mezcla y cubrimiento del material pétreo uniformes, pero lo suficientemente altas para disponer del tiempo requerido para su transporte, tendido y compactación. Dependiendo del tipo de cemento asfáltico utilizado, están indicadas en la tabla 2.3.8, de acuerdo a la Norma SCT (N-CMT-4-05-003/16).



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Tabla 2.3.8. Temperaturas de mezclado para mezclas en caliente.

Clasificación del	Temperatura de mezclado °C
AC-5	120 – 145
AC-10	120 – 155
AC-20	130 – 160
AC-30	130 - 165

En tolerancias de los contenidos de agua y de disolventes en las mezclas asfálticas, determinados de acuerdo a los métodos descritos en la Norma SCT (N-CMT-4-05-003/16) son las que están establecidas en la tabla 2.3.9.

Tabla 2.3.9. Contenidos de cemento asfáltico, agua y disolventes en mezclas asfálticas

Material asfáltico empleado en la elaboración de la mezcla	Tolerancia en el contenido de cemento asfáltico (CA) %	Contenido de agua libre permitido %	Relaciones de disolventes a cemento asfáltico en masa (valor k)
Cemento asfáltico	CA \pm 0.15	---	0
Emulsión asfáltica sin disolventes	CA \pm 0.1	1	0
Emulsión asfáltica con disolventes	CA \pm 0.1	1	0.05 a 0.08

Cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG).

El grado de desempeño (PG por sus siglas en inglés, Performance Grade) es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico convencional o modificado se desempeña satisfactoriamente. El grado de desempeño (PG) permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante, de la intensidad del tránsito esperada y de la velocidad de operación a que estará sujeta la carretera durante su vida útil.

Se ajustarán sus requisitos de calidad eligiendo el nivel de ajuste que le corresponda de acuerdo con lo indicado en la Tabla 2.3.9. De esta Norma (SCT 2018), considerando la intensidad del tránsito esperada y la velocidad de operación de la carretera, el cual se representará con una letra que indicará cuando el ajuste sea Normal (S), Alto (H), Muy Alto (V) o Extremadamente Alto (E) y que se agregará al grado de desempeño (PG).



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACION Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

Tabla 2.3.9. Nivel de ajuste de los requisitos de calidad para el grado de desempeño (PG) de acuerdo con la intensidad del tránsito y con la velocidad de operación (SCT 2018)

	Velocidad de operación km/h	Nivel de ajuste		
		v > 70	20 ≤ v ≤ 70	v < 20
Intensidad del tránsito (ΣL)				
ΣL < 106		Normal (S)	Alto (H)	Muy alto (V)
106 ≤ ΣL ≤ 30×106		Alto (H)	Alto (H)	Muy alto (V)
ΣL > 30×106		Muy alto (V)	Muy alto	Extremadamente

ΣL es el número de ejes equivalentes de 8,2 t acumulados durante el periodo de servicio del pavimento

El antes y después de ser envejecidos en el laboratorio para simular las condiciones del envejecimiento que se espera tengan durante su vida útil en la obra, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2.3.10 de esta Norma (SCT 2018).

Tabla 2.3.10. Requisitos de calidad de los asfaltos de grado PG

GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG 64		PG 70		PG 76		PG 82	
	-16	-22	-16	-22	-16	-22	-16	-22
Temperatura máxima del pavimento ^[1] ,	≤ 64		≤ 70		≤ 76		≤ 82	
Temperatura mínima del pavimento ^[1] , °C	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22	≥ -16	≥ -22
Cemento asfáltico original								
Punto de inflamación Cleveland ^[2] , °C,	230							
Viscosidad rotacional 135°C ^[2] , Pa·s, máx.	3							
Punto de reblandecimiento ^[2] , °C, mín.	48				55			
Separación, diferencia anillo y esfera ^[2] , °C, máx.					2			
Recuperación elástica por torsión 25°C ^[2] , %, mín.					35			
Módulo reológico de corte dinámico ^[2] (G*/sen δ) 1,0 [2], kPa, mín.	1							
Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	
Después de envejecimiento en horno RTFO ^[2]								
Pérdida por calentamiento ^[2] , %, máx.	1							
Recuperación elástica en ductilómetro ^[5] , 25°C, %, mín.					75			
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) 2,2 ^[2] , kPa, mín.	2.2							
-Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	64		70		76		82	



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACION Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Trafico Normal "S", Nivel de Ajuste Jnr a 3,2 kPa en MSCR ^{[2][4]} ; kPa-1, máx.	4			
Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR ^{[2][6]} ; %, mín.	25			
Tráfico Alto "H", Nivel de Ajuste (MSCR) ^[3]	2.0			
Jnr a 3,2 kPa en MSCR 2,0 ^{[2][4]} ; kPa-1, máx.				
Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR ^{[2][6]} ; %, mín.	25			
Tráfico Muy Alto "V", Nivel de Ajuste (MSCR) ^[3]	1			
Jnr a 3,2 kPa en MSCR 1,0 ^{[2][4]} ; kPa-1, máx.				
Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR ^{[2][6]} ; %, mín.	30			
Tráfico Extremadamente Alto "E", Nivel de Ajuste (MSCR) ^[3]	0.5			
Jnr a 3,2 kPa en MSCR 0,5 ^{[2][4]} ; kPa-1, máx.				
Temperatura de prueba, °C	64	70	76	82
Respuesta elástica, RE a 3,2 kPa en MSCR ^{[2][6]} ; %, mín. - 40 ^[1]	40			

[1] Determinada como se indica en el inciso D.1. De esta Norma.

[2] Determinado mediante el procedimiento de prueba que corresponda, de las Normas y Manuales que se señalan en la Cláusula C. de esta Norma.

[3] Los niveles de ajuste son los indicados en la Tabla 1 de esta Norma.

[4] Jnr representa la fluencia relativa del cemento asfáltico y la prueba con que se determina simula las condiciones de trabajo del cemento asfáltico durante la vida útil del pavimento.

[5] Determinado mediante el procedimiento de prueba correspondiente al método de ensayo A de la Norma ASTM D6084M-13.

[6] La respuesta elástica es el porcentaje de deformación recuperada en cada ciclo de esfuerzo-deformación-recuperación y permite determinar el comportamiento elástico y la susceptibilidad a la deformación del cemento asfáltico



2.4. Tipos de asfaltos utilizados para la carpeta asfáltica.

Cementos asfálticos grado PG. Son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que esperan en el lugar de su aplicación, esto a su vez asegura un desempeño adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por las temperaturas bajas o por fatiga.

- **Grado de desempeño (Pg).** El grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. Esto también nos ayuda en seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil.
 - **PG 64-22:** Tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como 64°C y tan bajas como -22°C. Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de 6°. Las temperaturas máximas generalmente se consideran de 64°C a 88°C y las mínimas de -44°C a -22°C.

La temperatura máxima del Grado PG seleccionado según el clima, se ajusta de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años (ΣL_{10}) y de acuerdo con la velocidad de operación, como se indica en la Tabla 2.4.1 de acuerdo la Norma (N-CMT-4-05-004/08).

Tabla 2.4.1. Ajustes del Grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación.

Intensidad del	Grado PG	Ajuste por	Ajuste por	Ajuste por
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Los Grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registran en el país, sin embargo, para fines prácticos, es recomendable seleccionar unos cementos asfálticos que corresponda a uno de los tres grados PG que se muestran en la figura 2.4.1.

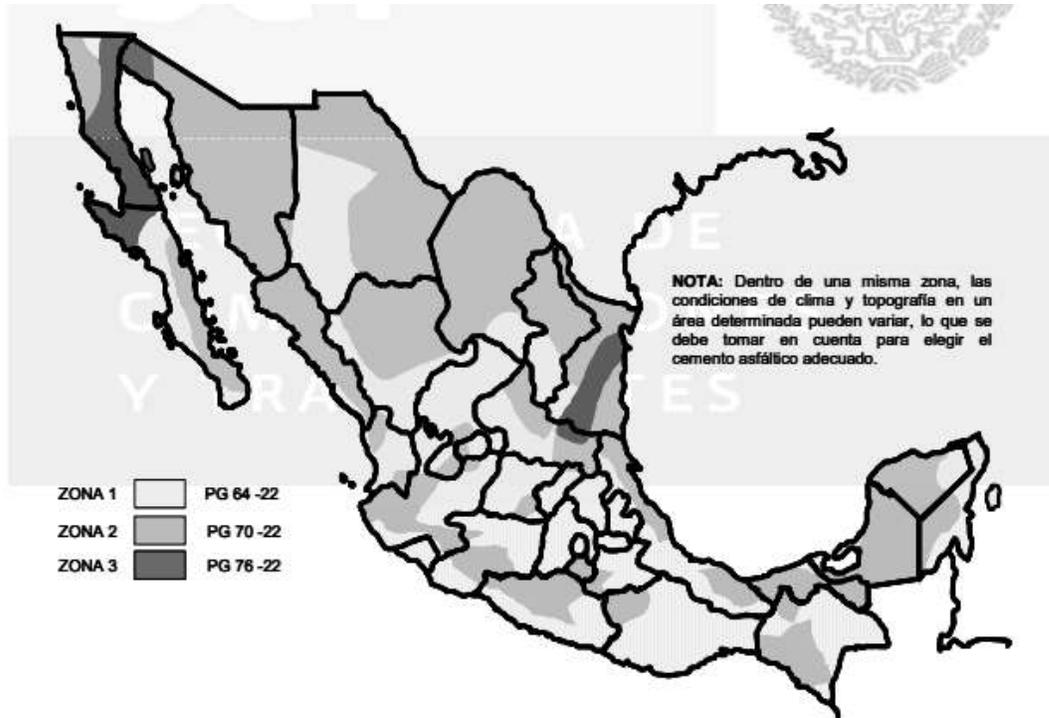


Fig. 2.4.1. Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos Grado PG.

Emulsiones asfálticas. Están compuestos principalmente por tres ingredientes que son: asfalto, agua y un agente emulsificante.

La utilización de emulsiones asfálticas para pavimentos tiene grandes ventajas sobre otras formas de utilizar el asfalto, una de ellas es él poder ser empleada a temperatura ambiente y la no-emisión de contaminantes o vapores tóxicos a la atmosfera. En la Tabla 2.4.2 se muestra la relación porcentual del contenido aproximado de los distintos ingredientes que componen una emulsión asfáltica.

Tabla 2.4.2. Composición de las emulsiones asfálticas

Elemento	Emulsión normal	Emulsiones modificada con polímero
Betún asfáltico	40 – 70	50 – 70
Emulsificante	0.2 – 1.5	0.2 – 1.5
Agua	40 - 60	35 – 45
Polímero	0	1 – 4



Asfaltos modificados.

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interface entre el material pétreo y material asfáltico, conservándola aun en presencia del agua. También puede aumentar su resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo. Los principales modificadores utilizados en materiales asfálticos son:

- ✦ **Polímero tipo I.** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- ✦ **Polímero tipo II.** Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- ✦ **Polímero tipo III.** Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo plastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad (HDPE, LDOE), entre otras. Se utilizan en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.



Hule molido de neumáticos. Es un modificador de asfaltos que mejoran la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

Existen numerosos aditivos o agentes modificadores para mejorar alguna de sus propiedades del asfalto entre ellos se encuentran:

- Los activantes: se utilizan para mejorar la adhesividad del asfalto con el material pétreo. Para agregados silíceos o ácidos.
- Asfaltos naturales: Estos aumentan la cohesión del asfalto y disminuyen la susceptibilidad térmica. Los tipos más utilizados son el asfalto trinidad y la glinsonita.
- Fibras naturales o sintéticas: Aumenta fundamentalmente la resistencia a la tracción y flexión. Como son amianto, vinílicas, acrílicas, etc.
- Alquitranes: aumentan la adhesividad del asfalto, el rápido envejecimiento y la susceptibilidad térmica. Son líquidos que resultan de la reconstrucción del residuo que se obtiene de la destilación del carbón de la hulla.
- Látex poliméricos: son elastómeros que se comercializan en forma de emulsiones ya sea catiónicos o aniónicos.
- Materiales poliméricos: mejoran las propiedades mecánicas y reológicas, aumentan la resistencia a la deformación permanente y la rotura en un más amplio de temperaturas, tensiones y tiempos de cura, mejoran la adhesividad de los agregados. Como por ejemplo el hule SBS de estireno-butadieno es un tipo de polímero comúnmente usa para la modificación del asfalto, para mejorar sus características.

Asfaltos cortados o Cutbacks. Son productos obtenidos por la incorporación a los betunes asfálticos de disolventes hidrocarbonados. Sus disolventes incorporados deben ser de naturaleza compatible con la del betún asfáltico para que no se produzca precipitaciones de Asfáltenos, además se utilizan disolventes que nacen del mismo crudo asfáltico.

En la etapa de colocación para poder ser empleado requiere ser calentado para su adecuada utilización.

Se le conoce al curado de un asfalto cortado al proceso de evaporación de los disolventes que contienen, se clasifican de acuerdo al tiempo de curado que necesitan para la adecuada colocación en carreteras: curado rápido (RP), curado medio (MC), curado lento (SC).



2.5. Deterioros de los pavimentos flexibles en México

Deterioros en la superficie. Son aquellos que se pueden apreciar a simple vista ya que están expuestos por los diferentes factores que intervienen.

- Desprendimientos.
- Desprendimientos de la estructura
- Roturas
- Varios

Desprendimientos de la estructura.

- 1) **Baches.** Huecos de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o designación inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando huecos.
- 2) **Levantamiento por congelación.** Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas del pavimento. Las principales causas son: son acciones de heladas, ciclos de congelación y descongelamiento.
- 3) **Pérdida de agregados.** Como su nombre lo indica se trata de un deterioro causado por la pérdida de agregados de capas asfálticas con espesores mayores a 5 cm, algunas causas que provocan este fenómeno son; asfalto inadecuado, agregado pétreos inadecuado por falta de adherencia en el asfalto, agregado sucio, etc.
- 4) **Pérdida de capa de rodadura.** Este deterioro es el producto del desprendimiento de asfalto en la carpeta asfáltica, algunas de sus causas son; asfalto inadecuado, limpieza insuficiente previas al tratamiento superficial, exceso de agua en la capa de apoyo que produce delaminación, etc.
- 5) **Pérdida de base.** Se trata del desprendimiento del material de la base en la que se apoya en la carpeta asfáltica, después de la pérdida de ésta, este deterioro se presenta generalmente en bases no tratadas, son causa de; espesor insuficiente de la carpeta asfáltica, asfalto inadecuado, insuficiente penetración del riego de imprimación en bases hidráulicas, etc.

Deterioros de la superficie.

- 6) **Roderas.** Este deterioro ocurre en el perfil transversal por el hundimiento a lo largo de las rodadas, posterior aparecen cordones laterales a cada lado de la rodera. Algunas de sus causas a este deterioro son; uso de asfaltos blandos, dosificación del asfalto en exceso, uso de agregados redondos, compactación o calidad deficiente de la base.
- 7) **Ondulaciones.** Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternados. Son causados por: unión deficiente entre carpeta asfáltica y/o base, estabilidad de la mezcla deficiente, acción de tránsito intenso,



bases de mala calidad, deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en las capas superiores, etc.

- 8) **Protuberancias.** Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones. Son causados por: tránsito intenso, estabilidad inadecuada, compactación inadecuada, acción de heladas, deformaciones plásticas de los materiales.
- 9) **Crestas.** Crestas en el sentido paralelo al eje del camino, presentándose 2 y hasta 4 crestas a todo lo largo de ciertos tramos. Son causadas por: tránsito intenso muy canalizado, pésima estabilidad de la mezcla asfáltica, liga inadecuada entre capas asfálticas.

Agrietamientos.

- 10) **Agrietamiento longitudinal.** Fisura longitudinal sensiblemente al eje de la carreta, con variable abertura de 3 mm. Algunas de sus causas son; asfaltos envejecidos, uso de asfaltos muy duros, gradiente térmico superior a los 30° C.
- 11) **Agrietamiento transversal.** Fisura transversal sensiblemente al eje de la carretera con abertura variable de 30 mm.
- 12) **Agrietamientos tipo mapa o bloque.** Fisuras transversales y longitudinales conectadas entre sí para formar una figura similar a unos rectángulos.
- 13) **Piel de cocodrilo.** Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm. Su nombre "piel de cocodrilo" porque son grietas interconectadas formando pequeños polígonos. Son causados por: soporte inadecuado de la base, durabilidad de la estructura del pavimento, fatiga, envejecimiento, debilidad de la estructura del pavimento, escasez de espesor de la carpeta.

Daños de la superficie.

- 14) **Exudación de asfalto.** Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de la carpeta formando una película a través de grietas, forma una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa. Algunas de las causas son; el exceso de asfalto en la dosificación, derrame de solventes, etc.
- 15) **Desgastes de agregados.** Presencia de agregados que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el asfalto, algunas de sus causas son; uso de agregados suaves susceptibles al pulimiento, por ejemplo calizas.
- 16) **Exposición de agregados.** Presencia de agregados parcialmente expuestos fuera de la superficie de la carpeta; se produce por la acumulación de agua en capas subyacentes, exceso de finos en capas de la sección del pavimento.



2.6. Acciones de conservación.

El mantenimiento y rehabilitación de pavimentos es alguno de los temas de suma importancia y preocupación, ya que en México las carreteras son el principal modo de transporte, se podría decir que son pilares de la actividad económica del país y a los costos de conservación asignados anualmente, que siempre ha sido y serán escasos, por estas circunstancias se debe buscar la solución más económica pero factible esto se puede dividir en trabajos de conservación rutinaria, trabajos de conservación periódica y trabajos de reconstrucción.

Trabajos de conservación rutinaria.

- **Limpieza de la superficie de rodadura y acotamientos.** La limpieza de la superficie de rodadura y acotamientos, es el conjunto de actividades que se realizan sobre la superficie del pavimento con el propósito de eliminar objetos sólidos, materias pulverulentos, sustancias líquidas y semilíquidas que afectan la comodidad y seguridad del usuario.
- **Sellado de grietas aisladas en carpetas asfálticas.** Son un conjunto de actividades necesarias para sellar grietas de hasta un (1) centímetro de abertura, que se manifiestan de forma aislada en carpetas asfálticas, con el propósito de prevenir la entrada de cuerpos extraños y del agua proveniente de escurrimientos superficiales.
- **Bacheo superficial aislado.** Son un conjunto de actividades que se realizan para reponer una porción de la carpeta asfáltica que presenta daños como oquedades por desprendimientos o desintegración inicial que los agregados. Se considera bacheo superficial aislado cuando las áreas afectadas tengan una extensión menor de cien (100) metros cuadrados, por cada siete mil (7000) metros cuadrados de pavimento.
- **Bacheo profundo aislado.** Al igual que el bacheo superficial aislado es el reponer porción del pavimento asfáltico que representa daños como deformaciones y oquedades por desprendimientos o desintegración. Se considera bacheo profundo aislado cuando las áreas afectadas tienen una extensión menor de cien (100) metros cuadrados, por cada siete mil (7000) metros cuadrados de pavimento.

Trabajos de conservación periódica.

- **Renivelar.** Cuando se necesitan una o varias capas de asfalto para renivelar hundimientos o depresiones, se debe colocar con su superficie paralela a la rasante del proyecto para asegurar la uniformidad de la superficie de rodadura, como se aprecia en la fig.15. Cuando se coloca la mezcla asfáltica debe ser nivelada con la mínima cantidad de fresado ya que su exceso ocasiona que los materiales pequeños bajen dejando al material grueso arriba. El tendido y la compactación deberán realizarse en capas cuyo espesor varía dependiendo del equipo de compactación que se

disponga. La superficie terminada debe quedar al mismo nivel que la superficie.

Se ejecuta en tramos continuos o en tramos aislados diversos, según lo indicado en el proyecto y los trabajos para ejecutar o la especificación particular.

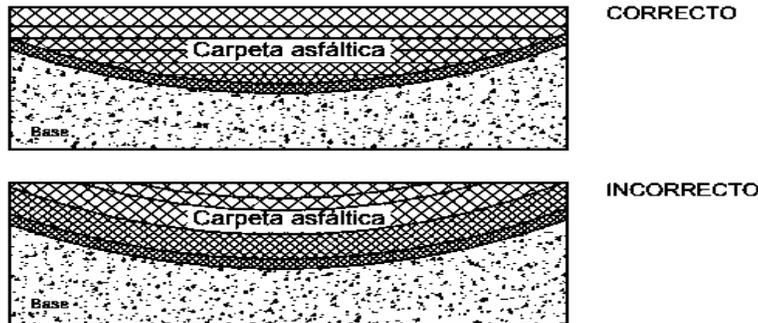


Fig. 2.6.1 Forma correcta de nivelar una carpeta asfáltica

- **Carpeta de concreto asfáltico.** Consiste en una capa con valor estructural, utilizada como superficie de rodadura y de desgaste.



Fig. 2.6.2. Colocación de carpeta de concreto asfáltico

En caso que la superficie existente no esté apta, se procede a ejecutar previamente un trabajo de perfilado o fresado con maquinaria que cuente con sensores, utilizando procedimientos diversos. Posterior se hace un fresado de la superficie a una profundidad variable de 1 cm, mediante varillas y/o tornillos montados al chasis de la plataforma y evitando fracturar los agregados. “Reclamite” que es una emulsión especial de aceite de petróleo y resinas. El producto es de baja viscosidad, por lo que se puede emplear a cualquier temperatura superior a los 0 °C. Por último se coloca una sobrecarpeta con el espesor y características de materiales apropiados, según sea el diseño para proceder a la compactación específica.

- **Tratamientos superficiales.** Son trabajos cuyo objeto es restituir la capa de desgaste y sus características como superficie de rodadura, utilizando



procedimientos diversos, según lo indicado en el proyecto y los trabajos por ejecutar o la especificación particular.

- **Riego de sello.** Tiene varios objetivos para el mejoramiento de un pavimento flexible, como lo es impermeabilizar el pavimento, restituir la rugosidad, sellado de grietas, etc. Estos son tratamientos altamente competitivos desde el punto de vista económico. Se constituye principalmente de alquitranes, productos derivados de petróleo y emulsiones aniónicas. El asfalto en un riego de sello tiene como objetivo el pegar agregado grueso a la base y sellar el pavimento. Para evitar fallas prematuras del tratamiento superficial se requiere que la superficie de aplicación se encuentre estructuralmente sana y previamente reparados los deterioros existentes; así como cumplir con los requerimientos antes mencionados, incluyendo una dosificación adecuada de emulsión asfáltica.
- **Fresado superficial.** El fresado superficial es el recorte o desbaste de la capa superior del pavimento, en un espesor reducido no mayor de 3 cm, 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 la rasante existente.
- **Recuperación en caliente de carpetas asfálticas.** Es el conjunto de actividades que se realizan para desintegrar superficialmente la carpeta asfáltica por medios mecánicos y con aplicación de calor; remezclar el material recuperado con o sin la adición en el lugar de materiales pétreos nuevos, materiales asfálticos, cal, cemento Portland u otros; tender y compactar el material recuperado para formar una nueva carpeta o una base asfáltica, según lo indique el proyecto o la secretaria.

Trabajos de reconstrucción.

- **Recuperación en frío de pavimentos asfálticos.** Es un conjunto de actividades que se realiza para desintegrar la carpeta asfáltica y parte de la totalidad del material de base o subbase, por medios mecánicos en frío.
- **Recorte de pavimentos.** Son actividades en las cuales implica retirar la carpeta, base y subbase por medios mecánicos, con el propósito de sustituirlas por otras nuevas.
- **Construcción de subbases o bases hidráulicas.** Es una serie de procesos en el cual implica construir subbases y bases hidráulicas, para la reconstrucción o refuerzo de pavimentos.



2.7. Auscultación del pavimento.

La evaluación de pavimentos se describe como el conjunto de actividades que se realizan para determinar las condiciones estructurales y funcionales en que se encuentra un pavimento.

Determinación del índice de regularidad internacional (IRI). Es una medida de referencia que representa la regularidad de la superficie de un pavimento a través de un estadístico del perfil longitudinal del mismo. Este estadístico se calcula como la relación entre el desplazamiento acumulado de la suspensión de un vehículo y la distancia recorrida por el mismo a una velocidad de ochenta (80) kilómetros por hora, y se expresa en metros por kilómetro o milímetros por metro. En lugar de un sistema mecánico real, el vehículo empleado en el cálculo del IRI corresponde a un modelo matemático conocido como cuarto de carro, que simula la circulación de un solo sistema rueda – suspensión.

Teóricamente, el IRI puede variar entre cero (0) para una superficie perfectamente plana hasta dieciséis (16) metros por kilómetro o incluso más, para pavimentos altamente irregulares que experimentan una erosión avanzada y la existencia de depresiones profundas. En la figura 2.7.1 se muestra la escala del IRI

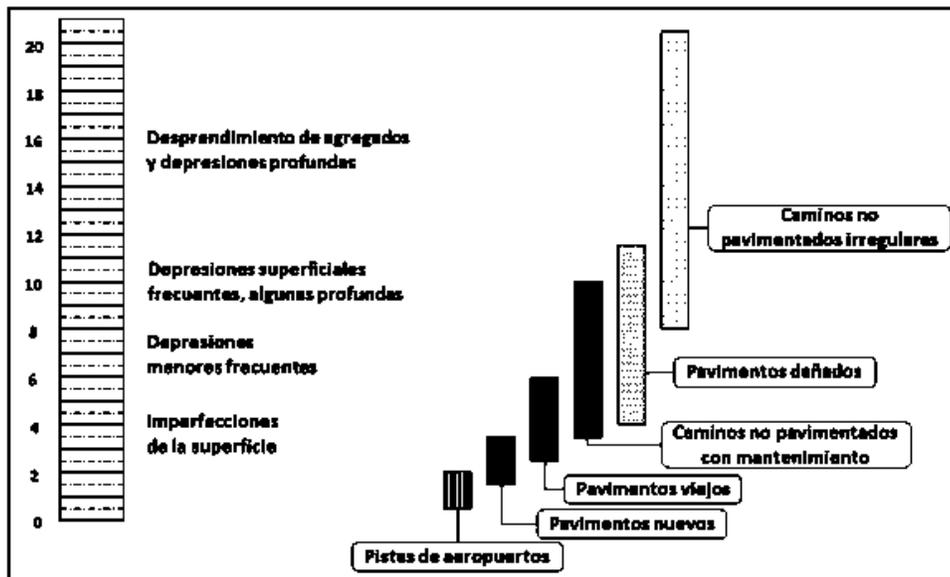


Fig. 2.7.1 Escala original del Banco Mundial para IRI.

originalmente descrita por el Banco Mundial.

Determinación del coeficiente de fricción. La fricción o resistencia al deslizamiento de los pavimentos, es la fuerza que se opone al movimiento relativo instantáneo entre los neumáticos de un vehículo y la superficie de un pavimento. Esta fuerza, depende primordialmente de la microtextura del pavimento.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



La microtextura proporciona la adhesión necesaria entre los neumáticos y la superficie, a través de las asperezas de las partículas individuales del agregado pétreo.

La fricción se identifica a través de un coeficiente adimensional denominado coeficiente de fricción, que se define como la fuerza tangencial que se desarrolla entre la banda de la rodadura del neumático y la superficie del pavimento. Esta fuerza se mide en la relación con la carga vertical debida al peso del vehículo, como se queda expresado con la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{F_R}{N}$$

Donde:

μ : Coeficiente de fricción, CF

F_R : Fuerza tangencial

N : Fuerza normal al plano en que ocurre la fricción.

El coeficiente de fricción se determina de manera indirecta, empleando equipos con uno o más neumáticos de prueba o con un mecanismo deslizante.

Otra variable fundamental vinculada a la fricción es la velocidad de deslizamiento, la cual se define como la velocidad de deslizamiento entre la velocidad del vehículo (expresada en porcentaje). Una rueda que gira libremente tiene una velocidad y una relación de deslizamiento de cero, mientras la que una rueda totalmente bloqueada tiene una velocidad de deslizamiento igual a la velocidad del vehículo, y una relación de deslizamiento igual a la unidad.

El máximo valor de la fricción se presenta normalmente cuando la relación de deslizamiento alcanza valores entre diez (10) y veinte (20) por ciento. En la figura se muestra al comportamiento general de la fricción con respecto a la relación de deslizamiento.

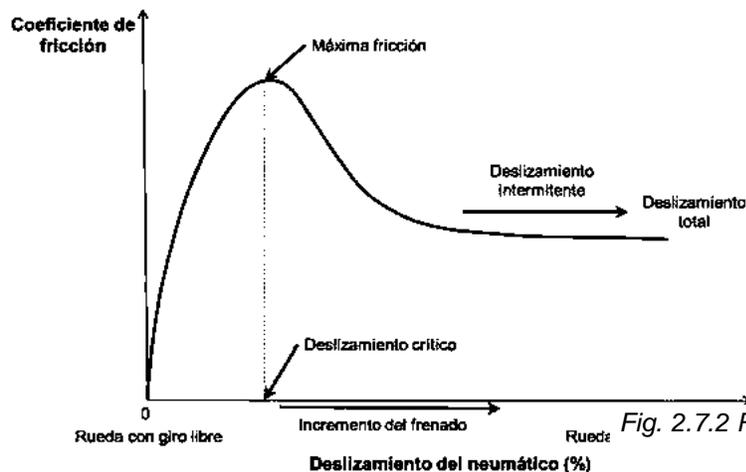


Fig. 2.7.2 Relación de deslizamiento y fricción.



Determinación de la macrotextura: Es el relieve de la capa de rodamiento y depende de la composición de la mezcla, riego de asfalto o del tratamiento de superficie dado a la capa de concreto.

La macrotextura es asimismo significativa en la evolución del estado de la capa de rodamiento. El pavimento recién construido tiene un determinado valor de la macrotextura, pero con el uso ese valor inicial va disminuyendo hasta un mínimo: a partir de ese momento y como consecuencia de un proceso de deterioro, con pérdida de cohesión entre los componentes de la capa, la macrotextura vuelve a crecer de forma significativa.

Son las desviaciones de la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana verdadera, con longitudes de onda entre cero como cinco (0,5) y cincuenta (50) milímetros. La resistencia al deslizamiento de los pavimentos está determinada por una combinación del micro y la macrotextura.

Determinación de la profundidad de rodaderas (PR). La presencia de rodaderas en el pavimento afecta no solo la condición estructural del pavimento (disminuye su vida útil) sino también, en niveles extremos, afecta su condición funcional dificultando las condiciones de manejo y de seguridad de los usuarios, debido a que las rodaderas al ser una depresión en el pavimento, favorece la acumulación de agua en la superficie del camino pudiendo causar el fenómeno de hidroplaneo (deslizamiento sobre el agua) en condiciones de circulación bajo lluvia, lo que compromete la seguridad de los usuarios.

La profundidad de las rodaderas es la distancia máxima respecto a la superficie plana del pavimento de la profundidad máxima perpendicular del surco generado por las deformaciones del pavimento en una ubicación específica.

Determinación de las deflexiones de un pavimento (DEF). Es la medida de deformación elástica o de recuperación vertical que experimenta un pavimento al paso de una carga. Es función tanto del tipo y estado del pavimento como el método y equipo de medición, así como de la temperatura y humedad presentes en el pavimento. Su medición se realiza en forma no destructiva y se utiliza para relacionarla con la capacidad estructural del pavimento.

Las mediciones en los distintos sensores determinan la forma de la cuenca de deflexiones que se puede usar para estimar las propiedades de los materiales de una estructura de pavimento. También sirve para la identificación de secciones que son estructuralmente uniformes, así como de aquellas secciones débiles y/o deterioradas.

La capacidad estructural que tiene el pavimento para soportar las cargas de tránsito que pasan por él durante el periodo de vida de diseño establecido. La capacidad estructural puede conocerse mediante pruebas no destructivas en el



pavimento, a través de las cuales se determina si existen deficiencias estructurales incluso antes de que se manifiesten superficialmente.

Mediante el uso de la cuenca se puede calcular la capacidad estructural de un pavimento para prever sus necesidades de refuerzo.

Para la determinación de las deflexiones de los pavimentos se consideran los siguientes parámetros, que tienen influencia en el resultado:

- Temperatura. Los materiales son susceptibles a los cambios térmicos, por lo que es necesario normalizar las deflexiones a una temperatura base.
- Humedad. Afecta las mediciones de las deflexiones debido a su influencia en las capas inferiores del pavimento.
- Esfuerzo. Aplicado por el equipo de medición no es constante para todas las mediciones. El valor de deflexión determinado es función del esfuerzo aplicado.

2.8. Equipo de alto desempeño para la evaluación de deterioros. Vehículo ARAN.

El vehículo ARAN (Automatic Road Analyzer), es capaz de grabar, registrar y clasificar las diversas fisuras del firme de acuerdo con una configuración previamente elegida por el usuario.

La tecnología que utiliza, puede resumirse en cuatro etapas bien diferenciadas:

- Toma de imágenes del pavimento: Se efectúa mediante dos cámaras retráctiles ubicadas en la parte trasera del techo. Unos flashes situados en la parte superior del vehículo emiten una luz estroboscópica varias veces más brillantes que la luz solar.
- Detección de las fisuras: Las imágenes son digitalizadas en imágenes continuas. El software detecta automáticamente todas las fisuras de más de 2 mm, lo que es más que suficiente para la gestión de una red de carreteras. La única intervención del usuario es para fijar parámetros de brillo y contraste.

Si se requiere más precisión, el técnico puede “marcar” fisuras más finas que el sistema no detecta, pero el ojo humano sí.

- Clasificación por tipo y ubicación: estableciendo su número y longitud.
- Resultados: resumen estadístico de fisuras, mapa digital de las fisuras y obviamente las fotografías del pavimento.

En resumen, el vehículo permite eliminar el factor subjetivo en la evaluación de las fisuras y asegura un seguimiento fiable, mediante comparación, del deterioro del firme entre diversas campañas. Además, el equipo está provisto de tres cámaras de video digital para la obtención de imágenes de la carretera y su entorno, para una mejor ubicación de las mediciones realizadas, consiguiendo una simulación de una imagen panorámica de alta definición.



Fig. 2.8.1 Equipo ARAN

Hawkeye ARRB (Australian Road Research Board).

Equipo integrado para el monitoreo automático avanzado de los caminos, está formado por 3 sistemas de adquisición:

- Sistema Láser.
- Sistema GPS (GIPSI-TRACK).
- Sistema de Video Digital.

Las cámaras láser ubicadas en la barra portan láser del equipo, emiten un rayo sobre un punto del pavimento y mediante un receptor situado en un ángulo respecto al láser se determina la altura de dicho punto.

Las cámaras de IRI, una sobre cada rueda, miden la altura del vehículo sobre la carretera. Los acelerómetros monitorean las fuerzas verticales causadas por las deformidades de la superficie. Estos datos del perfil, son usados para calcular la rugosidad de baja-velocidad (confort al manejar) de la superficie de la carretera.

El sistema de video, es un sistema de registros de video digital del camino a través de cuatro (4) cámaras de registro, una en posición frontal, otra en posición lateral y dos en la parte trasera en dirección al pavimento (la superior es la cámara macro e inferior la cámara micro).

El sistema de video registra en su computador central la adquisición visual del camino en cuatro posiciones, las que muestra en tiempo real en la consola del operador. Un odómetro especialmente acondicionado para este sistema da la referencia en metros de cada una de las mediciones efectuadas. Los registros de video de los caminos inspeccionados quedan almacenados en el disco duro del computador central, permiten una filmación continua de 20 Km. de camino por archivo.



Fig. 2.8.2 Equipo ARRB Hawkeye

3D Ultra data acquisition system (fuente: <https://www.sciencedirect.com>)

El sistema de imágenes por láser PaveVision3D se ha convertido en un sofisticado sistema para llevar a cabo la recopilación de datos de carriles completos en carreteras a velocidades de hasta 60 mph (aproximadamente 100 km / h) a una resolución de 1 mm (Wang, 2011). La figura 2.8.3 muestra el vehículo de datos de carretera digital (DHDV) equipado con 3D Ultra. 3D Ultra puede adquirir tanto la intensidad de imágenes de láser 3D como los datos de rango desde la superficie del pavimento a través de 2 conjuntos de sensores separados. Recientemente, se han instalado dos acelerómetros digitales de alta resolución 3D en el sistema, que son capaces de informar el perfil de superficie de pavimento compensado y generar índices de rugosidad. Los datos recopilados se guardan en cuadros de imagen con una dimensión de 2048 mm de longitud y 4096 mm de ancho. En resumen, los datos de superficie de pavimento 3D de 1 mm se pueden utilizar para.

- 1- Evaluación exhaustiva de las fallas de la superficie: detección y clasificación automática e interactiva del agrietamiento basada en diversos protocolos de agrietamiento;



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



- 2- Perfilado: transversal para la formación de surcos y longitudinal para la rugosidad (índice de rugosidad de Boeing e índice de rugosidad internacional);
- 3- Análisis de seguridad: evaluación de macro textura en términos de profundidad media de perfil (MPD) y profundidad media de textura (MTD), predicción de hidroplaneo e identificación y evaluación de ranurado;
- 4- Levantamiento de geometría vial: curva horizontal, pendiente longitudinal y pendiente transversal.



Fig.2.8.3 Vehículo de datos de recolección

Con el sistema de proyección láser de línea de alta potencia y los filtros ópticos personalizados (Fig. 2.8.3), el DHDV puede funcionar a velocidad de autopista durante el día y la noche, lo que garantiza la calidad y la consistencia de la imagen. Como la última tecnología de sensores de imágenes, 3D Ultra puede adquirir datos de imágenes láser de intensidad y rango desde la superficie del pavimento a través de 2 sensores separados. Además de los sensores de la cámara 3D, las colecciones de datos de posicionamiento (incluido el girocompás de precisión, el receptor GPS diferencial de alta frecuencia, el instrumento de medición de distancia y la unidad de medición inercial (IMU)) se incorporan en el 3D Ultra para garantizar una alta precisión geográfica. Una IMU es un dispositivo electrónico que mide e informa la velocidad, la orientación y las fuerzas gravitacionales mediante una combinación de acelerómetros y giroscopios. Una IMU permite que un GPS funcione cuando las señales de GPS no están disponibles, como en túneles, dentro de edificios o bajo interferencia electrónica. Las IMU funcionan, en parte, al detectar cambios de orientación en inclinación, balanceo y orientación, y se pueden usar para determinar parámetros geométricos del pavimento, como curvas horizontales, pendiente longitudinal y pendiente transversal.

El sistema 3D Ultra instala 2 aplicaciones de software clave, el analizador de deterioros automatizado 3D (ADA3D) (Fig. 2.8.4) y el sistema de información de autopistas basado en multimedia (MHIS). ADA3D es una herramienta automática de análisis de craqueo. Al implantar los sofisticados algoritmos, ADA3D actualmente es capaz de realizar análisis automatizados de agrietamiento, entramado, rugosidad y textura con una resolución de 1 mm a velocidad de carretera basada en varios protocolos de craqueo. ADA3D también permite a los usuarios realizar análisis de severidad semi-automatizados.



Fig. 2.8.4 Sistema de proyección láser

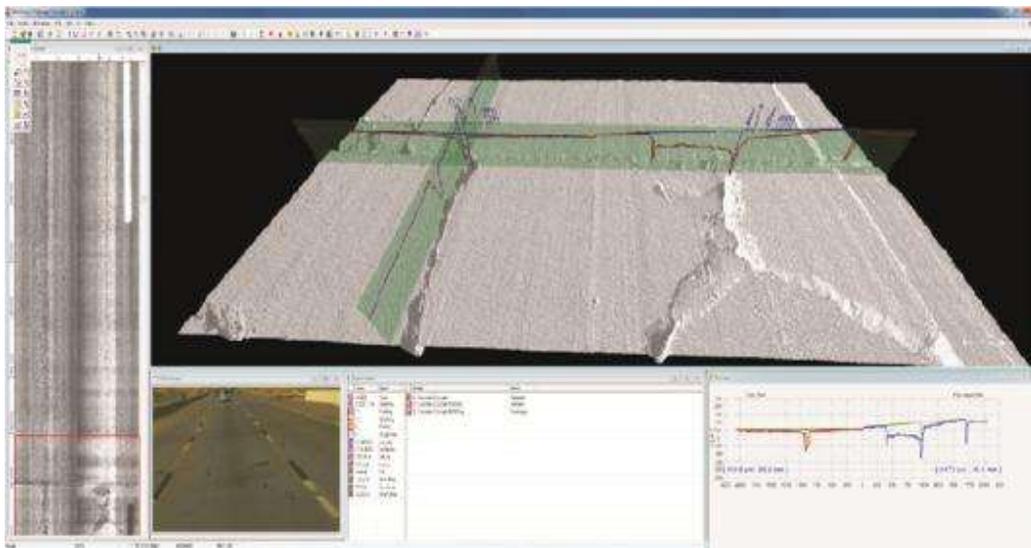


Fig. 2.8.5 MHIS-3D interface



3. Metodología

En el diagrama que se muestra a continuación es el proceso de la metodología de esta investigación en cuatro fases: recopilación de información, análisis de información, análisis comparativo, propuesta de catálogos de deterioros.

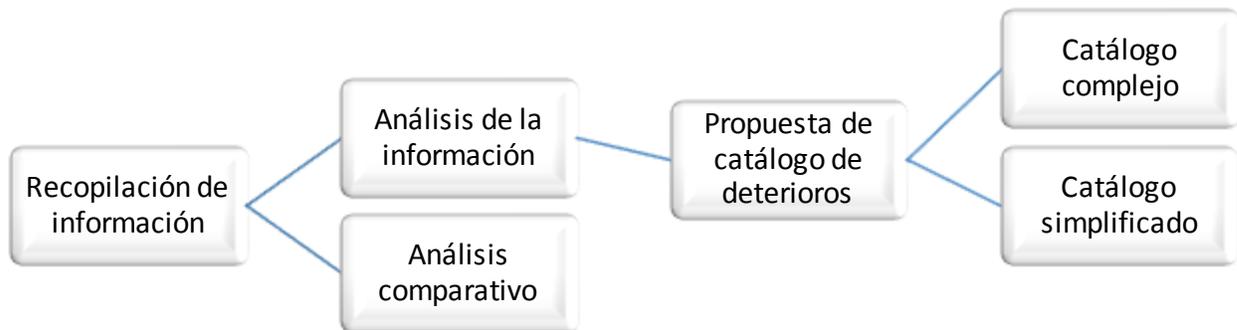


Fig. 3.1.1. Proceso de la metodología de la investigación

3.1. Recopilación de información

Se realizó una búsqueda de los principales elementos que intervienen en los deterioros, así como de los catálogos existentes tanto en el país así como en otras naciones, se determinaron criterios de búsqueda, los cuales fueron los:

- Seleccionar los catálogos por tipo de pavimento.
- Determinar diferencias entre los que son para pavimentos flexibles y rígidos.
- Se revisó los catálogos existentes en América del Norte, posteriormente se revisó los existentes en Latinoamérica, considerando que son las prácticas más cercanas a lo que se realiza en México, finalmente se revisaron un par de ejemplos europeos.

La recopilación se caracterizó clasificando los siguientes puntos:

- Año de edición.
- País.
- Autor.
- Contenido.
- Si existía cuantificación.
- Si la cuantificación era cuantitativa o cualitativa, entre otros.



Para llevar a cabo la recopilación de información es importante que sea llevada cuidadosamente respetando un orden estricto así como que las fuentes de información está sustentada adecuadamente, una vez que se siguen los puntos en el párrafo anterior se garantiza el comentado.

3.2. Análisis de la información.

Como complemento a la recopilación de información, se analizaron los conceptos, que afectan los deterioros de los pavimentos, por lo que se realizó un análisis de la Normativa para la Infraestructura del Transporte.

La Normativa de la Infraestructura para el Transporte (NIT) nos brinda confianza y seguridad en sus definiciones ya que es muy concreta en su información y que es factible de entender, así como los valores que indican a las características de los materiales ya que estos fueron corroborados en laboratorios y analizados a fondo.

Dentro de la Normativa de la Infraestructura para el Transporte (NIT) se consultó los siguientes apartados:

- Las normas de construcción (CTR) dentro de las cuales se analizó los conceptos de obra de los cuales fueron; terracerías y pavimentos. Esto se hizo con el fin de comprender los conceptos de las capas del pavimento flexible.
- Las normas de características de los materiales (CMT), esto con el fin para analizar las características que deben tener los materiales para su correcto funcionamiento.
- Las normas de conservación (CSV) ya que en este apartado nos indica los trabajos de conservación que se le pueden dar al pavimento para así tratar los deterioros y que el pavimento este en óptimas condiciones.

Se procedió por analizar cada catálogo, iniciando con el catálogo nacional, el cual solo detallaba la definición de cada deterioro y con su respectiva fotografía, han pasado muchos años de su publicación y en el cual durante todo este tiempo no se actualizado y tampoco se ha realizado ningún otro.

El resto de los catálogos cuentan con gran información y detalles que los catálogos antes mencionados no cuentan, como son la forma de evaluar el deterioro que entre ellos se destaca el catálogo de Italia (K) por su peculiar forma de determinar la severidad del deterioro por medio de gráficas.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACION Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



3.3. Análisis comparativo.

Se procedió hacer una comparativa entre los catálogos seleccionados con el fin de resaltar lo más significativo de cada uno, algunos puntos de los cuales se tomaron para comparar estos catálogos fue:

- Año de edición.
- País.
- Autor.
- Cuantificación de deterioros.
- Causas de deterioros.
- Evaluación y severidad de los deterioros.

Se procede a hacer a la comparativa como antes se menciona destacando esos puntos, para dicha comparativa se analiza cada deterioro de los catálogos en base al listado del catálogo del país, ya que uno de los puntos principales fue el complementar ese catálogo dándole una actualización.

En la tabla 3.3.3 se enlistan los catálogos comparados, buscando una diversidad entre años, autores y países.

Tabla 3.3.3 lista de los diferentes catálogos.

Titulo	AÑO DE PUBLICACION	AUTORES	País
Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (IMT)	1991	IMT SCT	México
Catalogue des dégradations de Surface des chaussées	1998	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées	Francia
Pavement Management System	2001	DRM™ System	E.U.
Pavement Maintenance Manual	2002	Nebraska Department of Roads	E.U.
Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles De Iberia e Iberoamérica	2002	Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamerica.	Latinoamérica
Manuel D'identification des dégradations des chaussées souples	2002	Transports Québec	Canadá
Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition)	2003	U.S. Department of Transportation in the interest of information change	E.U.
UDOT Distress Manual	2003	UDOT	E.U.
Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali	2005	Direzione Generale Infrastrutture e Mobilita	Italia
Pavement Condition Evaluation Manual	2006	NPS ROAD INVENTORY PROGRAM	E.U.
SDDOT'S Enhanced Pavement Management System	2009	South Dakota Department of Transportation initiated the Research Project	E.U.



3.4. Propuesta de catálogo de deterioros.

El objetivo general de esta investigación es el desarrollar un catálogo de deterioros para pavimentos, esto será posible gracias al análisis y comparativa de los catálogos en estudio, así como aportaciones relevantes.

Este catálogo se basará en el listado de deterioros del catálogo de este país, puesto que principalmente está no está actualizado y tampoco cuenta con todos los elementos para realizar una auscultación cuantitativa

Un total de catorce (14) deterioros se propondrán demás catálogos, así como las consideraciones derivadas de la revisión y experiencia del tema, además el catálogo describirá a los deterioros con el siguiente orden:

- a) Definiciones.
- b) Origen.
- c) Causas.
- d) Evaluación y severidad.
- e) Acciones de mantenimiento y reconstrucción.
- f) Imágenes

Ya que algunos catálogos cuentan con su manera de evaluar cada deterioro, para el catálogo se optó por tomar la manera más factible de realizarlo. También ya que los rangos de valores de la clasificación de severidad son distintos entre sí, se opta por el realizar un promedio entre los valores aproximados entre sí y resaltar esos rangos obtenidos en cada deterioro.

Dentro del catálogo se tomarán en cuenta las acciones de mantenimiento o reconstrucción que se le debe dar al deterioro según sea su grado de severidad, estas acciones serán consultadas de acuerdo a la normativa de conservación (CSV) de la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT).

Se opta por el crear dos versiones de él catálogo, una versión detallada donde de una manera más técnica se defina los deterioros, es decir este catálogo será ideal para todo aquella persona que cuente con los conocimientos acerca de los deterioros de los pavimentos, y una versión simplificada es decir este catálogo será ideal para todas las personas con un poco de conocimiento de los pavimentos (ingenieros civiles principiantes). Esto con el fin de lograr que cualquier persona lo pueda interpretar de una manera factible.

Algunas de las fotografías fueron tomadas de las carreteras: Gabriel Zamora – Dr. Miguel Silva, Uruapan – Pátzcuaro, y Otras imágenes se obtuvieron de internet.



4. Resultados.

4.1. Recopilación de información.

Se realizó una búsqueda de los principales elementos que intervienen en los deterioros, así como de los catálogos existentes tanto en el país así como en otras naciones, se determinaron criterios de búsqueda, los cuales fueron los:

- a) Seleccionar los catálogos por tipo de pavimento.
- b) Determinar diferencias entre los que son para pavimentos flexibles y rígidos.
- c) Se revisó los catálogos existentes en América del Norte, posteriormente se revisó los existentes en Latinoamérica, considerando que son las prácticas más cercanas a lo que se realiza en México, finalmente se revisaron un par de ejemplos europeos.

La recopilación se caracterizó clasificando los siguientes puntos:

- a) Año de edición.
- b) País.
- c) Autor.
- d) Contenido.
- e) Si existía cuantificación.
- f) Si la cuantificación era cuantitativa o cualitativa, entre otros.

Para llevar a cabo la recopilación de información es importante que sea llevada cuidadosamente respetando un orden estricto así como que las fuentes de información está sustentada adecuadamente, una vez que se siguen los puntos en el párrafo anterior se garantiza el comentado.

4.1.1. Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (SCT & IMT). País – México.

Pretende proporcionar una ayuda práctica para los ingenieros de campo y de proyecto del Sector Comunicaciones y Transportes. Al describir con detalle los deterioros o fallas más comunes que se presentan en las carreteras de la red nacional mexicana, se incluye de una manera ordenada y concisa, una fotografía descriptiva del deterioro, su definición y las posibles que originan o causan la falla.

Los deterioros enlistados en el catálogo, se subdividen básicamente en cuatro capítulos; deformaciones, roturas, desprendimientos y varios. En los cuales se hace notar las causas mencionadas para cada deterioro.

Fue un trabajo realizado en la Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte, por el Ing. Rodolfo Téllez Gutiérrez y revisado por el Ing. Alfonso Rico Rodríguez, por las divisiones de Laboratorios de Infraestructura del Instituto.



4.1.2. Distress Identification Manual for The LTPP ,Fourth Revised Edition (Manual de identificación de los deterioros para el LTPP, Cuarta edición. País – Estados Unidos.

En 1987, el Programa de Investigación Estratégica de Autopistas comenzó la más gran prueba integral de rendimiento del pavimento en la historia: the Long-Term Pavement Performance (LTPP) o Programa de Rendimiento del Pavimento a Largo-Plazo.

Durante los 20 años de vida del programa, las agencias de carreteras en los Estados Unidos y en otros 15 países habrá recopilado datos sobre el pavimento condiciones, clima y volúmenes de tráfico y cargas de más de 1,000 pavimentos secciones de prueba. Esa información permitirá a los ingenieros diseñar mejores pavimentos y carreteras más duraderas.

Este manual fue desarrollado para proporcionar una base consistente y uniforme para la recolección datos de deterioros para el programa LTPP.

Este manual proporciona un lenguaje común para describir grietas, baches, crestas, desprendimiento de escombros y otras alteraciones del pavimento monitoreadas por el programa LTPP.

El manual está dividido en tres secciones, cada una centrada en un tipo particular de pavimento: (1) asfalto con superficie de concreto, (2) cemento de cemento Portland ensamblado, y (3) concreto de cemento portland continuamente reforzado. Cada uno es descrito e ilustrado.

4.1.3. Pavement Management System (Sistema de Gestión de Pavimentos). País – Estados Unidos.

Este manual identifica varios tipos de deterioros en el pavimento. Se proporciona un resumen del deterioro y un nivel de condición de pavimento aceptable recomendado para DRM. El método de calificación utilizado se basa en la inspección visual del pavimento. Aunque la relación entre el deterioro del pavimento y el rendimiento no está bien definida, existe un acuerdo general de que la capacidad de un pavimento para soportar las cargas de tránsito de una manera segura y sin problemas se ve negativamente afectada por la ocurrencia de deterioros visibles.

El método de calificación proporciona un procedimiento para identificar y describir uniformemente, en términos de severidad y extensión, la angustia del pavimento. La expresión matemática para la Calificación de la condición del pavimento (PCR) proporciona un índice que refleja los efectos combinados de diferentes tipos de peligro, severidad y extensión en el estado general del pavimento.



El método utilizado para calcular la PCR se basa en la suma de puntos deducibles para cada tipo de deterioro observable. Los valores de deducción son una función del tipo de deterioro, gravedad y extensión. La deducción para cada tipo de deterioro se calcula multiplicando el peso de la dificultad por los pesos, por la gravedad y el alcance del deterioro. El peso máximo del deterioro es deducible para los diferentes tipos de deterioros.

4.1.4. UDOT Distress Manual (Manual de deterioros de UDOT). País – Estados Unidos.

Este manual describe los métodos que se utilizarán para realizar evaluaciones visuales de deterioros de pavimento de concreto flexible y rígido.

Los procedimientos de levantamiento proporcionan un método para determinar la condición del pavimento a través de observar y registrar la presencia de tipos específicos de fallas o deterioros en la superficie del pavimento.

Los 3 elementos de la calificación del pavimento son los siguientes:

1. El tipo de deterioro.
2. La severidad de los deterioros.
3. La medida en que la superficie de la carretera se ve afectada por los deterioros.

Puede haber varios tipos de severidad y extensión para cada deterioro. Estos se describen e ilustran en este manual.

4.1.5 Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de Iberia e Iberoamérica. País: Iberia e Iberoamérica.

El interés del presente Catálogo se orienta a las evaluaciones con miras a los trabajos de conservación, rehabilitación o reconstrucción.

Los deterioros de pavimentos incluidos se consideran los más relevantes. Se han agrupado en tres grandes categorías; los de superficie, los de estructura y los que encuentran su origen en la construcción.

De esta manera se tratan quince deterioros, cada uno en una ficha técnica individual, que se considera incluyen los propuestos por España, Chile, Nicaragua y México.

Cada ficha técnica incluye el nombre del deterioro con el grupo y subgrupo en el que se ha clasificado; la descripción del deterioro; una imagen o aspecto superficial; una forma propuesta para su evaluación; los trabajos típicos de corrección asociados a las fronteras establecidas en la evaluación y finalmente, las causas más comunes que dan origen al deterioro descrito.



Se considera que el presente catálogo cumple con las expectativas formuladas en su origen. Se pone a la consideración del Consejo de Directores en su reunión de titulares para que, de así considerarlo conveniente, se integre con la parte preparada por Chile relativa a Pavimentos Rígidos.

4.1.6. Pavement Maintenance Manual (Manual de Mantenimiento del Pavimento). País – Estados Unidos.

La preservación del pavimento es un programa de actividades destinadas a preservar nuestro sistema de carreteras en el que se han invertido millones de dólares. Ahora es evidente que se debe hacer un mayor énfasis en el mantenimiento si queremos preservar y prolongar la vida útil del sistema que ha evolucionado durante los últimos 100 años o más.

Este manual fue preparado con la asistencia de las Divisiones del Departamento de Carreteras de Nebraska. Nebraska tiene aproximadamente 10,000 millas de carreteras estatales. Desde los comienzos en 1895, se ha concentrado en nuevas construcciones y en mejorar estándares. Han llegado a un punto en el que la preservación del pavimento debe compartir el foco de la financiación.

4.1.7. SDDOT'S Enhanced Pavement Management System (Sistema de gestión de pavimentos de SDDOT'S). País – Estados Unidos.

En 1993, el Departamento de Transporte de Dakota del Sur inició el Proyecto de Investigación SD93-14, Mejoramiento del Sistema de Gestión de Pavimentos de Dakota del Sur. A medida que avanzaba el Proyecto de Investigación, se determinó que para evaluar mejor la condición del pavimento, el SDDOT debía realizar un estudio de deterioros más detallado. El Panel Técnico de Investigación identificó los mecanismos de falla para pavimentos que prevalecían y desencadenaría un proyecto de rehabilitación o reconstrucción en Dakota del Sur.

Luego, el Panel Técnico y el personal de Deighton Associates decidieron sobre las categorías de gravedad y extensión para cada problema. Las extensiones y los niveles de gravedad se basaron en los que figuran en el Manual de identificación de socorro del Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) para la Edición 1993 del Proyecto de rendimiento de pavimento a largo plazo. Se hicieron algunas modificaciones para reflejar mejor las condiciones observadas en Dakota del Sur. Luego, el consultor desarrolló un proceso para recopilar datos sobre la condición del pavimento en función de las dificultades individuales.



4.1.8. Pavement Condition Evaluation Manual (Manual de Evaluación de la Condición del Pavimento). País – Estados Unidos.

La Administración Federal de Carreteras (FHWA), Programa de Inventario de Carreteras (RIP) para el Servicio de Parques Nacionales (NPS), recoge los datos de las condiciones de la calzada en superficies de asfalto pavimentadas, incluidas carreteras, veredas y áreas de estacionamiento en parques nacionales en todo el país. Los datos de la condición de la superficie de la carretera se recopilan utilizando un vehículo de recolección de datos automatizado llamado ARAN (Automated Road ANalyzer).

El FHWA RIP se implementa en base a la premisa de que un pavimento preciso la evaluación de la condición de la superficie se puede lograr utilizando la tecnología de detección automática de grietas aplicada a las imágenes digitales. Varios métodos de evaluación de la condición del pavimento se han desarrollado a través de los años con diversos grados de precisión y aceptación. El uso de la fotografía digital para registrar imágenes de pavimentos y la posterior detección y clasificación de grietas ha experimentado mejoras continuas durante la última década. Las cámaras digitales con una resolución cada vez mayor se han vuelto más asequibles, y el código de programación y los algoritmos patentados se han mejorado en el software de detección de grietas. Con el uso de la fotografía digital de calidad y el software automatizado de detección de grietas, FHWA RIP tiene la tarea de ejecutar una evaluación de las condiciones del pavimento en aproximadamente 5,400 millas de carreteras y parkways del Servicio Nacional de Parques. Lo más importante al establecer la base de la identificación del peligro del pavimento es emplear los protocolos de identificación de deterioros utilizados por FHWA. No existe un único sistema de identificación de socorro que sea universal entre las entidades que realizan la identificación de socorro. A los efectos del NPS RIP, FHWA emplea protocolos de identificación de socorro que son específicos de este programa.

4.1.9. Catalogo dei dissesti delle pavimentazioni stradali (Catálogo de deterioros del pavimento). País – Italia.

El catálogo se encuentra disponible en las provincias y municipios de Lombardía y permite la evaluación del pavimento, apoyando las decisiones de las prioridades de intervención y la elección de los tipos de tratamiento de mantenimiento.

El catálogo muestra los deterioros principales y comunes que se pueden encontrar en pavimentos con capas superficiales en conglomerados bituminosos (pavimentos flexibles y semirrígidos). En particular, para cualquier deterioro:

- Se describen las características que permiten clasificar el deterioro.



- Definir, incluso con el soporte visual de las fotografías, los diferentes niveles de severidad con los que puede producirse el deterioro;
- Se reporta una comparación con interrupciones similares;
- Se indica la posible evolución del deterioro. .

Además de que se basa en la elección definitiva del tratamiento depende de muchos factores a considerar caso por caso (presupuesto disponible, duración prevista de la intervención, presencia simultánea de fallos múltiples, etc.) por lo tanto, puede recaer en intervenciones no incluidas entre las propuestas. Para el nivel de gravedad bajo, si no se realiza ninguna intervención, se sugiere realizar al menos el monitoreo de la falta de seguimiento de su evolución.

4.1.10. Catalogue des dégradations de Surface des chaussées (Catálogo de deterioros de la superficie del pavimento). País – Francia.

El catálogo cuenta con la mejora desde entonces de los métodos para medir las características de deformabilidad y la geometría de las secciones largas y transversales o el surgimiento de nuevos métodos de investigación, como las técnicas de radar, no han reducido en modo alguno la importancia de los levantamientos para el daño a la superficie. Con el fin de mejorar la confiabilidad y precisión de la información proporcionada por esta información visual, los laboratorios de carreteras y puentes se han centrado en corregir los registros de degradación.

Para reducir la proporción de subjetividad en la evaluación de los deterioros, fue necesario proporcionar elementos de graduación, en forma de ilustraciones típicas de cada situación.

4.1.11. Manuel D'identification des dégradations des chaussées souples (Manual de Identificación de los Deterioros de Pavimentos Flexibles). País – Canadá.

Este catálogo indica la evaluación del pavimento y descripción de los diferentes deterioros, se basa en una serie de mediciones y observaciones visuales que establecen el estado de la estructura y diagnostican las causas del daño.

Cuando se trata de medidas como las características geométricas o físicas de la carretera, es más fácil establecer criterios que sirvan de base para la evaluación y la rehabilitación. En el caso de observaciones dirigidas a caracterizar el daño superficial y la condición de la carretera, el establecimiento de tales criterios se vuelve más difícil. Esta guía, basada principalmente en una serie de fotos y bocetos, permite la categorización de las degradaciones de la superficie en pavimentos flexibles y proporciona una manera de medir su extensión y severidad



de una manera objetiva, coherente y armonizada con los procedimientos actuales más actuales en América del norte.

Para que la guía sea lo más completa posible, las degradaciones en las áreas rurales y urbanas se dividieron en dos bloques. El primer bloque incluye degradaciones similares en áreas rurales y urbanas y resalta los matices particulares del ambiente urbano. El segundo bloque, más restringido, está compuesto por degradaciones propias del entorno urbano.

4.2. Análisis de la información.

Como complemento a la recopilación de información, se analizaron los conceptos, que afectan los deterioros de los pavimentos, por lo que se realizó un análisis de la Normativa para la Infraestructura del Transporte.

La Normativa de la Infraestructura para el Transporte (NIT) nos brinda confianza y seguridad en sus definiciones ya que es muy concreta en su información y que es factible de entender, así como los valores que indican a las características de los materiales ya que estos fueron corroborados en laboratorios y analizados a fondo.

Dentro de la Normativa de la Infraestructura para el Transporte (NIT) se consultó los siguientes apartados:

- Las normas de construcción (CTR) dentro de las cuales se analizó los conceptos de obra de los cuales fueron; terracerías y pavimentos. Esto se hizo con el fin de comprender los conceptos de las capas del pavimento flexible.
- Las normas de características de los materiales (CMT), esto con el fin para analizar las características que deben tener los materiales para su correcto funcionamiento.
- Las normas de conservación (CSV) ya que en este apartado nos indica los trabajos de conservación que se le pueden dar al pavimento para así tratar los deterioros y que el pavimento este en óptimas condiciones.

Se procedió por analizar cada catálogo, iniciando con el catálogo nacional, el cual solo detallaba la definición de cada deterioro y con su respectiva fotografía, han pasado muchos años de su publicación y en el cual durante todo este tiempo no se actualizó y tampoco se ha realizado ningún otro.

El resto de los catálogos cuentan con gran información y detalles que los catálogos antes mencionados no cuentan, como son la forma de evaluar el deterioro que entre ellos se destaca el catálogo de Italia (K) por su peculiar forma de determinar la severidad del deterioro por medio de gráficas.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



4.2.1. Catálogos en estudio.

Como antes mencionamos se consideran 11 catálogos de deterioros de pavimentos flexibles, a continuación se muestra la comparativa en la tabla 4.3.1.1 de los catálogos en estudio para esta investigación, en el cual se muestra los deterioros que contiene cada uno.

Tabla 4.3.1.1. Comparativa de la clasificación por desprendimientos.

ID	Manual	DESPRENDIMIENTOS DE LA ESTRUCTURA				
		Baches	Levantamiento por congelación	Perdida de agregados	Perdida de capa de rodadura	Perdida de base
A	Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (IMT)	X	X	X	X	
B	Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition)	X			X	
C	Pavement Management System	X	X		X	
D	UDOT Distress Manual	X		X		
E	Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de Iberia e Iberoamérica	X		X	X	X
F	Pavement Maintenance Manual					
G	Sddot's enhanced pavement management system	X			X	
H	Pavement Condition Evaluation Manual	X		X	X	
I	Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali.	X				
J	Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.	X	X			
K	Manuel D'identification des dégradations des chaussées souples.	X	X		X	



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Tabla 4.3.1.2 Clasificación de los deterioros de cada manual.

ID	Manual	DETERIOROS DE LA SUPERFICIE				AGRIETAMIENTOS		DAÑOS DE LA SUPERFICIE		
		Rodera s	Ondulacione s	Protuberancia s	Cresta s	Agrietamiento s	Piel de cocodril o	Exudació n de asfalto	Desgaste de agregado s	Exposició n de agregados
A	Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (IMT)	X	X	X	X	X	X	X		
B	Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition)	X	X	X	X	X	X	X	X	
C	Pavement Management System					X		X		
D	UDOT Distress Manual				X	X	X	X		
E	Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de Iberia e Iberoamérica	X	X			X	X	X	X	X
F	Pavement Maintenance Manual				X	X	X			
G	Sddot's enhanced pavement management system					X	X			
H	Pavement Condition Evaluation Manual	X	X		X	X	X	X	X	
I	Catálogo dei disseti delle pavimentazi one stradali.	X			X	X	X	X	X	
J	Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.	X		X	X	X	X	X	X	
K	Manuel D'identificati on des dégradations des chaussées souples.	X	X		X	X	X	X		

En conclusión de estas comparativas entre los catálogos de deterioros el más completo en cuanto a evaluación, clasificación de severidad, causas, etc. es el catálogo de pavimentos flexibles de Iberia e Iberoamérica y el que carece de información es el Pavement Maintenance Manual (Manual de Mantenimiento de Pavimentos).



4.3. Análisis comparativo.

Se procedió hacer una comparativa entre los catálogos seleccionados con el fin de resaltar lo más significativo de cada uno, algunos puntos de los cuales se tomaron para comparar estos catálogos fue:

- a) Año de edición.
- b) País.
- c) Autor.
- d) Cuantificación de deterioros.
- e) Causas de deterioros.
- f) Evaluación y severidad de los deterioros.

Se procede a hacer a la comparativa como antes se menciona destacando esos puntos, para dicha comparativa se analiza cada deterioro de los catálogos en base al listado del catálogo del país, ya que uno de los puntos principales fue el complementar ese catálogo dándole una actualización.

En la tabla 4.3.3 se enlistan los catálogos comparados, buscando una diversidad entre años, autores y países.

Tabla 4.3.3 lista de los diferentes catálogos.

Titulo	AÑO	AUTORES	País
	DE PUBLICATION		
Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas (IMT)	1991	IMT SCT	México
Catalogue des dégradations de Surface des chaussées	1998	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées	Francia
Pavement Management System	2001	DRM™ System	E.U.
Pavement Maintenance Manual	2002	Nebraska Department of Roads	E.U.
Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles	2002	Transportation in the interest of information change	Latinoamérica
Manuel D'Identification des dégradations des chaussées	2002	Transports Québec	Canadá
Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition)	2003	U.S. Department of	E.U.
UDOT Distress Manual	2003	UDOT	E.U.
Catalogo dei disetti delle pavimentazione stradali	2005	Direzione Generale Infrastrutture e Mobilita	Italia
Pavement Condition Evaluation Manual	2006	NPS ROAD INVENTORY PROGRAM	E.U.
SDDOT'S Enhanced Pavement Management System	2009	South Dakota Department of Transportation initiated the	E.U.



4.3.1 Baches

Huecos de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o designación inicial.

Origen

- Se originan en la parte en la carpeta asfáltica, debido al desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando huecos.

Causas

- Falta de resistencia de la carpeta.
- Escaso contenido de asfalto.
- Drenaje deficiente.
- Espesor deficiente.
- Colocación con lluvia o exceso contenido de agua en la carpeta de apoyo.
- Esparcido heterogéneo de asfalto.
- Envejecimiento de asfalto.
- Estructura inadecuada

Evaluación

Existe diferentes métodos para evaluar y clasificar el tipo de severidad de un bache, algunos catálogos los evalúan de acuerdo a su profundidad y otros por promedio, a continuación se muestra en la tabla como evalúan o no los catálogos en estudio.

Tabla 4.3.1.1 Evaluación de baches según los diferentes catálogos

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
En porcentaje	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 1 a 10 > (%) área afectada	N/A	De < 9 a 49 > (%) área afectada	N/A	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	De <25 a 50> (mm) de profundidad	De < 25 a 160 > (mm ²) de área de profundidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	Clasificación en base a una grafica	N/A	De < 200 mm a 300 mm> de diámetro

Nota: (N/A) no aplica clasificación de severidad en porcentaje o en valor aproximado.

Se puede apreciar en la tabla 4.5.1.1 los diferentes rangos en los catálogos clasifican el grado de severidad del deterioro del cual algunos rangos son semejantes entre los catálogos.

Más sin embargo que resulta curioso la forma en que el catálogo Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali evalúa este deterioro, ya que lo evalúa por

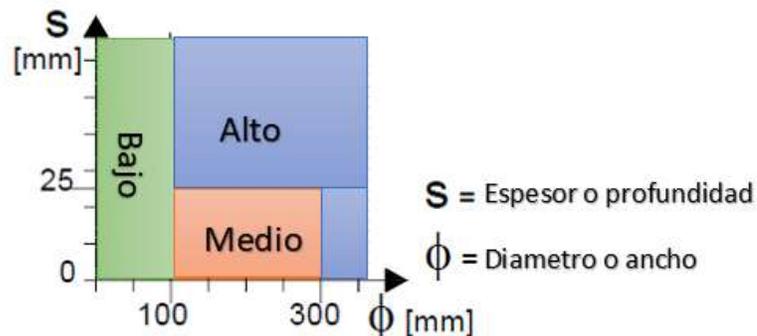


Fig. 4.3.1.1 Gráfico para la clasificación de severidad

medio de una gráfica como se muestra a continuación.

Algunos catálogos para evaluar el deterioro medir se debe anotar la cantidad de baches y el área afectada en metros cuadrados en cada nivel de severidad. En un tramo de 100 mts de cada carril.

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Tratamiento aislado en mantenimiento rutinario bacheo.
- **Medio:** Recuperación de base y recompactación de la base.
- **Alto:** Tratamiento aislado en reconstrucción de nueva capa de rodadura (carpeta) para refuerzo en el tramo afectado.

En la fig. 4.3.1.2. Se muestra como se comienza a desprender la capa de rodadura por los diferentes factores a los cuales este está sometido, hasta dejar un área sin capa de rodadura.

En la fig. 4.3.1.3. Bache de severidad medio, cabe destacar que para darle el tratamiento adecuado para el bache usan pintura o en este caso una prenda para identificarlo y evitar que los usuarios caigan en él.

En la fig. 4.3.1.4. Bache de severidad alto, se aprecia que el bache por no darle algún tratamiento se llega a perder agregados de la base y la filtración de agua ocasionando a futuro un hundimiento, en la comparativa con el de severidad media, este se aprecia con un espesor mayor.



Fig. 4.3.1.2 Bache nivel de severidad bajo



Fig. 4.3.1.3 Bache nivel de severidad medio



Fig. 4.3.1.4 Bache nivel de severidad alto.



4.3.2 Levantamiento por congelación

Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas del pavimento, este deterioro ocurre debido a las bajas temperaturas, el otras palabras el levantamiento ocurre a la cristalización del agua subterránea o infiltraciones de agua en el pavimento a una temperatura de 0°C , debido a la cristalización del agua ocurre un empuje que ocasiona que las capas del pavimento se eleven a un punto tal de agrietar y desprender por completo la capa de rodadura.

En la siguiente fig. 4.3.2.1 Se aprecia la temperatura mínima promedio mensual ($^{\circ}\text{C}$) del mes de diciembre de México, como se aprecia existe una variación de casi a 0°C en los estados del norte, esto indica que se pueden llegar a presentar tal deterioro en estos estados del norte y por lo cual se deben usar asfaltos de grado PG como lo indica la fig. 2.4.1.

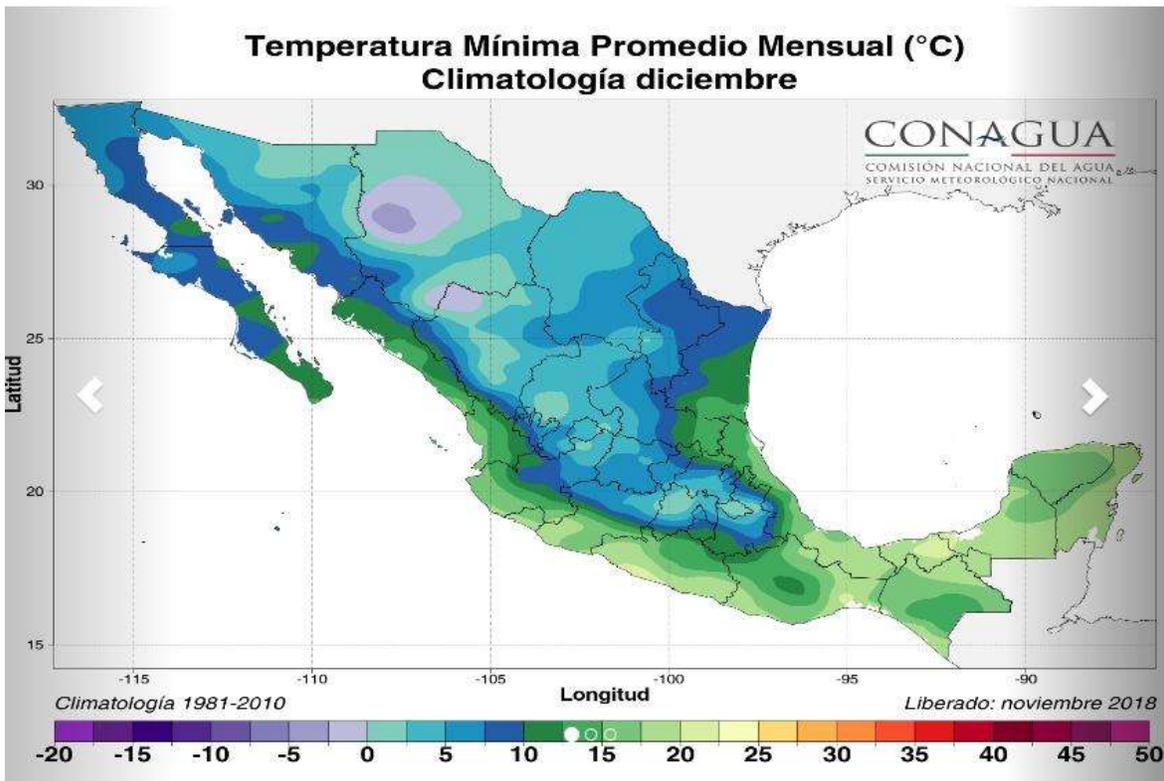


Fig. 4.3.2.1. Temperatura mínima promedio mensual ($^{\circ}\text{C}$) climatología noviembre. Fuente: CONAGUA



Origen

- Se originan en las capas superiores del pavimento, es decir se originan desde la capa de la rodadura hasta la sub-base.

Causas

- Acción de heladas.
- Ciclos de congelación y descongelación.
- Expansión localizada de capas inferiores.
- Infiltraciones de agua.
- Cristalización de agua subterránea.

Evaluación

No existe alguna clasificación de severidad para este caso ya que es muy poco común que esto llegue a suceder ya que solo ocurre cuando la temperatura es demasiado baja por heladas.

Acciones recomendadas.

- Colocación de una nueva carpeta asfáltica y recompactación de la base.
- Sellado de grietas.
- Drenaje adecuado.

En la fig. 4.3.2.2 se aprecia como el levantamiento por congelación origina varias grietas e incluso hasta dejar la estructura inservible.



Fig. 4.3.2.2. Levantamiento por congelación.



4.3.3 Pérdida de agregados

Pequeñas depresiones en forma de cráter, por separación de los agregados gruesos de la carpeta asfáltica, dejando huecos en la superficie de rodamiento.

Origen

- Se origina en la superficie los desprendimientos de agregados pétreos dejando aisladas las capas inferiores.

Causas

- Escasez de asfalto.
- Acción del tránsito intenso.
- Expansión de agregado grueso.
- Esparcido irregular del asfalto.
- Asfalto inadecuado
- Agregado sucio, con polvo adherido
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.

Evaluación

En la tabla 4.2.3.1 muestra los rangos en el que se mide la severidad del deterioro ya que algunos manuales tienen diferentes rangos.

Tabla 4.3.3.1 Evaluación de pérdida de agregados por los catálogos en estudio.

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
En porcentaje	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 5 a 30 > (%) área afectada	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Nota: (N/A) no aplica clasificación de severidad en porcentaje o en valor aproximado.

Cabe señalar que el único catálogo que evalúa este deterioro es el catálogo de Iberia e Iberoamérica, los demás catálogos se basan en clasificar este deterioro visualmente es decir en el color y la textura del pavimento.

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Mantenimiento rutinario.
- **Medio:** Tratamientos de conservación periódica como: tratamientos superficiales.
- **Alto:** Tratamientos de reconstrucción y nueva carpeta de concreto asfáltico.

En la fig. 4.3.3.1. Pérdida parcial del agregado dejando expuestas áreas aisladas de la capa de apoyo, producto de la escasez de asfalto, que en la comparación de la fig. 4.3.3.2. Se aprecia como los agregados se desintegran junto con el asfalto dejando aislado la capa de la base.



Fig. 4.3.3.1 Pérdida de agregados en la parte superior del pavimento



Fig. 4.3.3.2 Pérdida de agregados en la carpeta asfáltica



4.3.4 Pérdida de capa de rodadura

Desprendimiento de la última capa delgada, de tratamientos superficiales, tales como:

- Lechadas.
- Microcarpetas.
- Capas de rodadura.
- Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura.

Causas

- Escasez de asfalto.
- Asfalto inadecuado.
- Compactación deficiente.
- Dosificación de asfalto
- Envejecimiento del asfalto

Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por carril de circulación. Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

Tabla 4.3.4.1 Evaluación de pérdida de capa de rodadura

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
En porcentaje	N/A	N/A	De < 5 a 30 > (%) área afectada	N/A	De < 5 a 30 > (%) área afectada	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	N/A	N/A	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 0.5 m ² a 1 m ² > área afectada

Nota: (N/A) no aplica clasificación de severidad en porcentaje o en valor aproximado.

Como se puede apreciar en la tabla 4.3.4.1 coinciden algunos rangos entre los catálogos como es el C y E esto se debe a los ensayos que hicieron estos para llegar a la conclusión y delimitar ese rango.

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Tratamiento en mantenimiento preventivo.
- **Medio:** Tratamiento de conservación periódica: tratamientos aislados, fresado superficial y carpeta de concreto asfáltico.
- **Alto:** Tratamientos de reconstrucción: recorte de pavimentos, recuperación en frío y construcción de nueva capa de rodadura, bases y subbases.

El uso de sellador se minimizará en las áreas con sangrado y permitirá que la emulsión proporcione una superficie de sellado uniforme. Este tratamiento puede retardar o reducir las futuras donaciones. Un agregado más grande es deseable para este tratamiento, ya que ofrece una mayor capacidad de puente sobre la superficie.

En la fig. 4.3.4.1. Cabe destacar que la pérdida de la capa de rodadura puede ser producto por diversos deterioros como lo son agrietamientos y asentamientos, hasta perder incluso una parte de la capa de la base.

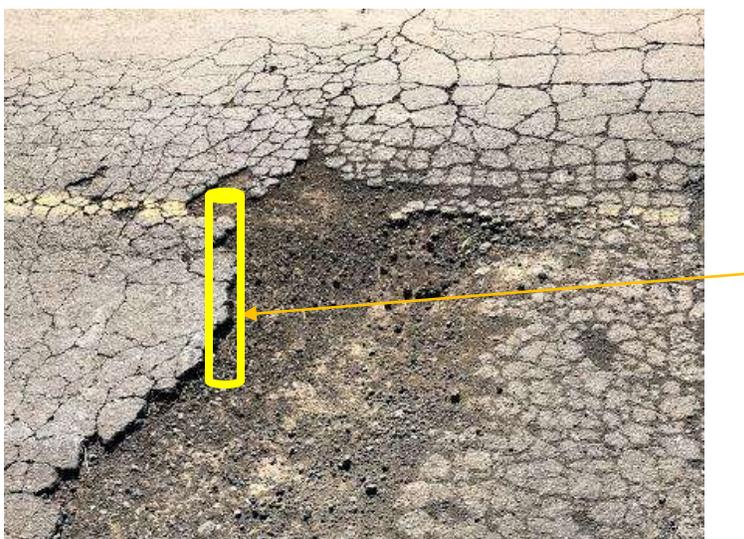


Fig. 4.3.4.1 Pérdida de capa de rodadura

4.3.5 Pérdida de base

Desprendimiento del material de la base en la que se apoya la capa de rodadura después de la pérdida de ésta; generalmente en bases no tratadas.

Origen

- Se origina en la capa de la base hidráulica o base tratada.

Causas

- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.
- Asfalto inadecuado de mala calidad.
- Falta de sellado de grietas.

Evaluación.

Este deterioro solo lo describe el catálogo de Iberia e Iberoamérica y lo describe de tal manera como se menciona a continuación. Ya que algunos de los otros catálogos a este deterioro lo junta con el deterioro de la pérdida de capa de rodadura puesto que para ellos se puede delimitar como un grado de severidad alto la pérdida de la base. Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por carril.

- LIGERO: < 5 %
- MEDIO: 5% a < 30%
- ALTA: >30

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Trabajos de conservación periódica: Tratamiento aislado.
- **Medio:** Recuperación, fresado superficial y recompactación de la base.

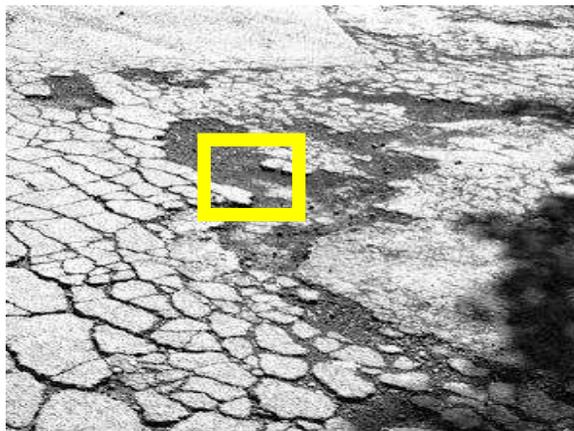


Fig. 4.3.5.1 Pérdida de base.

- **Alto:** Colocación de una capa de base, nivelar y nueva capa de rodadura.



4.3.6 Roderas

Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas, con la aparición de cordones laterales a cada lado de la rodera.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura debido a un hundimiento de las de capas inferiores.

Causas

- Uso de asfaltos blandos.
- Dosificación del asfalto en exceso.
- Uso de agregados redondos.
- Compactación deficiente de la base.
- Baja estabilidad de la carpeta.

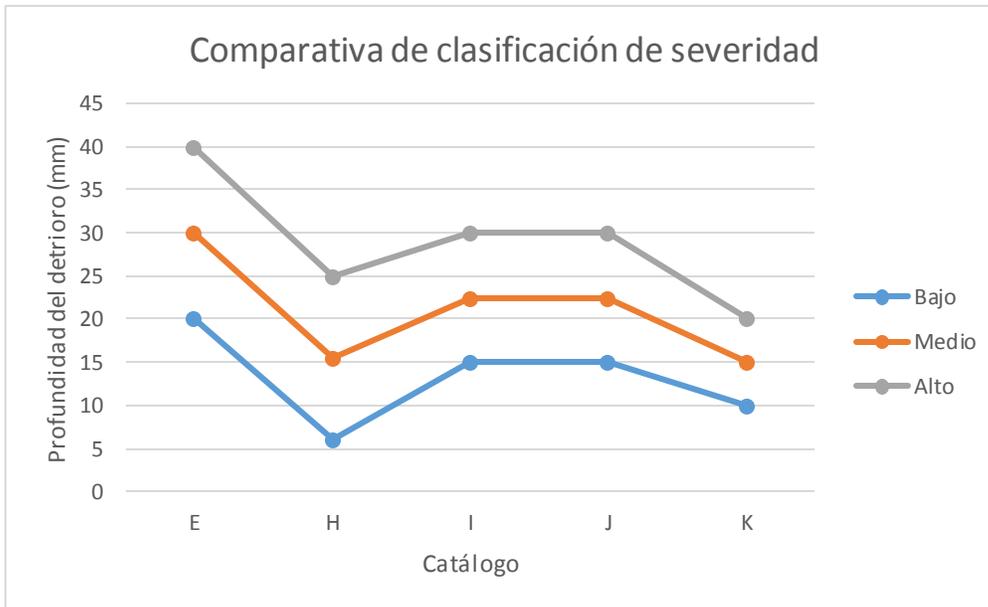
Evaluación.

Profundidad máxima de la rodera, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m o más según el catálogo de Iberia e Iberoamérica.

Tabla 4.3.6.1 Clasificación de evaluación de rodaderas.

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Bajo	N/A	N/A	N/A	N/A	Debajo de 2 cm de profundidad	N/A	N/A	Debajo de 6 mm de profundidad	Debajo 15 mm de profundidad	Debajo de 1.5 cm de profundidad	Debajo de 10 mm de profundidad.
Medio	N/A	N/A	N/A	N/A	De 2 cm a 4 cm de profundidad	N/A	N/A	De 6 mm a 25 mm de profundidad	De 15 mm a 30 mm de profundidad	De 1.5 a 3 cm de profundidad	De 10 mm a 20 mm de profundidad
Alto	N/A	N/A	N/A	N/A	Mayor de 4 cm de profundidad	N/A	N/A	Mayor a 25 mm	Mayor de 30 mm de profundidad	Mayor de 3 cm de profundidad	Mayor de 20 mm de profundidad

En la gráfica siguiente se aprecia más simplificada la tabla 4.2.6.1, cabe resaltar que el catálogo E varía demasiado a los valores de los otros catálogos y en comparación con los otros catálogos se acercan similar al valor entre ellos, puesto que para el catálogo que se creara se realizará un promedio entre los catálogos: H, I, J, K, descartando el catálogo E que varía entre los demás.



Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.
- **Medio:** Rellenar rodera en forma continua en mantenimiento rutinario y renivelar.
- **Alto:** Fresado superficial, renivelar y colocar nueva capa de rodadura.

Imagen.

En la fig. 4.3.11. Se aprecia diversas roderas pronunciadas.



Fig. 4.3.6.1 Como se debe medir la profundidad de una rodera.



4.3.7 Ondulaciones

Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternos. Generalmente están acompañadas en los sitios críticos, por grietas semicirculares.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura en zigzag.

Causas

- Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
- Bases de mala calidad.
- Acciones de tránsito intenso.
- Fuerza tangencial producto de aceleraciones y frenado del vehículo.
- Estabilidad de la mezcla deficiente.
- Deformaciones diferenciales de suelos de cimentaciones que se reflejan en capas superiores.
- Circulación lenta en pendientes pronunciadas.
- Agregados redondos.

Evaluación.

Tabla 4.3.7.1 Clasificación de evaluación de ondulaciones

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ligero	N/A	N/A	N/A	N/A	Debajo 1 cm de profundidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Medio	N/A	N/A	N/A	N/A	De 1 cm a 2 cm de profundidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Alto	N/A	N/A	N/A	N/A	Mayor de 4 cm de profundidad	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Algunos catálogos clasifican la severidad visualmente tal es el caso del catálogo H, es decir que observan los cambios que va teniendo el pavimento y por medio de esos cambios van determinando si una severidad baja, media o alta.

El catálogo Pavement Condition Evaluation Manual lo evalúa visualmente de esta manera:

- LIGERO: Efecto notable en la marcha, pero sin reducción significativa en la comodidad.
- MEDIO: El malestar moderado en la conducción es notable, el conductor es capaz de mantener el control del vehículo fácilmente.

- **FUERTE:** La vibración del vehículo es severa, la reducción de velocidad es necesaria para la comodidad y para mantener el control del vehículo.

Acciones recomendadas.

- **Ligero:** No requiere intervención.
- **Medio:** Renivelar y sustitución de nueva capa de rodadura.
- **Alto:** Renivelar y nueva capa de rodadura.

Se recomienda aplicar la misma acción para cuando sea severidad de grado medio y alto ya que no tiene gran diferencia en los intervalos.

Imagen.

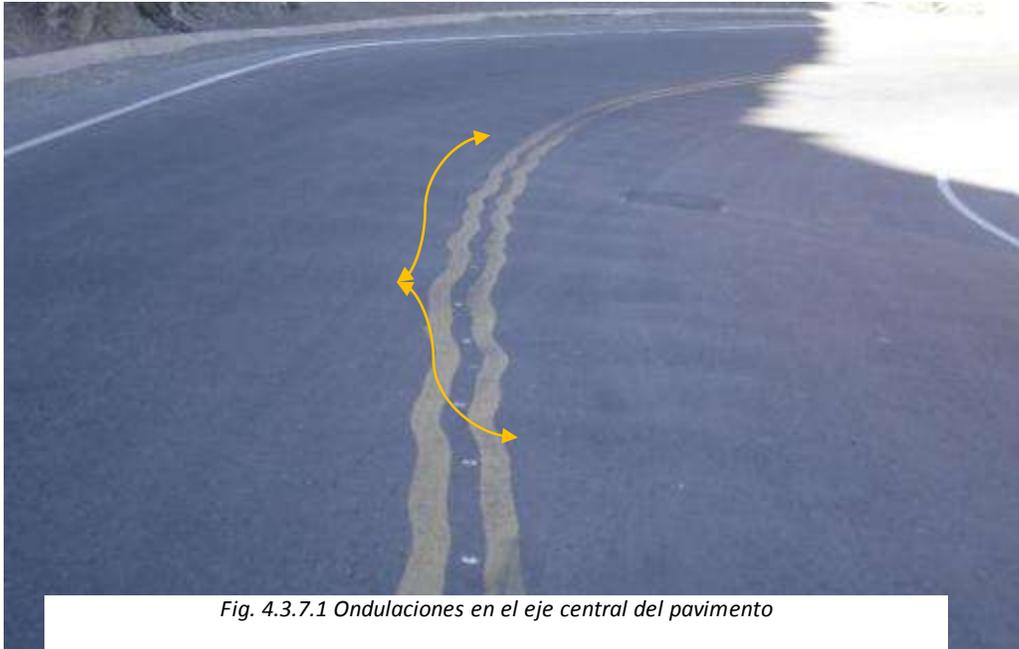


Fig. 4.3.7.1 Ondulaciones en el eje central del pavimento

4.3.8 Protuberancias

Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura como si fuera un abultamiento en la parte superior del pavimento.

Causas

- Acción del tránsito intenso.
- Estabilidad inadecuada.
- Liga entre capas.
- Compactación inadecuada.
- Acción de heladas.

Evaluación.

El catálogo J es el único que cuenta con la clasificación de severidad para este deterioro.

Ligero: Levantamiento de 1 a 3 cm.

Medio: Levantamiento de 3 a 5 cm.

Alto: Levantamiento mayor de 5 cm.

Acciones recomendadas.

Fresado superficial, sustituir área afectada y renivelar.



Fig. 4.3.8.1 Protuberancia en un pavimento flexible



4.3.9 Crestas

Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino, presentándose 2 y hasta 4 crestas a todo lo largo de ciertos tramos.

Origen

- Se origina en el sentido paralelo al eje del camino.

Causas

- Liga inadecuada entre capas asfálticas.
- Pésima estabilidad de la mezcla asfáltica.
- Asfalto de mala calidad
- Flujo de la mezcla por acción de derrame de combustible.
- Tránsito intenso muy canalizado.

Evaluación.

Tabla 4.3.9.1 Clasificación de evaluación de crestas.

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ligero	N/A	N/A	N/A	N/A	Debajo 1 cm de profundidad	<1/8" de ancho	N/A	Grietas apretadas, ancho inferior a 6 mm (1/4 pulgada) sin roturas ni desgarros.	N/A	De 0.5 a 1.5 cm de ancho	< 20 mm de ancho
Medio	N/A	N/A	N/A	N/A	De 1 cm a 2 cm de profundidad	De 1/8" a 1/4" de ancho	N/A	Anchura de la grieta superior a 6 mm (1/4 pulgada) con algunos desbaste.	N/A	De 1.5 a 3 cm de ancho	De 20 mm a 40 mm de ancho
Alto	N/A	N/A	N/A	N/A	Mayor de 4 cm de profundidad	>1/4" de ancho	N/A	Grietas múltiples con escalonamiento moderado y ancho de grieta promedio superior a 6 mm (1/4 pulgada).	N/A	> 3 cm de ancho	> 40 mm de ancho

Acciones recomendadas.

Se recomienda un fresado lineal y después colocar una capa de carpeta asfáltica hasta dejarlo uniforme.



Fig. 4.3.9.1 Crestas longitudinales



4.3.10 Agrietamientos

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares, su tamaño puede variar de; principalmente se originan por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios; este tipo de falla no está asociada a cargas, lo que indican es que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Estos agrietamientos pueden ser ondulados, transversales, longitudinales, tipo mapa, en zigzag, finas, parabólicas, etc.

Origen

- Se pueden llegar a originar en todo lo ancho o un área de la corona en diferentes direcciones.

Causas

- Gradiente térmico superior a los 30° C.
- Uso de asfalto muy duro.
- Asfaltos envejecidos.
- Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.
- Baja estabilidad de la carpeta.
- Acción solar fuerte
- Acción capilar intensa
- Uso de materiales finos muy plásticos
- Empuje hidrostático de agua almacenada.
- Rotura de equilibrio hidráulico.
- Drenaje insuficiente.
- Asentamientos aislados de capas interiores.
- Espesor insuficiente.
- Asentamientos de capas por el tránsito.
- Contracción térmica de la superficie de rodamiento.
- Calidad deficiente de algunas de la sección estructural.
- Debilidad de la estructura del pavimento.
- Fatiga
- Fuertes solicitaciones de tránsito
- Soporte inadecuado de la base.
- Envejecimiento
- Oxidación del asfalto
- Exceso de finos en carpeta asfáltica.
- Compactación efectuada con mezclas muy calientes.
- Acción del hielo.
- Cambios extremos de temperatura.
- Base defectuosa.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



Evaluación.

Tabla 4.3.10.1. Evaluación de agrietamientos longitudinales

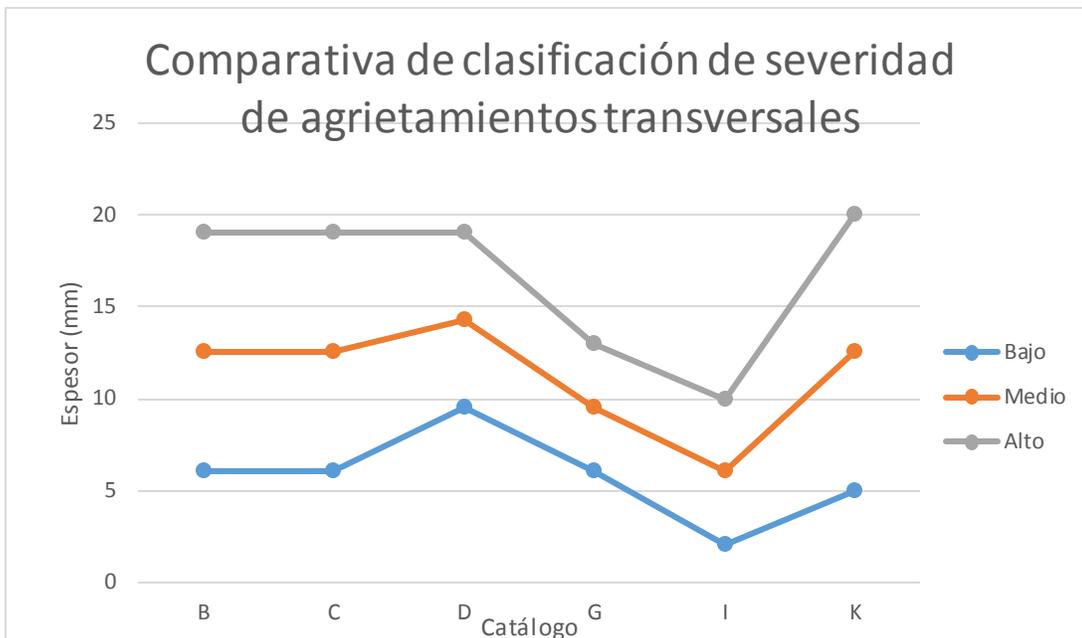
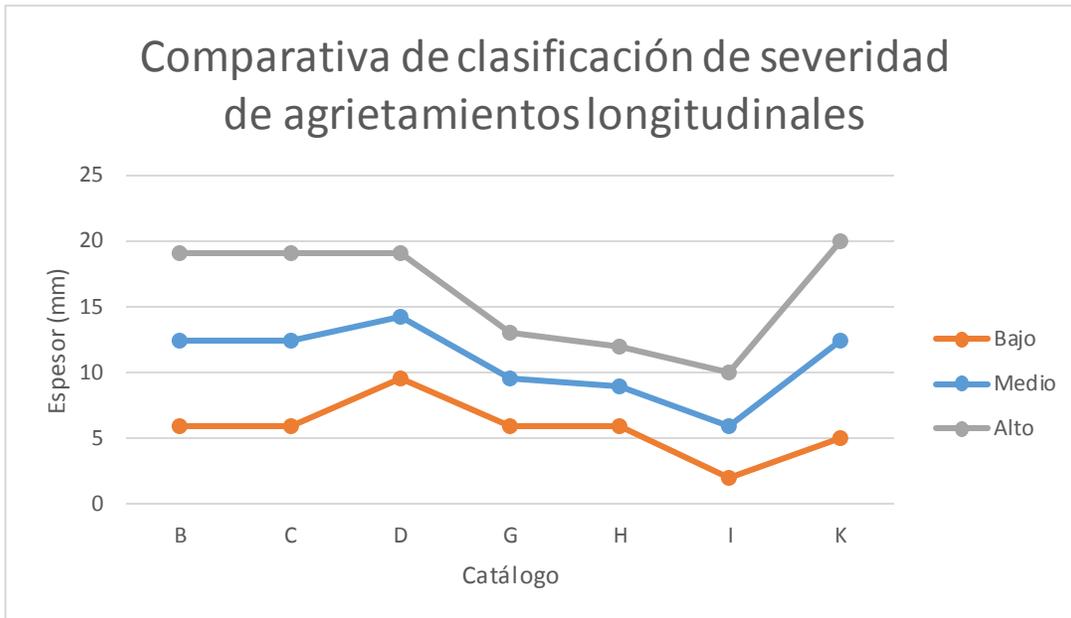
Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
En porcentaje	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 20 a 100 > (%) área afectada	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	De < 6 mm a 19 mm > de espesor	De < 6 mm a 19 mm > de espesor	De < 3/8" a 3/4" > de espesor		N/A	De < 1/4" a 1/2" > de espesor	De < 6 mm a 12 mm > de espesor	De < 2 mm a 10 mm > de espesor	N/A	De < 5 mm a 20 mm > de espesor

Tabla 4.3.10.2. Evaluación de agrietamientos transversal

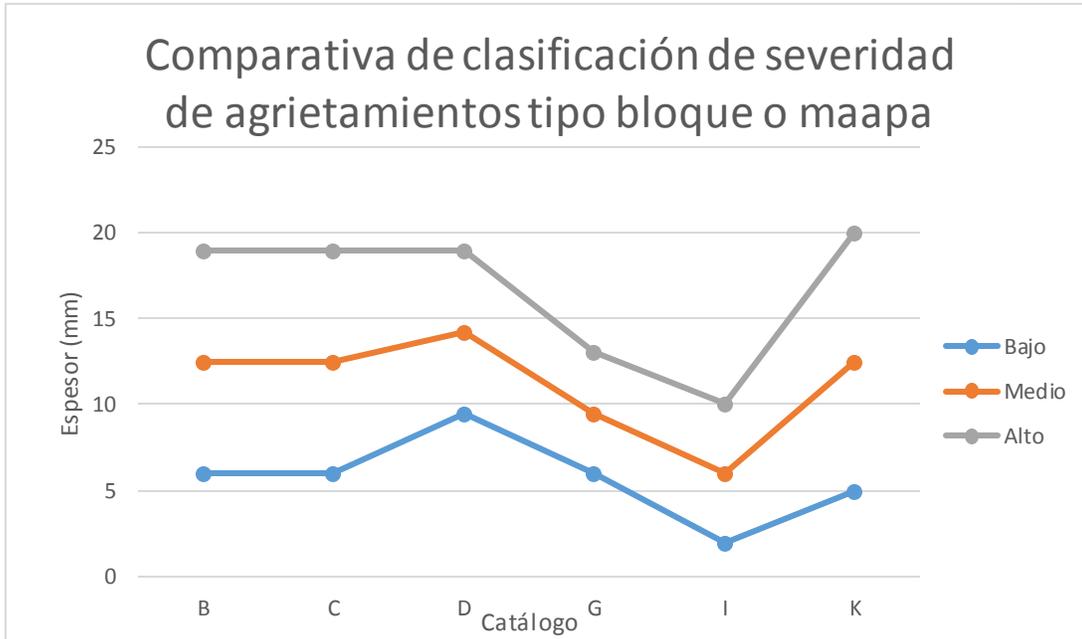
Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Numero de grietas por tramo	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 2 grietas a 15 grietas > en tramos de 100 mts	N/A	N/A	De < 20 % a 50 % > porcentaje de área afectada	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	De < 6 mm a 19 mm > de espesor	De < 6 mm a 19 mm > de espesor	De < 3/8" a 3/4" > de ancho		N/A	De < 1/4" a 1" > de ancho	N/A	De < 2 mm a 10 mm > de ancho	N/A	De < 5 mm a 20 mm > de ancho

Tabla 4.3.10.3. Evaluación de agrietamientos tipo mapa o bloque

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
En porcentaje	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 10 a 50 > (%) área afectada	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	De < 6 mm a 19 mm > de espesor	N/A	De < 3/8" a 3/4" > de ancho	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 2 mm a 10 mm > de ancho	N/A	N/A



Estas gráficas muestran de una manera más sencilla la comparativa de la clasificación de severidad entre los diferentes catálogos, como se aprecian algunos rangos son demasiado altos o pequeños en comparación entre ellos por lo cual para el catálogo se hará un promedio de los rangos de valores que coincidan entre sí, así para llegar a unos valores óptimos entre todos los catálogos.



Se puede concluir que cada catálogo tiene su manera de evaluar el deterioro, se puede optar en recomendar la manera en que lo evalúa el catálogo de Iberia e Iberoamérica ya que es una manera eficiente en el cual es factible evaluar el deterioro por tramos.

Acciones recomendadas.

- Agrietamientos longitudinales:
Bajo; Trabajos de conservación rutinarios.
Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello.
Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.
- Agrietamientos transversales:
Bajo; Trabajos de conservación
Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello
Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.
- Agrietamientos tipo mapa o bloque:
Bajo; Trabajos de conservación.
Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello, refuerzo de nueva capa de rodadura
Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.

Se aprecia en la fig 4.3.10.1 los agrietamientos transversales de severidad baja y además se puede apreciar el cómo las grietas se van interceptando entre ellas e incluso hasta forma polígonos pequeños que si no se tratan llegan a producir agrietamientos tipo mapa, en la fig. 4.3.10.2 se aprecia un ligero agrietamiento longitudinal pero que es interceptado por otro agrietamiento transversal y que al cual pueden llegar a ocasionar más agrietamientos en diferentes direcciones.

En la fig. 4.3.10.3 Se aprecia agrietamientos tipo mapa o bloque que a diferencia de los agrietamientos de piel cocodrilo estos son formados por polígonos más grandes, producto de agrietamientos longitudinales y transversales intersectados entre ellos que posteriormente daña la capa de rodadura haciéndole que pierda resistencia, como se puede apreciar en la figura es pavimento gravemente dañado en todo el año del pavimento.



Fig. 4.3.10.1 Agrietamientos transversales.



Fig. 4.3.10.2. Agrietamientos longitudinales



Fig. 4.3.10.3 Agrietamientos tipo mapa o bloque



4.3.11 Piel de cocodrilo

Agrietamientos en la superficie de la capeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos, interconectados que se asemejan la piel de un cocodrilo.

Origen

- A diferencia de los agrietamientos en retícula estos son pequeños polígonos que van formando por toda la capa de rodadura.

Causas

- Soporte inadecuado de la base.
- Debilidad de la estructura del pavimento.
- Fatiga.
- Envejecimiento.
- Evolución progresiva de agrietamientos tipo mapa.
- Uso de asfaltos muy duros
- Subdrenaje inadecuado.

Evaluación.

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m.

Tabla 4.3.11.1 Evaluación del deterioro piel de cocodrilo según los diversos catálogos

Evaluación	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
En porcentaje	N/A	N/A	N/A	N/A	De < 10 a 50 > (%) área afectada	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
En valor aprox	N/A	N/A	N/A	N/A		< 6 mm a > 19 mm de ancho.	N/A	< 6 mm a > 25 mm de espesor.	De < 15 mm a 25 mm > de profundidad	N/A	N/A

Para evaluar de una manera mejor efectiva el deterioro piel de cocodrilo se considera por porcentaje, debido a que de esta manera es más sencilla que hacer un promedio de anchura, además se puede tomar en cuenta una gran área para efectuar dicha evaluación y así reducir el trabajo de cuantificar el grado de severidad del deterioro.

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Sellado de grietas.
- **Medio:** Trabajos de conservación periódica: trabajos aislados, riego de sello.

- **Alto:** Trabajos de conservación de reconstrucción, renivelar, nueva capa de rodadura.

En la fig. 4.3.11.1 se puede apreciar un área afectada por agrietamientos tipo piel de cocodrilo, como se puede apreciar estos agrietamientos pueden ocasionar desprendimientos de la capa de rodadura por la intensidad del tránsito o entre otros factores, además debido a los diversos agrietamientos al momento de llover se puede filtrar el agua a las capas inferiores que estas pueden llegar a ocasionar baches o hasta socavones, se puede apreciar que entre los espacios grandes la capa de la base contiene agua por su color café oscuro lo cual nos indica que posteriormente este tramo sino se trata se puede llegar a formar un gran bache.



Fig.4.2.11.1 Agrietamientos tipo piel de cocodrilo.



4.3.12 Exudación de asfalto

Exceso de asfalto bituminoso que ocurre en la superficie del pavimento, que generalmente se encuentra en las trayectorias de las ruedas. Puede ir desde una superficie descolorida en relación con el resto del pavimento, hasta una superficie que está perdiendo la textura de la superficie debido al exceso de asfalto, hasta una condición en la que el agregado del asfalto puede oscurecerse con una superficie brillante, similar al vidrio, reflectante. Eso puede ser pegajoso al tacto.

Origen

- Se origina en la parte superior de la carpeta asfáltica debido al desprendimiento del ligante (asfalto), que deja una capa brillante en la superficie.

Causas

- Mala calidad del asfalto.
- Endurecimiento asfáltico por envejecimiento.
- Contenido de asfalto insuficiente.
- Métodos de construcción inadecuados.
- Exceso de asfalto.
- Temperatura de compactación muy elevada.
- Sobredosificación de riego de liga.

Evaluación.

Para evaluar la severidad de este deterioro se tiene que determinar el área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, por un carril.

Se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

El catálogo de Iberia e Iberoamérica es el único que clasifica la severidad de este deterioro en porcentaje, cuya clasificación es:

LIGERO < 10 %

10% < MEDIO < 50 %

50 % < FUERTE

El catálogo D lo determina por la cantidad de asfalto que se produce en la superficie del pavimento. Solo se registra la severidad predominante, de acuerdo a lo anterior se clasifica de la siguiente manera:

Bajo. Superficie decolorada en relación con el resto del pavimento.

Medio. Perdiendo la textura de la superficie por exceso de asfalto.

Alto. Aspecto brillante debido al exceso de asfalto. Agregado oscurecido por exceso de asfalto.

El catálogo Pavement Condition Evaluation Manual clasifica la severidad de la misma manera que el UDOT Distress Manual y con los mismos grados de severidad.

Acciones recomendadas.

- Bajo: Tratamiento de aislamiento rutinario.
- Medio: Superposición de mezcla caliente delgada.
- Alto: Fresado superficial, nueva capa de rodadura.

Imagen



Fig. 4.3.12.1 Pérdida de textura del pavimento debido a la exudación de asfalto



Fig. 4.3.12.2 Exudación asfalto



4.3.13 Desgaste de agregados

Presencia de agregados que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el asfalto.

Origen

- Se origina en la parte superior de la carpeta asfáltica, en los agregados pétreos que les deja una cara plana.

Causas

- Uso agregados suaves, como por ejemplo calizas, susceptibles al pulimento.
- Mala calidad de agregados.

Evaluación.

Se mide el coeficiente de fricción en forma continua o puntual. Los tramos con coeficiente de fricción menor que uno deben ser atendidos de inmediato.

Es la única manera en la que se puede medir la severidad de este deterioro de acuerdo al catálogo de Iberia e Iberoamérica.

Acciones recomendadas.

Los tramos afectados, sí corresponden a una capa de rodadura mayor que 5 cm, se fresan. Si corresponden a un tratamiento superficial o microcarpeta, se aplica un nuevo tratamiento, con agregados duros.

En la imagen se puede observar cómo se queda plana la cara del agregado debido a que se implementan agregados inadecuados.

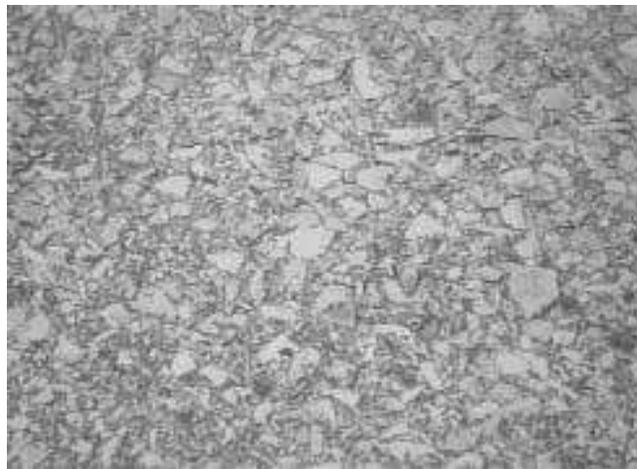


Fig. 4.3.13.1 Pulido o desgaste de agregados



4.3.14 Exposición de agregados

Presencia de agregados pétreos parcialmente expuestos en la capa de rodadura.

Origen

- Se presenta la parte superior de la capa de rodadura.

Causas

- Granulometría inadecuada y deficiente de los agregados.
- Circulación de llantas con clavos.
- Segregación de los agregados pétreos durante su manejo en obra.

Evaluación.

Proporción del área afectada respecto al área total en tramos de 100 m, se considera como área afectada a la suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro.

Clasificación de severidad:

LIGERO < 20 %

20 % < MEDIO < 50 %

50 % FUERTE

Acciones recomendadas.

- Bajo: No requiere intervención.
- Medio: Nueva capa de rodadura en áreas afectadas.
- Alto: Nueva capa de rodadura al siguiente año en mantenimiento periódico en todo el tramo.
- Se puede observar la exposición de agregados de un color oscuro menos brillante.



Fig. 4.3.14.1 Presencia de agregados pétreos en la superficie del pavimento



5. Propuesta de catálogo de deterioros.

El objetivo general de esta investigación es el desarrollar un catálogo de deterioros para pavimentos, esto será posible gracias al análisis y comparativa de los catálogos en estudio, así como aportaciones relevantes.

Este catálogo se basará en el listado de deterioros del catálogo de este país, puesto que principalmente está no está actualizado y tampoco cuenta con todos los elementos para realizar una auscultación cuantitativa

Un total de catorce (14) deterioros se propondrán demás catálogos, así como las consideraciones derivadas de la revisión y experiencia del tema, además el catálogo describirá a los deterioros con el siguiente orden:

- a) Definiciones.
- b) Origen.
- c) Causas.
- d) Evaluación y severidad.
- e) Acciones de mantenimiento y reconstrucción.
- f) Imágenes

Ya que algunos catálogos cuentan con su manera de evaluar cada deterioro, para el catálogo se optó por tomar la manera más factible de realizarlo. También ya que los rangos de valores de la clasificación de severidad son distintos entre sí, se opta por el realizar un promedio entre los valores aproximados entre sí y resaltar esos rangos obtenidos en cada deterioro.

Dentro del catálogo se tomarán en cuenta las acciones de mantenimiento o reconstrucción que se le debe dar al deterioro según sea su grado de severidad, estas acciones serán consultadas de acuerdo a la normativa de conservación (CSV) de la Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT).

Se opta por el crear dos versiones de él catálogo, una versión detallada donde de una manera más técnica se defina los deterioros, es decir este catálogo será ideal para todo aquella persona que cuente con los conocimientos acerca de los deterioros de los pavimento, y una versión simplificada es decir este catálogo será ideal para todas las personas con un poco de conocimiento de los pavimentos (ingenieros civiles principiantes). Esto con el fin de lograr que cualquier persona lo pueda interpretar de una manera factible.

Algunas de las fotografías fueron tomadas de las carreteras: Gabriel Zamora – Dr. Miguel Silva, Uruapan – Pátzcuaro, y Otras imágenes se obtuvieron de internet.

Los catálogos se muestran en el apartado de anexos.



Conclusión.

El gran problema que ocasionan los deterioros en las carreteras es de suma importancia ya que el pavimento debe brindar seguridad y comodidad al usuario. El origen de los deterioros se origina de la calidad del diseño-construcción y conservación que se le da al pavimento. Hay que buscar preferentemente que se cumplan los requisitos de calidad para los diferentes materiales que conforman el camino y que establece la Normativa de la Infraestructura del Transporte.

En México se cuenta con un catálogo de deterioros de pavimentos flexibles (no actualizado) que no es oficial además que no cuenta con información detallada, ni cuantifica los deterioros.

Se analizaron un total de once (11) catálogos con criterios internacionales, de los cuales dos (2) son europeos, dos (2) son de América Latina, (1) uno de Canadá y los seis (6) restantes de estados de E.U.A.

El catálogo de Iberia e Iberoamérica se cuenta con 14 tipos de deterioros y el catálogo de UDOT (Utah) es el que considera el menor número de deterioros. Hay coincidencia en todo el catálogo desde la perspectiva de la falla estructural, las diferencias ocurren desde la óptica funcional.

El catálogo B tiene la peculiaridad de involucrar diversos deterioros en uno solo, es decir que menciona la evolución que se le puede llegar a dar al deterioro, también el determinar el grado de severidad del deterioro ya que en algunos deterioros lo hace visualmente y no cuentan con un rango de valores para clasificar la severidad, sino que por medio de como se ve el pavimento se dictamina si es un deterioro de severidad baja, media o alta.

El catálogo G cuenta con su método para evaluar un deterioro por medio de un programa llamado Distress Survey en el cual el usuario va ingresando los datos del deterioro: el tipo de pavimento, el tipo de deterioro, el grado de severidad del deterioro, entre otros. Este programa dictamina si el tramo carretero se encuentra en buen estado o no, es decir hace una evaluación del pavimento por medio de los deterioros para así llegar a la conclusión si ocupa una reconstrucción o solo acciones de conservación.

Cabe destacar el catálogo J cuenta con gran información detallada e incluso en comparativa con el catálogo E en cuanto a información, el J se expresa de manera más detallada las causas, la evolución, parámetros, etc. sin embargo en algunos deterioros como lo son los agrietamientos los clasifica de manera visual y E en porcentajes de tramos de 100 mts.



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA CLASIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES



El catálogo E tiene la peculiaridad de clasificar los deterioros en porcentaje el grado de severidad como los son en los baches, pérdida de capa de rodadura, etc. ya que lo realizan en tramos de 100 mts y entre relaciones de área sacar un porcentaje de área afectada del pavimento para así delimitar en que severidad se encuentra.

El catálogo I lo determina su grado de severidad y lo hace por medio de una gráfica en el cual solo basta conocer el diámetro y la profundidad del bache para determinar la severidad lo cual puede ser algo tedioso estar midiendo los baches, ya que la manera más sencilla sería por el porcentaje de la relación de las áreas afectadas puesto que solo basta con cuantificar el área afectada en tramos de 100 mts.

El desarrollo del catálogo, incluye 14 deterioros que abarca desde la fase estructural hasta la fase funcional, además incluye medidas cuantitativas para la determinación de los mismos, dejando de lado la subjetividad en la toma de decisiones.

Se proponen dos catálogos de deterioros una versión explícita y una versión simplificada, el cual su mayor diferencia es el forma en que este define y evalúan los deterioros, la versión explícita como su nombre lo indica cuenta con una información más detallada así como la forma de evaluar el deterioro para ser precisa, por otro lado la versión simplificada cuenta con una forma más breve su información para que así se pueda comprender por cualquier usuario que cuente con un poco de información del tema y además de ser impreso en una tamaño de 10 x 18 cm, lo cual será práctica en comparación con su otra versión que será de 21 x 30 cm, esta versión simplificada contara con otra forma de evaluar los deterioros de una manera que sea más práctica. En si lo dos catálogos son similares y tienen el mismo objetivo de brindar información de los deterioros en pavimentos flexibles.



Bibliografía.

IMT & SCT. (1991). México: Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. (2001). Francia: Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.

DRM™ System. (2001). Estados Unidos: Pavement Management System.

Nebraska Departmente of Roads. (2002). Estados Unidos: Pavement Maintenance Manual.

Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamerica. (2002). Latinoamerica: Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles.

Transports Québec. (2002). Canadá: Manuel D'Identification des dégradations des chaussées souples.

U.S. Department of Transportation in the interest of information change. (2003). Estados Unidos: Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition).

UDOT. (2003). Estados Unidos: UDOT Distress Manual.

Direzione Generale Infrastrutture e Mobilita. (2005). Italia: Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali.

NPS Road Inventory Program. (2006). Estados Unidos: Pavement Condition Evaluation Manual.

South Dakota Department of Transportation initiated the Research Project. (2009). Estados Unidos: SDDOT'S Enhanced Pavement Management System – País: Estados Unidos.

IMT & SCT, Normativa de los pavimentos flexibles. (2019)
<https://normas.imt.mx/>

CONAGUA, Mapa de temperatura minima promedio mensual de diciembre. (2018). <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/temperatura-form>



Urbanismo.com, pavimentos flexibles, (2018).

<https://www.urbanismo.com/pavimentos-flexibles/>

Gestion y auscultación de infraestructuras, (2018).

<http://www.gestionyauscultacion.com/PDF/aran.pdf>

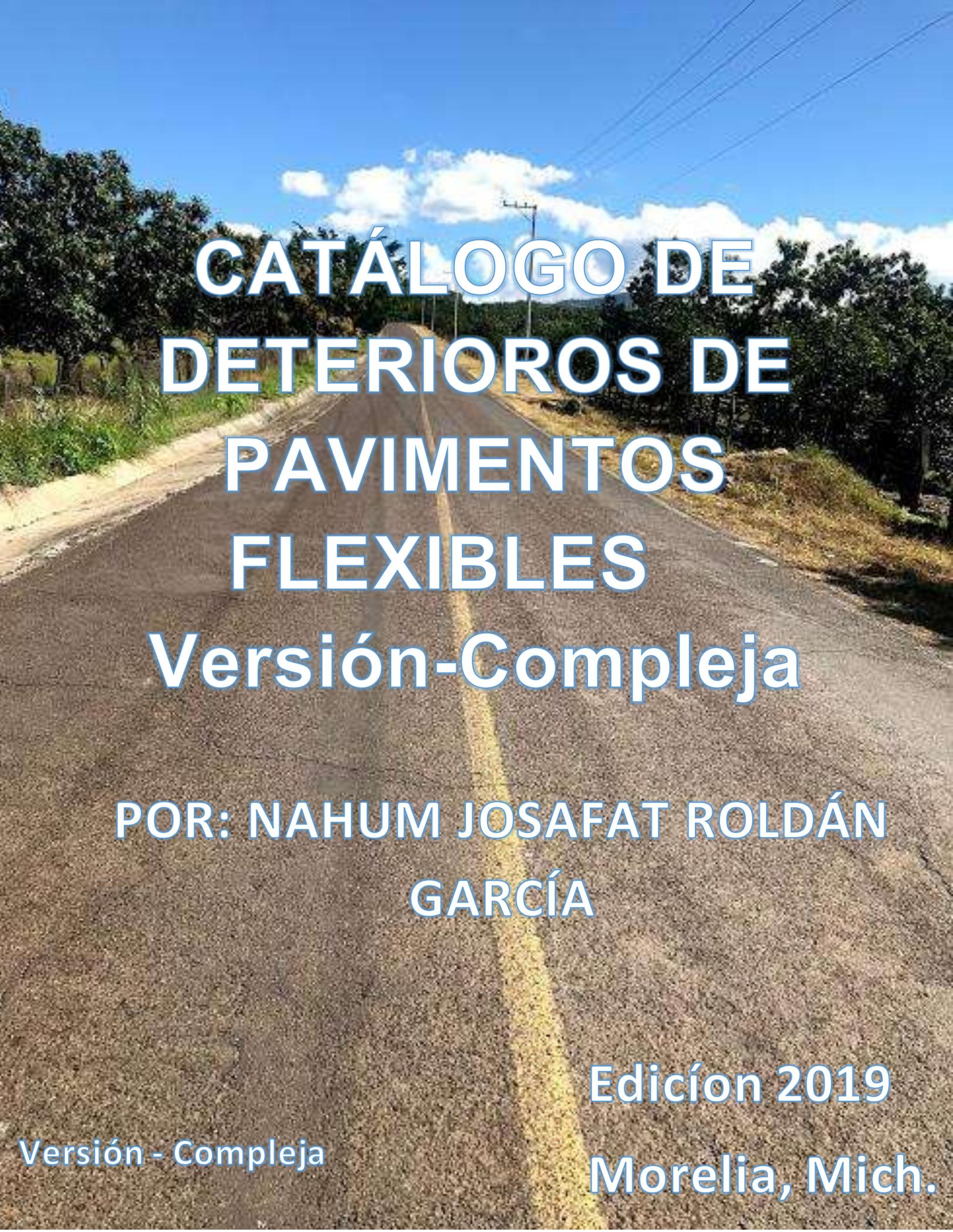
ARRB, Hawkeye (2018). <https://www.arrb.com.au/hawkeye-software>

ScienceDirect, 3D Ultra data acquisition system, (2016).

<https://www.sciencedirect.com>



Anexos



**CATÁLOGO DE
DETERIOROS DE
PAVIMENTOS
FLEXIBLES
Versión-Compleja**

**POR: NAHUM JOSAFAT ROLDÁN
GARCÍA**

Edición 2019

Morelia, Mich.

Versión - Compleja



Fue un trabajo en base a catálogos de deterioros de pavimentos flexibles nacionales e internacionales, realizado por Nahum Josafat Roldán García con la asesoría del Dr. Rafael Soto Espitia y Dr. Mario Salazar Amaya



Contenido

Introducción

Deterioros de la superficie

- Ondulaciones
- Protuberancias
- Rodera
- Levantamiento por congelación
- Crestas

Daños superficiales

- Exudación de asfalto
- Desgaste de agregados (pulimento)
- Exposición de agregados

Agrietamientos

- Agrietamientos longitudinales y transversales
- Agrietamientos tipo mapa
- Piel de cocodrilo

Desprendimientos de la estructura

- Pérdida de agregados (calavereo)
- Pérdida de carpeta de rodadura
- Pérdida de base
- Bache

Bibliografía



Introducción.

Los deterioros son una gran problemática para la estructura del pavimento así como el de disminuir la comodidad y seguridad que debe brindar el pavimento. Se clasificaron los deterioros en cuatro grupos que son:

- Deterioros de la superficie.
- Daños de la superficie.
- Agrietamientos.
- Desprendimientos de la estructura.

En cada uno de ellos viene expresado: definición, origen, causas, evaluación y severidad, acciones de

Nota: Se debe evaluar los deterioros de una manera factible y eficiente, por lo cual se recomienda cuantificar el área afectada (Af) en rectángulos por los deterioros.

Ejemplo.

En la fig. 6.1 Se muestra el pavimento con múltiples deterioros que se pueden llegar a presentar debido a los diversos factores.

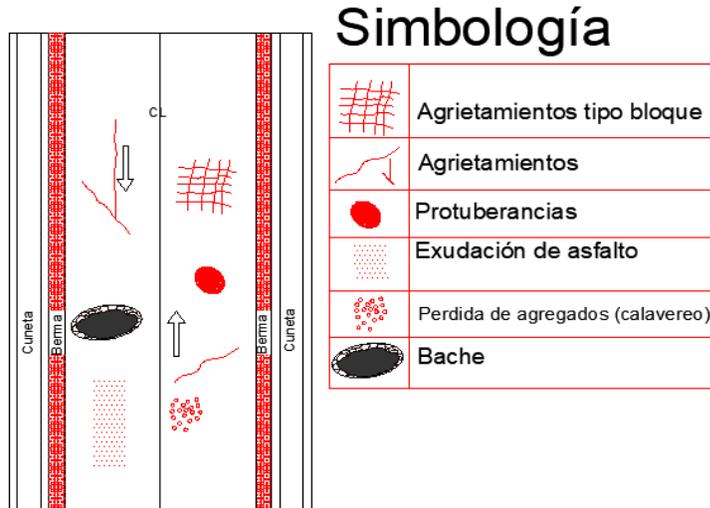


Fig. 6.1.1 Diagrama de deterioros en pavimento flexibles

Se explicó anteriormente que el área afectada se debe cuantificar en rectángulos donde ocupen la mayor parte del deterioro en tramos de 100 mts, como se muestra en la fig. 6.2 Esa es el área afectada (A_f) que se muestra en la figura.

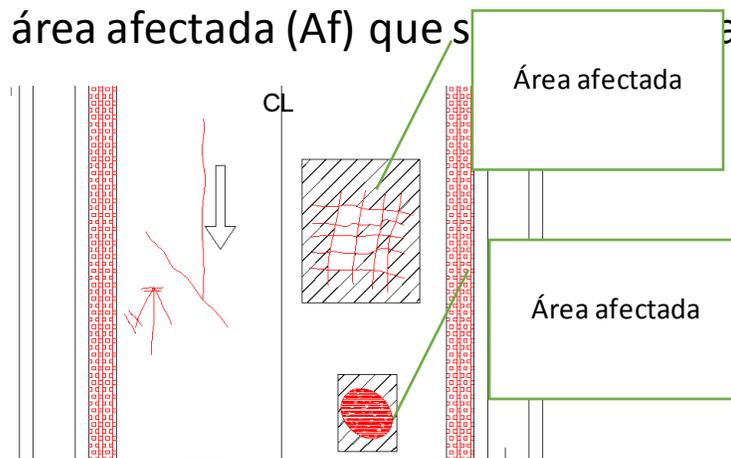
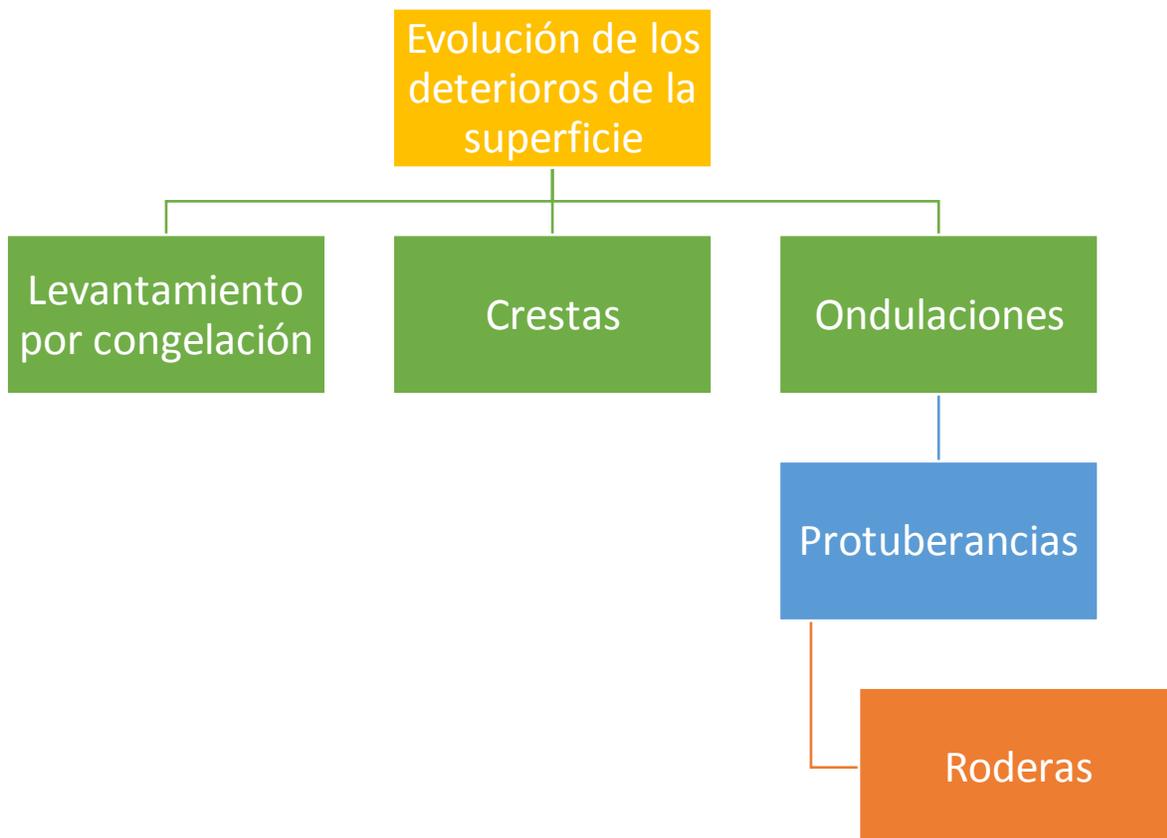


Fig. 6.1.2 Diagrama de área afectada de los deterioros



Deterioros de la superficie

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debido a fallas de la capa asfáltica y no existe relación alguna con la estructura del pavimento, algunos de los deterioros son:





Ondulaciones

Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternos.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura en zigzag.

Causas

- Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
- Bases de mala calidad.
- Acciones de tránsito intenso.
- Fuerza tangencial producto de aceleraciones y frenado del vehículo.
- Inestabilidad de la mezcla deficiente.
- Deformaciones diferenciales de suelos de cimentaciones que se reflejan en capas superiores.
- Circulación lenta en pendientes pronunciadas.
- Agregados redondeados (boleos).

Evaluación (Unidades en cm)

Profundidad máxima de los valles medida a partir de una regla de 3 m colocada longitudinalmente, en intervalos de 100 mts.

Severidad	
Grado	Profundidad (cm)
Bajo	< 1
Medio	1 a 2
Alto	> 2

Nota: < 1 (menor de uno), >2 (mayor de dos)

Acciones recomendadas.

- **Ligero:** No requiere intervención.
- **Medio:** Renivelar y sustitución de nueva capa de rodadura.
- **Alto:** Renivelar y nueva capa de rodadura.

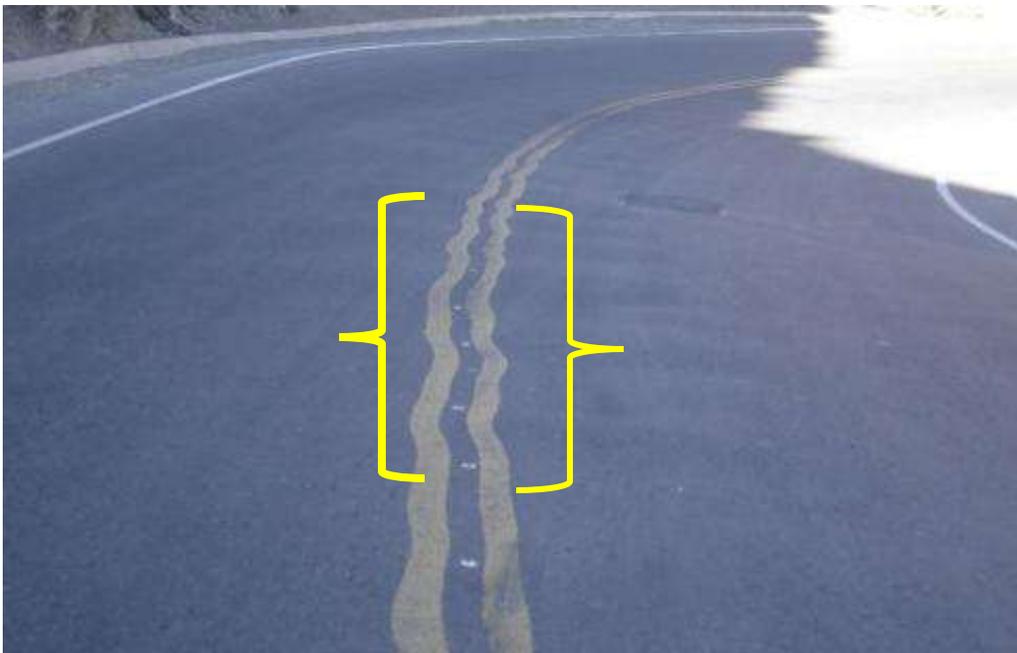


Fig. 6.1.3 Ondulaciones en un pavimento flexible

Protuberancias

Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura como si fuera un abultamiento en la parte superior del pavimento.

Causas

- Acción del tránsito intenso.
- Estabilidad inadecuada.
- Compactación inadecuada.

Evaluación.

Severidad	
Grado	Altura (cm)
Bajo	< 3
Medio	3 a 6
Alto	> 3

Nota: < 3 (menor de tres), >6 (mayor de seis)

Acciones recomendadas.

Fresado superficial, sustituir área afectada y renivelar.



Fig. 6.1.4. Protuberancia



Roderas

Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura por el hundimiento de la misma.

Causas

- Uso de asfaltos blandos.
- Dosificación del asfalto en exceso.
- Uso de agregados redondos.
- Compactación deficiente de la base.
- Baja estabilidad de la carpeta.

Evaluación

Profundidad máxima de la rodera, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m o más.

Estado	Intervalos de PR mm	
	Autopista corredores carreteros	Red básica libre y red secundaria
Bueno	< 5	< 7
Regular	5.1 a 8	7.1 a 9
Malo	> 8	> 9

Nota: < 5 (menor de cinco), >8 (mayor de ocho)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.
- **Medio:** Rellenar rodera en forma continúa y uniforme.
- **Alto:** Fresado superficial, renivelar y colocar nueva capa de rodadura.

En el siguiente diagrama se puede apreciar como la trayectoria de las llantas del vehículo provoca el hundimiento de la carpeta asfáltica ya sea por el poco espesor de esta o los diferentes factores que lo provocan, además se aprecia el como el hundimiento afecta a las demás capas inferiores.

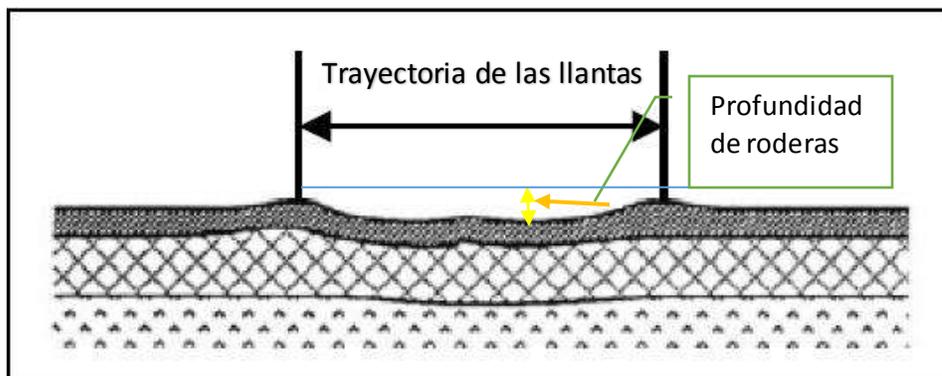


Fig. 6.1.5. Roderas de un pavimento flexible apreciable por la regla en forma horizontal



Levantamiento por congelación

Cristalización del agua subterránea a una temperatura de 0° C, empuje ascendente de las capas de la estructura del pavimento

Origen

- Se originan en las capas superiores del pavimento, debido a los campos o infiltraciones de agua.

Causas

- Acción de heladas.
- Ciclos de congelación y descongelación.
- Expansión localizada de capas inferiores.
- Cristalización del agua subterránea.

Evaluación

No se propone clasificación de severidad para este caso ya que es muy poco común y no es un daño progresivo que esto llegue a suceder ya que solo ocurre cuando la temperatura es demasiado baja por heladas.

Se recomienda guiarse con la fig. 6.1.6 o un mapa climatológico de la temperatura mínima promedio anual o mensual, para así tener en cuenta las posibilidades que ocurra este deterioro.

Acciones recomendadas. Fresado superficial, colocación de una nueva carpeta asfáltica y recompactación de la base.

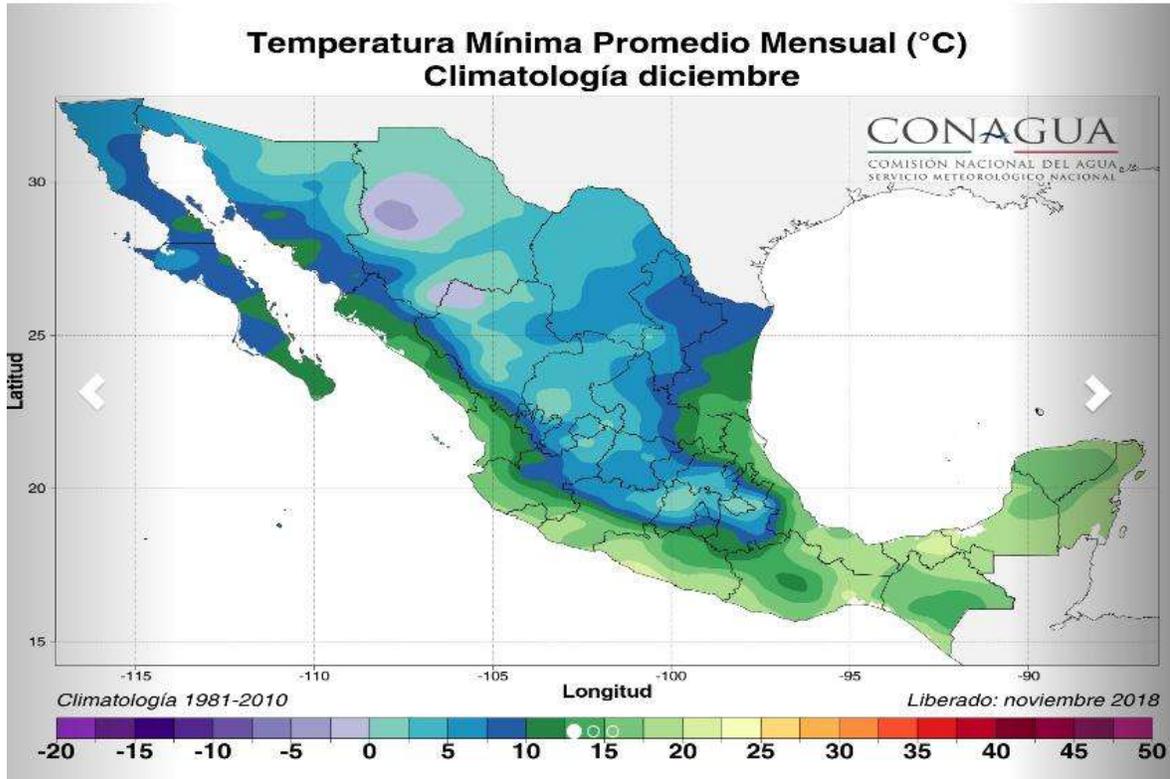


Fig. 6.1.6. Mapa de temperatura mínima promedio mensual



Fig. 6.1.7 Levantamiento por congelación

Crestas

Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino.

Origen

- Se origina en el sentido paralelo al eje del camino.

Causas

- Asfalto de mala calidad
- Flujo de la mezcla por acción de derrame de combustible.
- Transito intenso muy canalizado.

Evaluación.

Severidad	
Grado	Profundidad (cm)
Bajo	< 1
Medio	1 a 2
Alto	> 4

Nota: < 1 (menor de uno), >4 (mayor de cuatro)

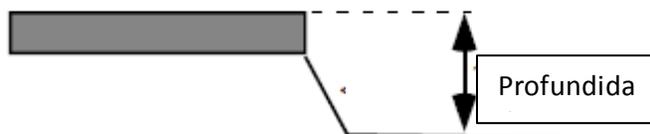


Fig. 6.1.8 Esquema de la cresta

Acciones recomendadas.

Se recomienda un fresado lineal y después colocar una capa de carpeta asfáltica hasta dejarlo uniforme.

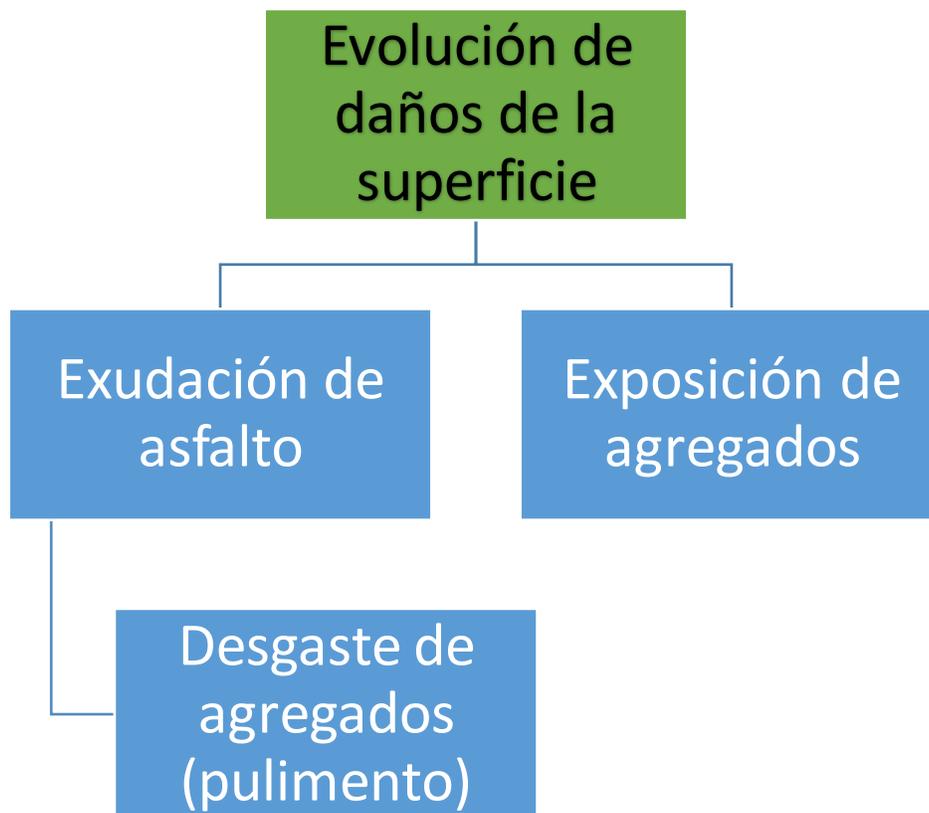


Fig. 6.1.9. Crestas longitudinal a lo largo de berma del pavimento



Daños superficiales

Son aquellos deterioros del pavimento ocasionados principalmente por la acción del tránsito, se presenta como pérdida de asfalto y agregados, este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por diversos factores como son el tránsito, algunos de los más comunes son:





Exudación de asfalto

Exceso de cemento asfáltico que puede ir desde una superficie descolorida en relación con el resto del pavimento, hasta una condición en la que el agregado del asfalto puede oscurecerse con una superficie brillante.

Origen

- Se origina en la parte superior de la carpeta asfáltica.

Causas

- Mala calidad del asfalto.
- Endurecimiento asfáltico por envejecimiento.
- Contenido de asfalto insuficiente.
- Métodos de construcción inadecuados.
- Exceso de asfalto.
- Temperatura de compactación muy elevada.
- Sobredosificación de riego de liga.

Evaluación.

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S = Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 10
Medio	10 a 50
Alto	>50

Nota: < 10 (menor de diez), >50 (mayor de cincuenta)

Acciones recomendadas.

- Bajo: Tratamiento de aislamiento rutinario.
- Medio: Superposición de mezcla caliente delgada.
- Alto: Fresado superficial, nueva capa de rodadura.



Fig. 6.1.10. Exudación de asfalto apreciable debido al color significativo del pavimento

Desgaste de agregados (pulimento)

Presencia de agregados que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el asfalto.

Origen

- Se origina en la parte superior de la carpeta asfáltica, en los agregados pétreos que les deja una cara plana.

Causas

- Uso agregados suaves, como por ejemplo calizas, susceptibles al pulimento.
- Mala calidad de agregados.

Evaluación.

Se mide el coeficiente de fricción en forma continua o puntual. Los tramos con coeficiente de fricción menor que uno deben ser atendidos de inmediato.

Forma de medir: círculo de arena.

Acciones recomendadas.

Fresado superficial.

Agregados de origen no sedimentario.

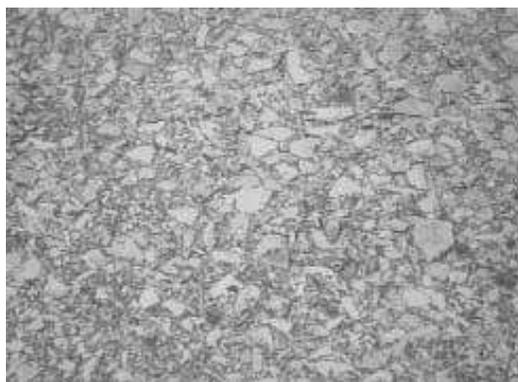


Fig. 6.1.11. Pulimento de agregados, se aprecia una cara lisa luminosa en los agregados pétreos



Exposición de agregados

Presencia de agregados pétreos parcialmente expuestos en la capa de rodadura.

Origen

- Se presenta la parte superior de la capa de rodadura.

Causas

- Granulometría inadecuada y deficiente de los agregados.
- Circulación de llantas con clavos.
- Segregación de los agregados pétreos durante su manejo en obra.

Evaluación.

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Profundidad (cm)
Bajo	< 20
Medio	20 a 50
Alto	> 50

Nota: < 20 (menor de veinte), >50 (mayor de cincuenta)

Acciones recomendadas.

- Bajo: No requiere intervención.
- Medio: Nueva capa de rodadura en áreas afectadas.
- Alto: Nueva capa de rodadura al siguiente año en mantenimiento periódico en todo el tramo.

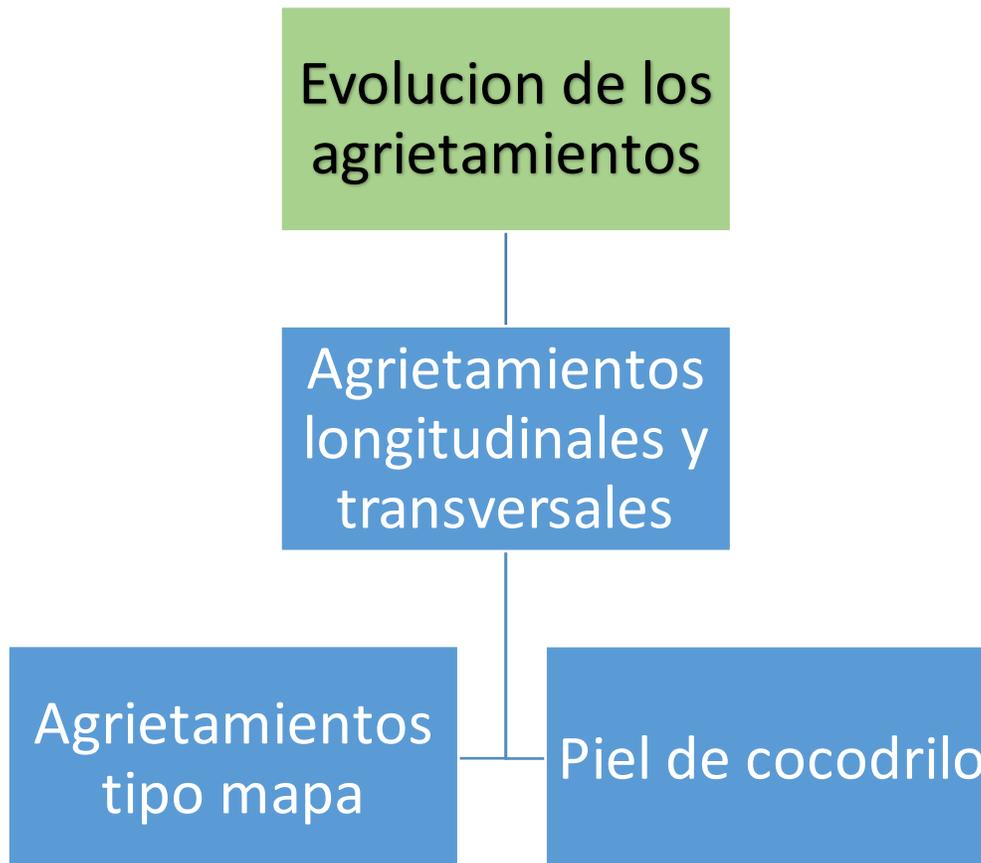


Fig. 6.1.12. Exposición de agregados debido a la PÉRDIDA de la capa de rodadura y pérdida de base



Agrietamientos

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica en diferentes direcciones ocasionados por diversos factores, algunos de los agrietamientos más comunes son:





Agrietamientos longitudinales y transversales

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento, son discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él, tamaño puede ser variado de; principalmente se originan por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios; este tipo de falla no está asociada a cargas, lo que indican es que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Estos agrietamientos pueden ser ondulados, transversales, longitudinales, tipo mapa, en zigzag, finas, parabólicas, etc.

Origen

- Se pueden llegar a originar en todo lo ancho o un área de la corona en diferentes direcciones.

Causas

- Asfaltos envejecidos.
- Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.
- Baja estabilidad de la carpeta.
- Uso de materiales finos muy plásticos.
- Empuje hidrostático de agua almacenada.
- Drenaje insuficiente.
- Asentamientos aislados de capas interiores.
- Espesor insuficiente.
- Fatiga.



- Fuertes solicitaciones de tránsito.
- Soporte inadecuado de la base.
- Exceso de finos en carpeta asfáltica.
- Cambios extremos de temperatura.
- Base defectuosa.

Evaluación

- **Agrietamientos longitudinales:**

Severidad	
Grado	Espesor (mm)
Bajo	< 6
Medio	6 a 19
Alto	> 19

Nota: < 6 (menor de seis), >6 (mayor de seis)

- **Agrietamientos transversales:**

Severidad	
Grado	Espesor (mm)
Bajo	< 6
Medio	6 a 19
Alto	> 19

Nota: < 6 (menor de seis), >6 (mayor de seis)

Acciones recomendadas.

- **Agrietamientos longitudinales:**
Bajo; Trabajos de conservación rutinarios.
Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello.

Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.

- **Agrietamientos transversales:**

Bajo; Trabajos de conservación

Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello

Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.



Fig. 6.1.13 Agrietamientos transversales

Agrietamientos transversales de severidad baja y además se puede apreciar el cómo las grietas se van interceptando entre ellas.



Fig. 6.1.14. Agrietamiento longitudinal con un ligero agrietamiento transversal

Se aprecia un ligero agrietamiento longitudinal pero que es interceptado por otro agrietamiento transversal.



Agrietamientos tipo mapa

Este tipo de agrietamientos tiene la singularidad de estar divididos en bloques en forma aproximadamente rectangular.

Este deterioro difiere de la piel de cocodrilos en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques parecen en aparecen usualmente en áreas no cargadas. Por lo regular estos agrietamientos evolucionan en piel de cocodrilo debido a que estos son en forma de polígonos más pequeños.

Origen

- Se originan en la parte superior de la capa de rodadura.

Causas

- Asfaltos envejecidos.
- Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.
- Baja estabilidad de la carpeta.
- Uso de materiales finos muy plásticos.
- Variación de temperatura
- Espesor insuficiente.
- Fatiga.
- Fuertes sollicitaciones de tránsito.
- Soporte inadecuado de la base.



Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

- **Agrietamientos tipo mapa o block:**

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 10
Medio	10 a 50
Alto	> 50

Nota: < 10 (menor de diez), >50 (mayor de cincuenta)

- **Acciones recomendadas.**

Bajo; Trabajos de conservación.

Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos.

Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.



Fig. 6.1.15. Agrietamientos tipo mapa

Agrietamientos tipo mapa o bloque que a diferencia de los agrietamientos de piel cocodrilo estos son formados por polígonos más grandes.



Piel de cocodrilo

Agrietamientos en la superficie de la capeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos, interconectados que se asemejan la piel de un cocodrilo.

Origen

- A diferencia de los agrietamientos en retícula estos son pequeños polígonos que van formando por todo la capa de rodadura.

Causas

- Soporte inadecuado de la base.
- Debilidad de la estructura del pavimento.
- Fatiga.
- Envejecimiento.
- Evolución progresiva de agrietamientos tipo mapa.
- Uso de asfaltos muy duros.
- Subdrenaje inadecuado.

Evaluación (Unidades m^2)

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).



A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 10
Medio	10 a 50
Alto	> 50

Nota: < 10 (menor de diez), >50 (mayor de cincuenta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Sellado de grietas.
- **Medio:** Trabajos de conservación periódica: trabajos aislados, riego de sello.
- **Alto:** Trabajos de conservación de reconstrucción, renivelar, nueva capa de rodadura, reconstrucción en caso de falla estructural.

En la fig.6.1.16. Se puede apreciar un área afectada por agrietamientos tipo piel de cocodrilo, como se puede apreciar estos agrietamientos pueden ocasionar desprendimientos de la capa de rodadura por la intensidad del tránsito o entre otros



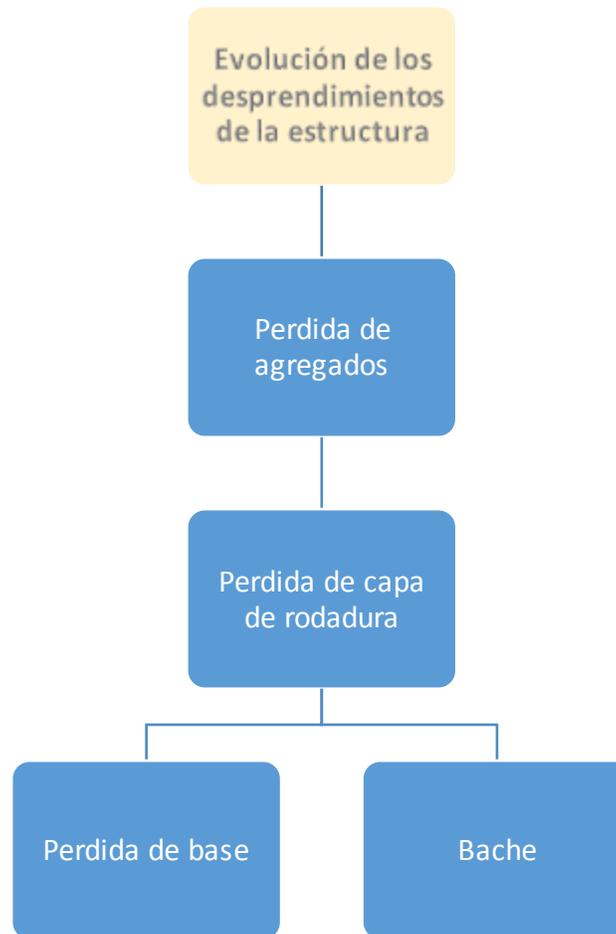
Fig. 6.1.16. Agrietamientos piel cocodrilo

factores



Desprendimientos de la estructura

Los desprendimientos consisten en la pérdida de agregados de la superficie del pavimento y la pérdida de la capa de rodadura.





Pérdida de agregados (calavereo)

Desprendimientos de agregados del pavimento.

Origen

- Se origina en la superficie los desprendimientos de agregados pétreos dejando aisladas las capas inferiores.

Causas

- Escasez de asfalto.
- Acción del tránsito intenso.
- Expansión de agregado grueso.
- Esparcido irregular del asfalto.
- Asfalto inadecuado
- Agregado sucio, con polvo adherido
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.

Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 5
Medio	5 a 30
Alto	> 30

Nota: < 5 (menor de cinco), >30 (mayor de treinta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Mantenimiento rutinario.
- **Medio:** Tratamientos de conservación periódica como: tratamientos superficiales.
- **Alto:** Tratamientos de reconstrucción y nueva carpeta de carpeta de concreto asfáltico.



Desprendimiento de agregado bajo producto de la escases de asfalto

Fig. 6.1.17 Peladura de agregados

Desprendimiento de agregado alto a tal punto de desprender los agregados se desintegran junto con el asfalto dejando aislado la



Fig. 6.1.18. Perdida de agregados alto



Pérdida de carpeta de rodadura

Desprendimiento de la última capa delgada, de tratamientos superficiales, tales como:

- Lechadas.
- Microcarpetas.
- Capas de rodadura.
- Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura.

Causas

- Escasez de asfalto.
- Asfalto inadecuado.
- Compactación deficiente.
- Dosificación inadecuada de asfalto.
- Envejecimiento del asfalto.

Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 5
Medio	5 a 30
Alto	> 30

Nota: < 5 (menor de cinco), >30 (mayor de treinta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Tratamientos de conservación periódica.
- **Medio:** Tratamiento de conservación periódica: tratamientos aislados, fresado superficial y carpeta de concreto asfáltico.
- **Alto:** Tratamientos de reconstrucción: recorte de pavimentos, recuperación en frío y construcción de nueva capa de rodadura, bases y subbases.



Fig. 6.1.19. Pérdida de capa de rodadura y consecuente pérdida de base



Pérdida de base

Desprendimiento del material de la base.

Origen

- Se origina en la capa de la base hidráulica o base tratada.

Causas

- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.
- Asfalto inadecuado de mala calidad.
- Falta de sellado de grietas.
- Filtraciones de agua.
- Mala compactación.

Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 5
Medio	5 a 30
Alto	> 30

Nota: < 5 (menor de cinco), >30 (mayor de treinta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Trabajos de conservación periódica: Tratamiento aislado.
- **Medio:** Recuperación, fresado superficial y recompactación de la base.
- **Alto:** Acciones de conservación; colocación de una capa de base, renivelar y nueva capa de rodadura.



Fig. 6.1.20. Múltiples deterioros en pavimentos flexibles, pérdida de base por consecuente de los diferentes deterioros



Bache

Son huecos de varios tamaños en la capa de rodamiento.

Origen

- Se originan en la parte en la carpeta asfáltica o capa de rodamiento.

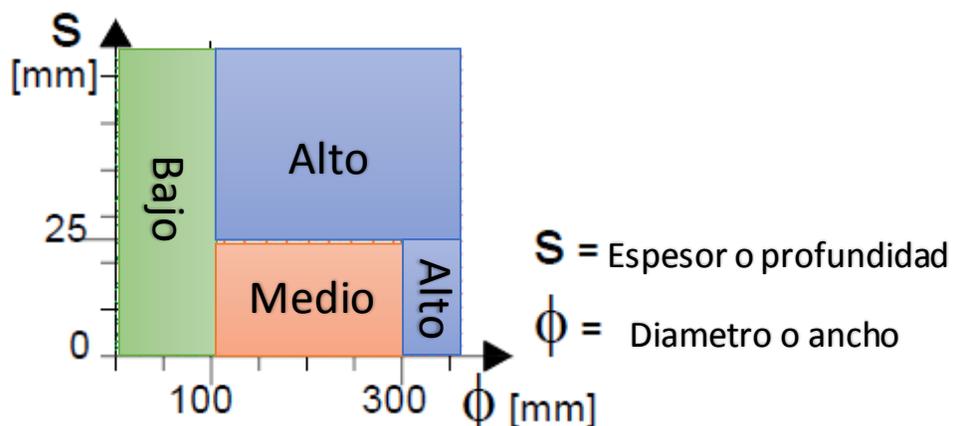
Causas

- Falta de resistencia de la carpeta.
- Escaso contenido de asfalto.
- Drenaje deficiente.
- Espesor deficiente.
- Exceso contenido de agua en la capa.
- Tendido heterogéneo del asfalto.

Evaluación

Para poder evaluar y clasificar su severidad se tiene que usar la gráfica siguiente, en el cual se debe medir su diámetro y profundidad del bache.

Al igual el bache se puede clasificar visualmente.



Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Bacheo superficial aislado.
- **Medio:** Recuperación de base y recompactación de la base, tendido de carpeta asfáltica o capa de rodadura.
- **Alto:** Bacheo profundo aislado.

Bache de severidad bajo, se puede apreciar el pequeño hundimiento y el desprendimiento de la carpeta asfáltica



Fig. 6.1.21. Bache severidad baja

Bache de severidad medio.



Fig. 6.1.22. Bache severidad media

Bache de severidad alto, se aprecia que el bache por no darle ningún tratamiento se llega a perder agregados de la base y la filtración de agua ocasionando a futuro un hundimiento.



Fig. 6.1.23. Bache severidad alta



Bibliografía

IMT & SCT. (1991). México: Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. (2001). Francia: Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.

DRM™ System. (2001). Estados Unidos: Pavement Management System.

Nebraska Departmente of Roads. (2002). Estados Unidos: Pavement Maintenance Manual.

Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamerica. (2002). Latinoamerica: Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles.

Transports Québec. (2002). Canada: Manuel D'Identification des dégradations des chaussées souples.

U.S. Department of Transportation in the interest of information change. (2003). Estados Unidos: Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition).

UDOT. (2003). Estados Unidos: UDOT Distress Manual.



Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità. (2005). Italia: Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali.

NPS Road Inventory Program. (2006). Estados Unidos: Pavement Condition Evaluation Manual.

South Dakota Department of Transportation initiated the Research Project. (2009). Estados Unidos: SDDOT'S Enhanced Pavement Management System – País: Estados Unidos.

IMT & SCT, Normativa de los pavimentos flexibles. (2019) <https://normas.imt.mx/>

CONAGUA, Mapa de temperatura mínima promedio mensual de diciembre. (2018). <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/temperatura-form>



CATÁLOGO DE DETERIOROS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Versión-

Simplificada

POR: NAHUM JOSAFAT ROLDÁN
GARCÍA

Edición 2019

Versión - Simplificada



Fue un trabajo en base a catálogos de deterioros de pavimentos flexibles nacionales e internacionales, realizado por Nahum Josafat Roldán García con la asesoría del Dr. Rafael Soto Espitia y Dr. Mario Salazar Amaya



Contenido

Introducción

Deterioros de la superficie

Ondulaciones

Protuberancias

Rodera

Levantamiento por congelación

Crestas

Daños superficiales

Exudación de asfalto

Desgaste de agregados (pulimento)

Exposición de agregados

Agrietamientos

Agrietamientos longitudinales y transversales

Agrietamientos tipo mapa

Piel de cocodrilo

Desprendimientos de la estructura

Pérdida de agregados (calavereo)

Pérdida de carpeta de rodadura

Pérdida de base

Bache

Bibliografía



Introducción.

Los deterioros son una gran problemática para la estructura del pavimento así como el de disminuir la comodidad y seguridad que debe brindar el pavimento. Se clasificaron los deterioros en cuatro grupos que son:

- Deterioros de la superficie.
- Daños de la superficie.
- Agrietamientos.
- Desprendimientos de la estructura.

En cada uno de ellos viene expresado: definición, origen, causas, evaluación y severidad, acciones de mantenimiento o reconstrucción, fotografías.

Nota: Se debe evaluar los deterioros de una manera factible y eficiente, por lo cual se recomienda cuantificar el área afectada (Af) en rectángulos por los deterioros.

Ejemplo.

En la fig. 7.1.1 se muestra el pavimento con múltiples deterioros que se pueden llegar a presentar debido a los diversos factores.

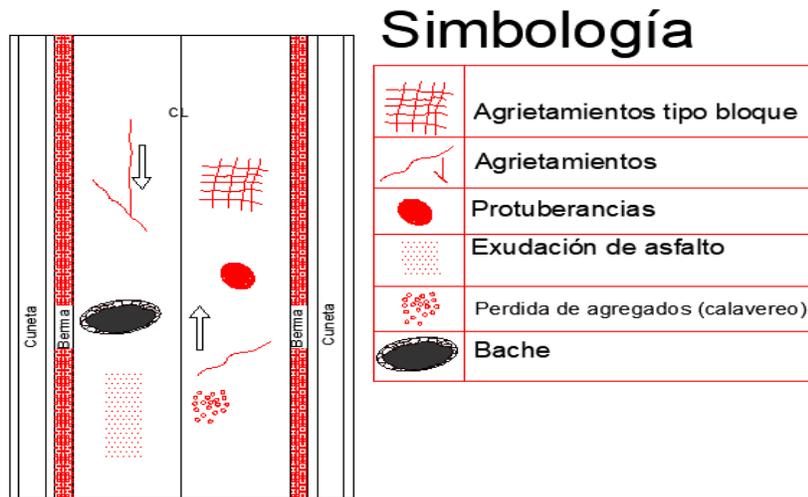


Fig.7.1.1 Diagrama de deterioros en pavimento flexible

Se explicó anteriormente que el área afectada se debe cuantificar en rectángulos donde ocupen la mayor parte del deterioro en tramos de 100 mts, como se muestra en la fig. 7.1.2 Esa es el área afectada (Af) que se mencionara.

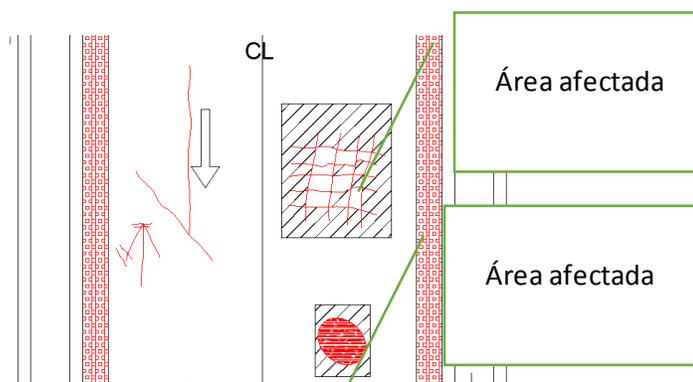
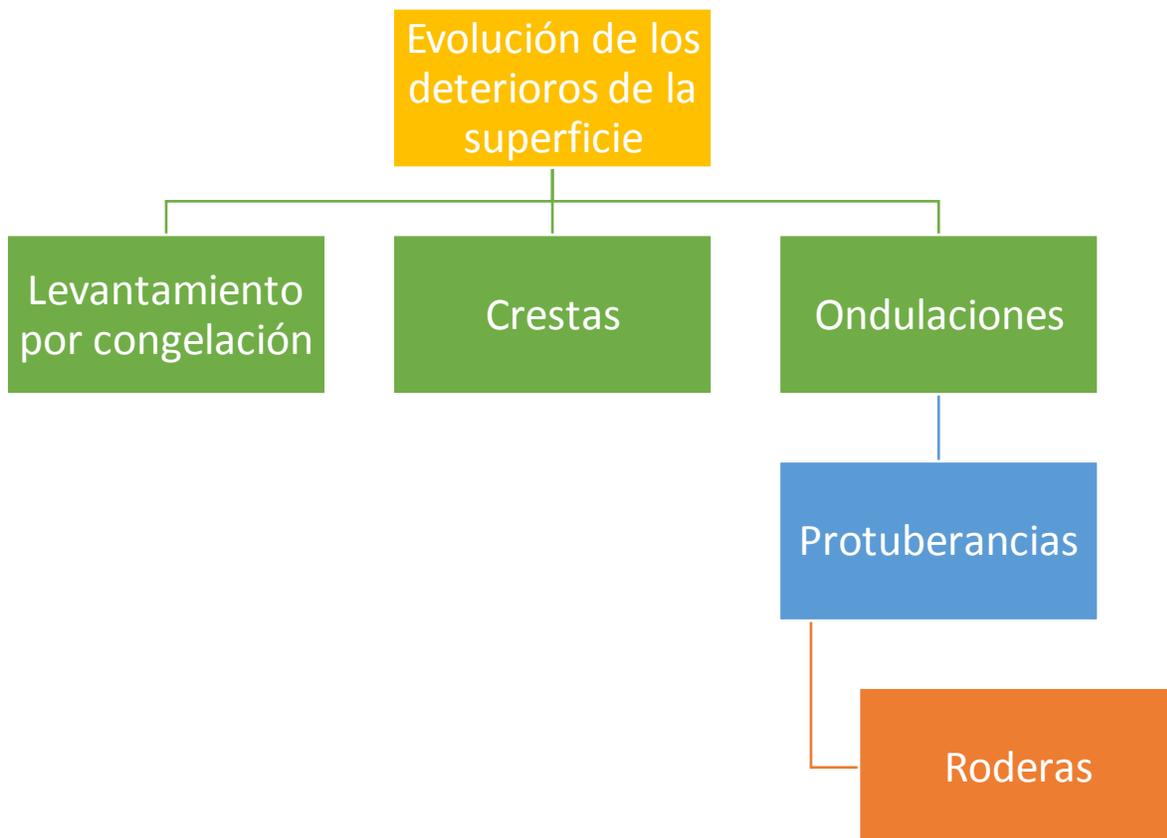


Fig. 7.1.2 Diagrama de área afectada de los deterioros



Deterioros de la superficie

Comprende los defectos de la superficie de rodamiento debido a fallas de la capa asfáltica y no existe relación alguna con la estructura del pavimento, algunos de los deterioros son:





Ondulaciones

Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternos.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura en zigzag.

Causas

- Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
- Bases de mala calidad.
- Acciones de tránsito intenso.
- Deformaciones diferenciales de suelos de cimentaciones que se reflejan en capas superiores.
- Circulación lenta en pendientes pronunciadas.
- Agregados redondeados (boleos).

Evaluación (Unidades en cm)

Profundidad máxima de los valles medida a partir de una regla de 3 m colocada longitudinalmente, en intervalos de 100 mts.

Severidad	
Grado	Profundidad (cm)
Bajo	< 1
Medio	1 a 2
Alto	> 2

Nota: < 1 (menor de uno), >2 (mayor de dos)

Acciones recomendadas.

- **Ligero:** No requiere intervención.
- **Medio:** Renivelar y sustitución de nueva capa de rodadura.
- **Alto:** Renivelar y nueva capa de rodadura.

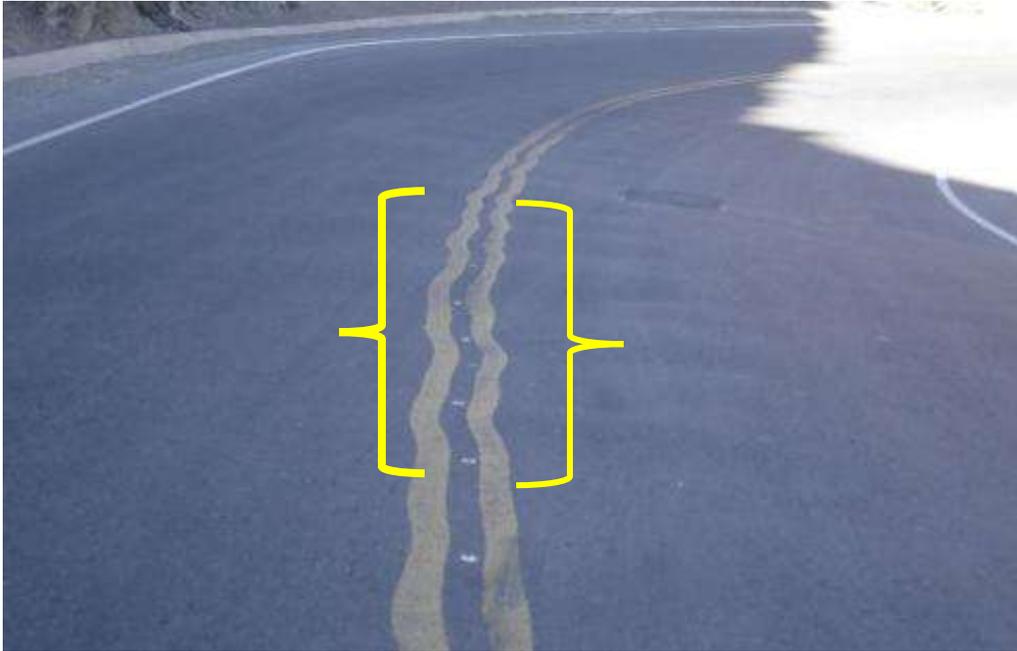


Fig. 7.1.3 Ondulaciones en un pavimento flexible

Protuberancias

Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura como si fuera un abultamiento en la parte superior del pavimento.

Causas

- Acción del tránsito intenso.
- Estabilidad inadecuada.
- Compactación inadecuada.

Evaluación.

Severidad	
Grado	Altura (cm)
Bajo	< 3
Medio	3 a 6
Alto	> 3

Nota: < 3 (menor de tres), >6 (mayor de seis)

Acciones recomendadas.

Fresado superficial, sustituir área afectada y renivelar.



Fig. 7.1.4. Protuberancia



Roderas

Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las rodadas.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura por el hundimiento de la misma.

Causas

- Uso de asfaltos blandos.
- Dosificación del asfalto en exceso.
- Uso de agregados redondos.
- Compactación deficiente de la base.
- Baja estabilidad de la carpeta.

Evaluación

Profundidad máxima de la rodera, medida a partir de una regla colocada transversalmente cada 100 m o más.

Estado	Intervalos de PR mm	
	Autopista corredores carreteros	Red básica libre y red secundaria
Bueno	< 5	< 7
Regular	5.1 a 8	7.1 a 9
Malo	> 8	> 9

Nota: < 5 (menor de cinco), >8 (mayor de ocho)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Aisladamente rellenar la rodera en mantenimiento rutinario.
- **Medio:** Rellenar rodera en forma continua y uniforme.
- **Alto:** Fresado superficial, renivelar y colocar nueva capa de rodadura.

En el siguiente diagrama se puede apreciar como la trayectoria de las llantas del vehículo provoca el hundimiento de la carpeta asfáltica ya sea por el poco espesor de esta o los diferentes factores que lo provocan, además se aprecia el como el hundimiento afecta a las demás capas inferiores.

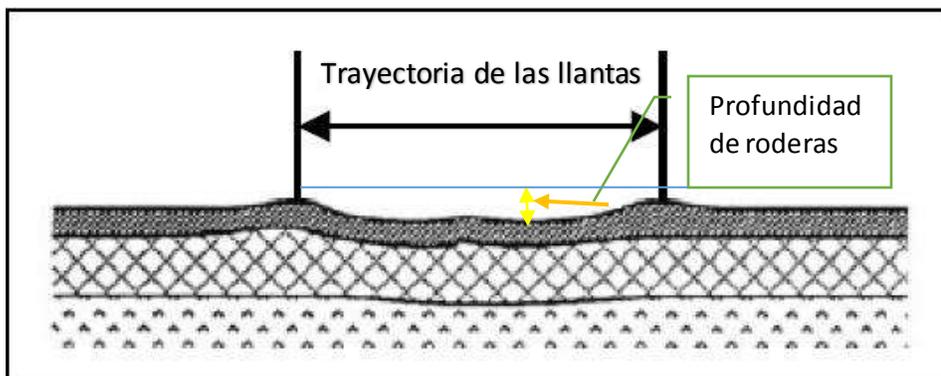


Fig. 7.1.5. Roderas de un pavimento flexible apreciable por la regla en forma horizontal



Levantamiento por congelación

Cristalización del agua subterránea a una temperatura de 0° C, empuje ascendente de las capas de la estructura del pavimento

Origen

- Se originan en las capas superiores del pavimento, debido a los campos o infiltraciones de agua.

Causas

- Acción de heladas.
- Ciclos de congelación y descongelación.
- Expansión localizada de capas inferiores.
- Cristalización del agua subterránea.

Evaluación

No se propone clasificación de severidad para este caso ya que es muy poco común y no es un daño progresivo que esto llegue a suceder ya que solo ocurre cuando la temperatura es demasiado baja por heladas.

Se recomienda guiarse con la fig. 7.1.6 o un mapa climatológico de la temperatura mínima promedio anual o mensual, para así tener en cuenta las posibilidades que ocurra este deterioro.

Acciones recomendadas. Fresado superficial, colocación de una nueva carpeta asfáltica y recompactación de la base.

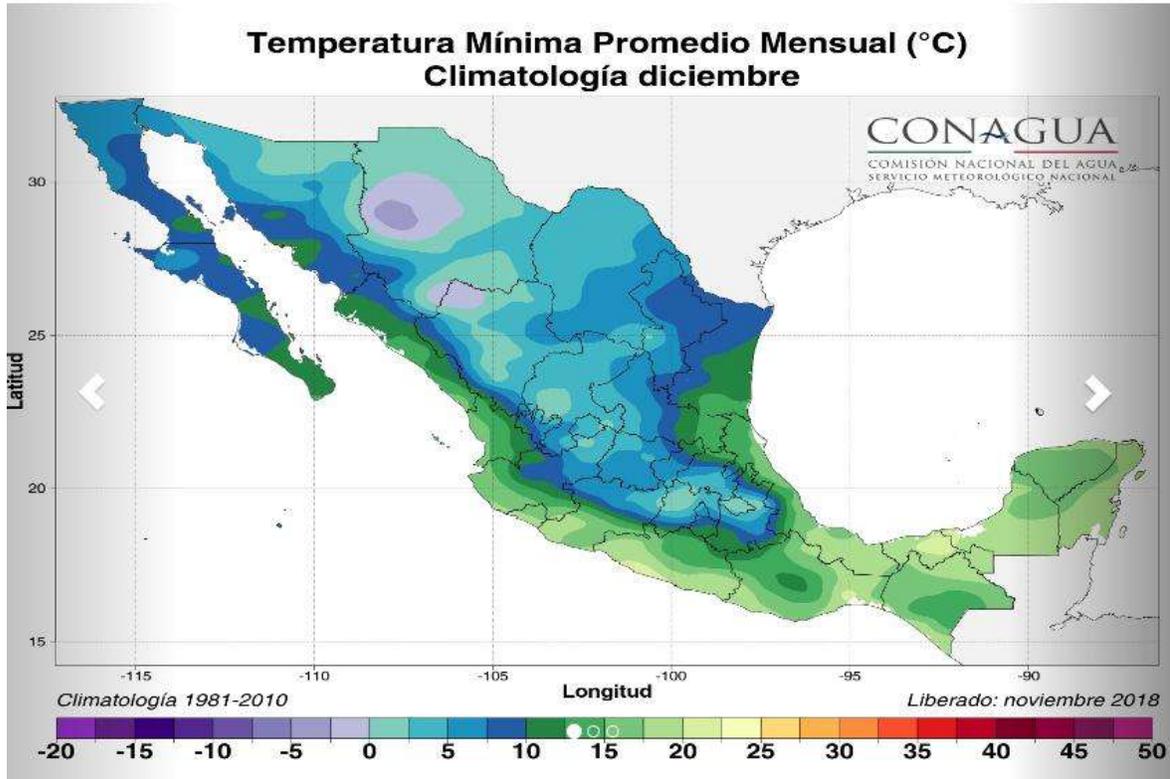


Fig. 7.1.6. Mapa de temperatura mínima promedio mensual



Fig. 7.1.7 Levantamiento por congelación

Crestas

Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino.

Origen

- Se origina en el sentido paralelo al eje del camino.

Causas

- Asfalto de mala calidad
- Flujo de la mezcla por acción de derrame de combustible.
- Tránsito intenso muy canalizado.

Evaluación.

No aplica.

Acciones recomendadas.

Se recomienda un fresado lineal y después colocar una capa de carpeta asfáltica hasta dejarlo uniforme.

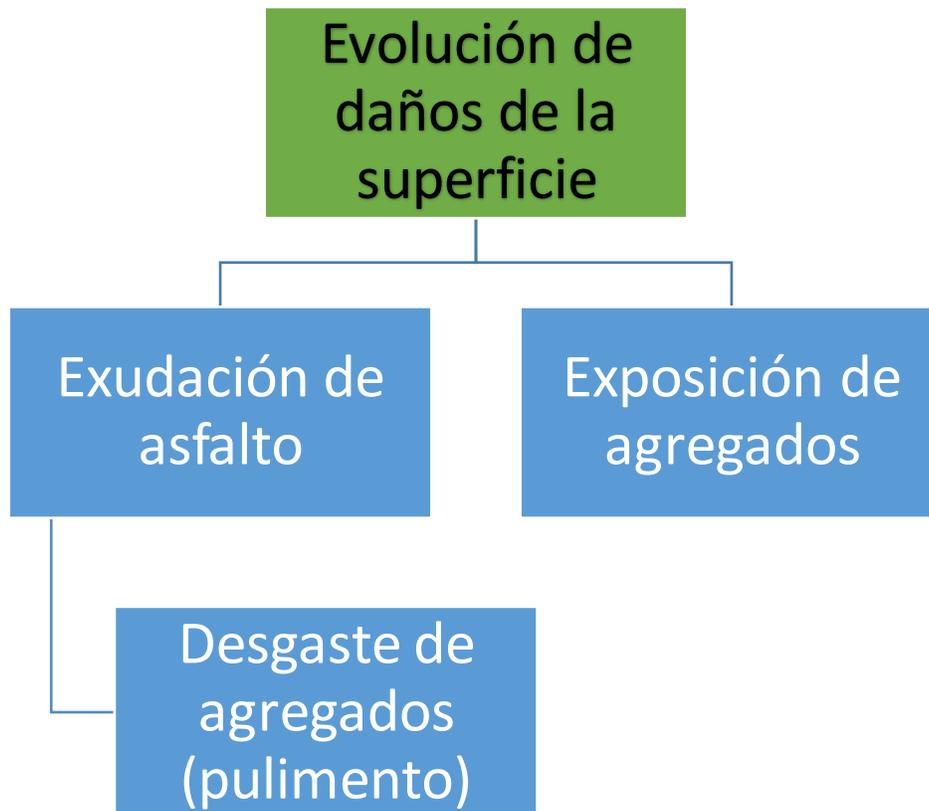


Fig. 7.1.8. Crestas longitudinal a lo largo de berma del pavimento



Daños superficiales

Son aquellos deterioros del pavimento ocasionados principalmente por la acción del tránsito, se presenta como pérdida de asfalto y agregados, este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por diversos factores como son el tránsito, algunos de los más comunes son:





Exudación de asfalto

Exceso de cemento asfáltico que puede ir desde una superficie descolorida en relación con el resto del pavimento, hasta una condición en la que el agregado del asfalto puede oscurecerse con una superficie brillante.

Origen

- Se origina en la parte superior de la carpeta asfáltica.

Causas

- Mala calidad del asfalto.
- Endurecimiento asfáltico por envejecimiento.
- Contenido de asfalto insuficiente.
- Métodos de construcción inadecuados.
- Exceso de asfalto.
- Temperatura de compactación muy elevada.
- Sobredosificación de riego de liga.

Evaluación.

Bajo. Superficie decolorada en relación con el resto del pavimento.

Medio. Perdiendo la textura de la superficie por exceso de asfalto.

Alto. Aspecto brillante debido al exceso de asfalto. Agregado oscurecido por exceso de asfalto.

Acciones recomendadas.

- Bajo: Tratamiento de aislamiento rutinario.
- Medio: Fresado superficial, nueva capa de rodadura.
- Alto: Superposición de mezcla caliente delgada.



Fig.7.1.9. Exudación de asfalto apreciable debido al color significativo del pavimento de severidad alta por aspecto brillante.

Desgaste de agregados (pulimento)

Presencia de agregados que presentan una cara plana en la superficie, generalmente embebidos en el asfalto.

Origen

- Se origina en la parte superior de la carpeta asfáltica, en los agregados pétreos que les deja una cara plana.

Causas

- Uso agregados suaves, como por ejemplo calizas, susceptibles al pulimento.
- Mala calidad de agregados.

Evaluación.

Se mide el coeficiente de fricción en forma continua o puntual. Los tramos con coeficiente de fricción menor que uno deben ser atendidos de inmediato.

Forma de medir: círculo de arena.

Acciones recomendadas.

Fresado superficial.

Agregados de origen no sedimentario.

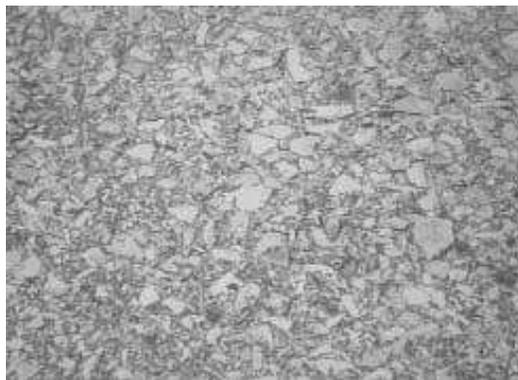


Fig. 7.1.10. Pulimento de agregados, se aprecia una cara lisa luminosa en los agregados pétreos



Exposición de agregados

Presencia de agregados pétreos parcialmente expuestos en la capa de rodadura.

Origen

- Se presenta la parte superior de la capa de rodadura.

Causas

- Granulometría inadecuada y deficiente de los agregados.
- Circulación de llantas con clavos.
- Segregación de los agregados pétreos durante su manejo en obra.

Evaluación.

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Profundidad (cm)
Bajo	< 20
Medio	20 a 50
Alto	> 50

Nota: < 20 (menor de veinte), >50 (mayor de cincuenta)

Acciones recomendadas.

- Bajo: No requiere intervención.
- Medio: Nueva capa de rodadura en áreas afectadas.
- Alto: Nueva capa de rodadura al siguiente año en mantenimiento periódico en todo el tramo.

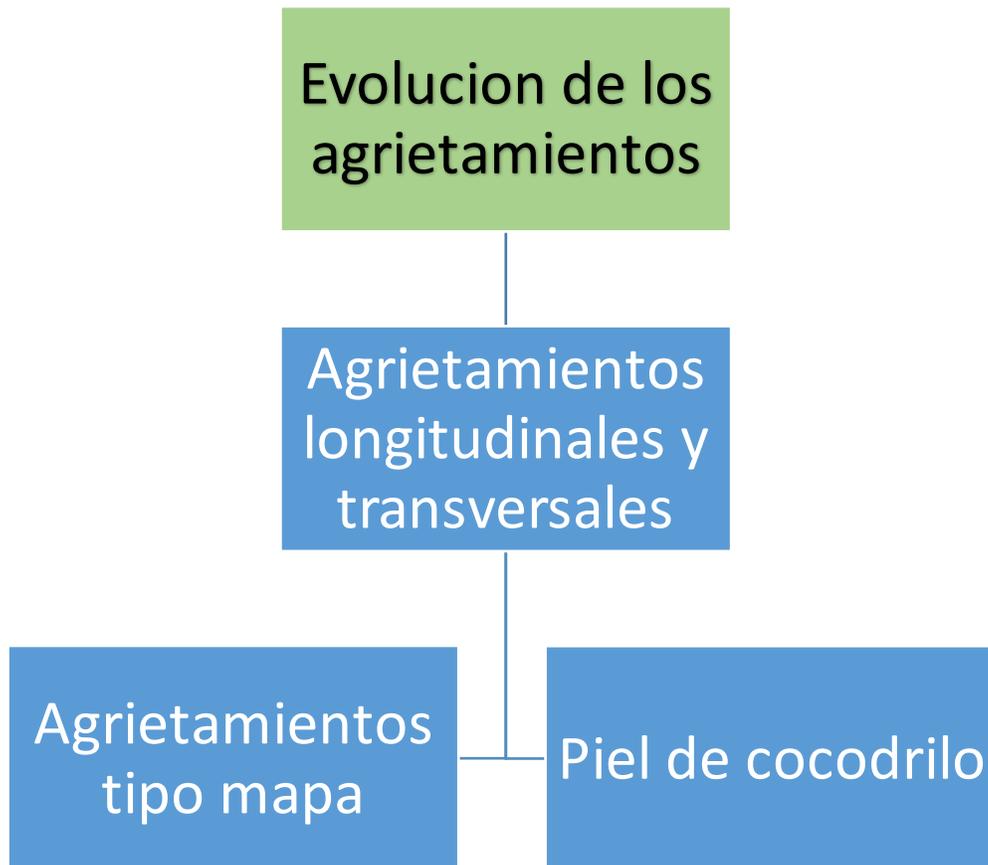


Fig. 7.1.11. Exposición de agregados debido a la PÉRDIDA de la capa de rodadura y pérdida de base



Agrietamientos

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica en diferentes direcciones ocasionados por diversos factores, algunos de los agrietamientos más comunes son:





Agrietamientos longitudinales y transversales

Son grietas interconectadas que dividen el pavimento, son discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él, tamaño puede ser variado de; principalmente se originan por la contracción del concreto asfáltico y los ciclos de temperatura diarios; este tipo de falla no está asociada a cargas, lo que indican es que el asfalto se ha endurecido significativamente.

Estos agrietamientos pueden ser ondulados, transversales, longitudinales, tipo mapa, en zigzag, finas, parabólicas, etc.

Origen

- Se pueden llegar a originar en todo lo ancho o un área de la corona en diferentes direcciones.

Causas

- Asfaltos envejecidos.
- Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.
- Baja estabilidad de la carpeta.
- Uso de materiales finos muy plásticos.
- Empuje hidrostático de agua almacenada.
- Drenaje insuficiente.
- Asentamientos aislados de capas interiores.
- Espesor insuficiente.
- Fatiga.



- Fuertes solicitaciones de tránsito.
- Soporte inadecuado de la base.
- Exceso de finos en carpeta asfáltica.
- Cambios extremos de temperatura.
- Base defectuosa.

Evaluación

- **Agrietamientos longitudinales:**

Severidad	
Grado	Espesor (mm)
Bajo	< 6
Medio	6 a 19
Alto	> 19

Nota: < 6 (menor de seis), >6 (mayor de seis)

- **Agrietamientos transversales:**

Severidad	
Grado	Espesor (mm)
Bajo	< 6
Medio	6 a 19
Alto	> 19

Nota: < 6 (menor de seis), >6 (mayor de seis)

Acciones recomendadas.

- **Agrietamientos longitudinales:**
Bajo; Trabajos de conservación rutinarios.
Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello.

Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.

- **Agrietamientos transversales:**

Bajo; Trabajos de conservación

Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos, riego de sello

Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.



Fig. 5.1.12 Agrietamientos transversales

Agrietamientos transversales de severidad baja y además se puede apreciar el cómo las grietas se van interceptando entre ellas.



Fig. 7.1.13. Agrietamiento longitudinal con un ligero agrietamiento transversal

Se aprecia un ligero agrietamiento longitudinal pero que es interceptado por otro agrietamiento transversal.



Agrietamientos tipo mapa

Este tipo de agrietamientos tiene la singularidad de estar divididos en bloques en forma aproximadamente rectangular.

Este deterioro difiere de la piel de cocodrilos en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques parecen en aparecen usualmente en áreas no cargadas. Por lo regular estos agrietamientos evolucionan en piel de cocodrilo debido a que estos son en forma de polígonos más pequeños.

Origen

- Se originan en la parte superior de la capa de rodadura.

Causas

- Asfaltos envejecidos.
- Reflejo de fisuras en bases estabilizadas.
- Baja estabilidad de la carpeta.
- Uso de materiales finos muy plásticos.
- Variación de temperatura
- Espesor insuficiente.
- Fatiga.
- Fuertes sollicitaciones de tránsito.
- Soporte inadecuado de la base.



Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

- **Agrietamientos tipo mapa o block:**

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 10
Medio	10 a 50
Alto	> 50

Nota: < 10 (menor de diez), >50 (mayor de cincuenta)

- **Acciones recomendadas.**
Bajo; Trabajos de conservación.
Medio; Trabajos de conservación rutinarios y periódicos.
Alto; Trabajos de reconstrucción; fresado superficial, nueva capa de rodadura.



Fig. 7.1.13. Agrietamientos tipo mapa

Agrietamientos tipo mapa o bloque que a diferencia de los agrietamientos de piel cocodrilo estos son formados por polígonos más grandes.



Piel de cocodrilo

Agrietamientos en la superficie de la capeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos, interconectados que se asemejan la piel de un cocodrilo.

Origen

- A diferencia de los agrietamientos en retícula estos son pequeños polígonos que van formando por todo la capa de rodadura.

Causas

- Soporte inadecuado de la base.
- Debilidad de la estructura del pavimento.
- Fatiga.
- Envejecimiento.
- Evolución progresiva de agrietamientos tipo mapa.
- Uso de asfaltos muy duros.
- Subdrenaje inadecuado.

Evaluación (Unidades m^2)

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).



A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S = Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 10
Medio	10 a 50
Alto	> 50

Nota: < 10 (menor de diez), >50 (mayor de cincuenta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Sellado de grietas.
- **Medio:** Trabajos de conservación periódica: trabajos aislados, riego de sello.
- **Alto:** Trabajos de conservación de reconstrucción, renivelar, nueva capa de rodadura, reconstrucción en caso de falla estructural.

En la fig.7.1.14. Se puede apreciar un área afectada por agrietamientos tipo piel de cocodrilo, como se puede apreciar estos agrietamientos pueden ocasionar desprendimientos de la capa de rodadura por la intensidad del tránsito o entre otros factores

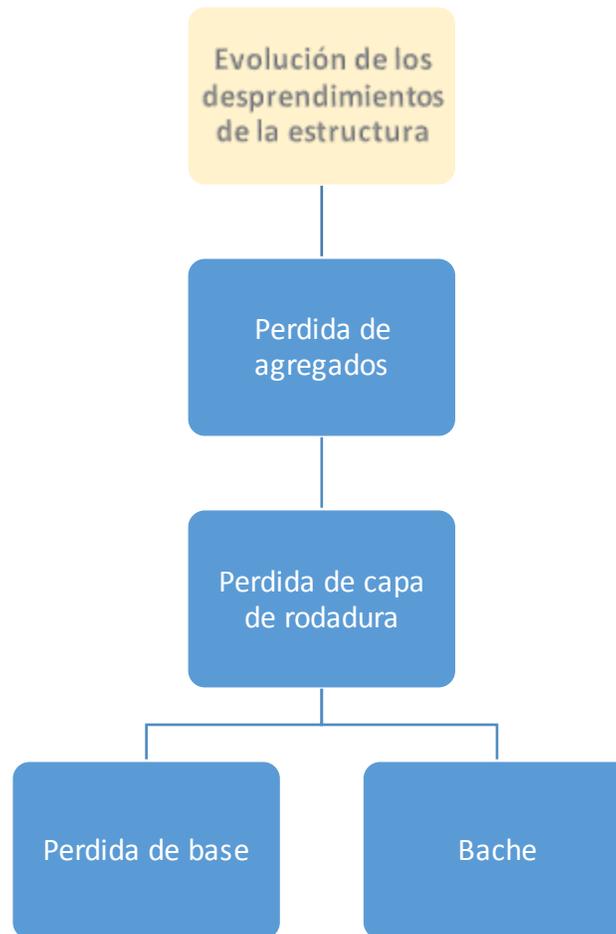


Fig. 7.1.14. Agrietamientos piel cocodrilo



Desprendimientos de la estructura

Los desprendimientos consisten en la pérdida de agregados de la superficie del pavimento y la pérdida de la capa de rodadura.





Pérdida de agregados (calavereo)

Desprendimientos de agregados del pavimento.

Origen

- Se origina en la superficie los desprendimientos de agregados pétreos dejando aisladas las capas inferiores.

Causas

- Escasez de asfalto.
- Acción del tránsito intenso.
- Expansión de agregado grueso.
- Esparcido irregular del asfalto.
- Asfalto inadecuado
- Agregado sucio, con polvo adherido
- Lluvia durante el esparcido o antes del fraguado del asfalto.

Evaluación

Medio: Tanto el agregado grueso como el bitumen libre son notables en la superficie del pavimento.

Alto: la superficie aparece negra con muy poco agregado perceptible

Acciones recomendadas.

- **Medio:** Tratamientos de conservación periódica como: tratamientos superficiales.
- **Alto:** Tratamientos de reconstrucción y nueva carpeta de carpeta de concreto asfáltico.



Fig. 7.1.15 Peladura de agregados

Desprendimiento de agregado alto a tal punto de desprender los agregados se desintegran junto con el asfalto dejando aislado la capa de la base.

Desprendimiento de agregado bajo producto de la escases de asfalto



Fig. 7.1.16. Perdida de agregados alto



Pérdida de carpeta de rodadura

Desprendimiento de la última capa delgada, de tratamientos superficiales, tales como:

- Lechadas.
- Microcarpetas.
- Capas de rodadura.
- Sobrecapas o sobrecarpetas delgadas.

Origen

- Se origina en la carpeta de rodadura.

Causas

- Escasez de asfalto.
- Asfalto inadecuado.
- Compactación deficiente.
- Dosificación inadecuada de asfalto.
- Envejecimiento del asfalto.

Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 5
Medio	5 a 30
Alto	> 30

Nota: < 5 (menor de cinco), >30 (mayor de treinta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Tratamientos de conservación periódica.
- **Medio:** Tratamiento de conservación periódica: tratamientos aislados, fresado superficial y carpeta de concreto asfáltico.
- **Alto:** Tratamientos de reconstrucción: recorte de pavimentos, recuperación en frío y construcción de nueva capa de rodadura, bases y subbases.



Fig. 7.1.19. Pérdida de capa de rodadura y consecuente pérdida de base



Pérdida de base

Desprendimiento del material de la base.

Origen

- Se origina en la capa de la base hidráulica o base tratada.

Causas

- Espesor insuficiente de la capa de rodadura.
- Asfalto inadecuado de mala calidad.
- Falta de sellado de grietas.
- Filtraciones de agua.
- Mala compactación.

Evaluación

Proporción del área afectada respecto al área total, en tramos de 100 m por carril.

$$S = \frac{A_f}{A_T} * 100$$

A_f = Área afectada (suma de las áreas de los rectángulos que circunscriben a cada una de las áreas con deterioro).

A_t = Área total (área total del tramo de 100 mts por carril).

S= Porcentaje de severidad.

Severidad	
Grado	Porcentaje (%)
Bajo	< 5
Medio	5 a 30
Alto	> 30

Nota: < 5 (menor de cinco), >30 (mayor de treinta)

Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Trabajos de conservación periódica: Tratamiento aislado.
- **Medio:** Recuperación, fresado superficial y recompactación de la base.
- **Alto:** Acciones de conservación; colocación de una capa de base, renivelar y nueva capa de rodadura.

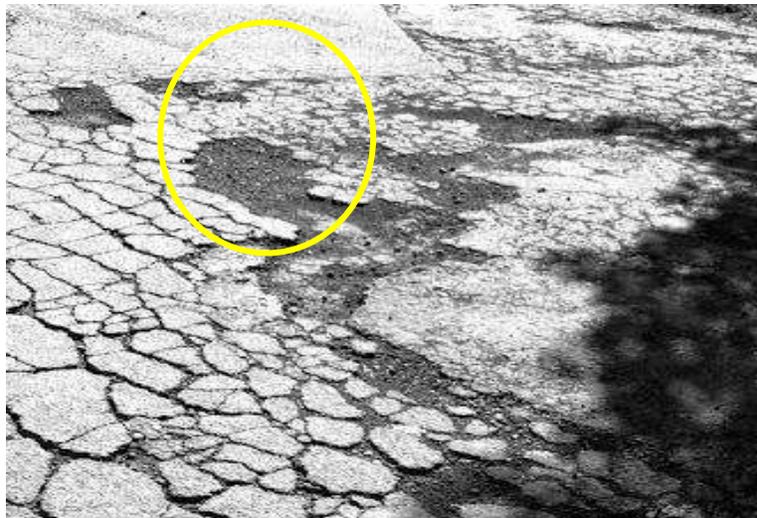


Fig. 7.1.20. Múltiples deterioros en pavimentos flexibles, pérdida de base por consecuente de los diferentes deterioros

Bache

Son huecos de varios tamaños en la capa de rodamiento.

Origen

- Se originan en la parte en la carpeta asfáltica o capa de rodamiento.

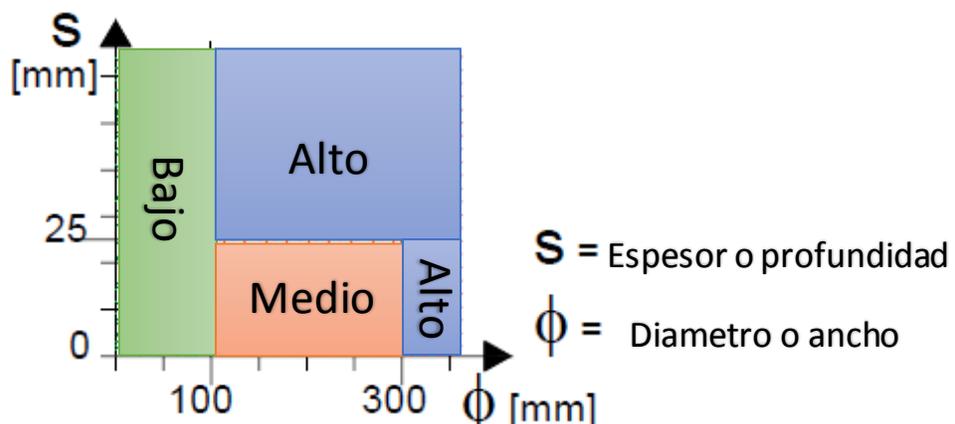
Causas

- Falta de resistencia de la carpeta.
- Escaso contenido de asfalto.
- Drenaje deficiente.
- Espesor deficiente.
- Exceso contenido de agua en la capa.
- Tendido heterogéneo del asfalto.

Evaluación

Para poder evaluar y clasificar su severidad se tiene que usar la gráfica siguiente, en el cual se debe medir su diámetro y profundidad del bache.

Al igual el bache se puede clasificar visualmente.



Acciones recomendadas.

- **Bajo:** Bacheo superficial aislado.
- **Medio:** Recuperación de base y recompactación de la base, tendido de carpeta asfáltica o capa de rodadura.
- **Alto:** Bacheo profundo aislado.

Bache de severidad bajo, se puede apreciar el pequeño hundimiento y el desprendimiento de la carpeta asfáltica



Fig. 7.1.21. Bache severidad baja

Bache de severidad medio.



Fig. 7.1.22. Bache severidad media

Bache de severidad alto, se aprecia que el bache por no darle ningún tratamiento se llega a perder agregados de la base y la filtración de agua ocasionando a futuro un hundimiento.



Fig. 5.1.7. Bache severidad alta



Bibliografía

IMT & SCT. (1991). México: Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles de carreteras mexicanas.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. (2001). Francia: Catalogue des dégradations de Surface des chaussées.

DRM™ System. (2001). Estados Unidos: Pavement Management System.

Nebraska Departmente of Roads. (2002). Estados Unidos: Pavement Maintenance Manual.

Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamerica. (2002). Latinoamerica: Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles.

Transports Québec. (2002). Canadá: Manuel D'Identification des dégradations des chaussées souples.

U.S. Department of Transportation in the interest of information change. (2003). Estados Unidos: Distress Identification Manual for The LTPP (Fourth Revised Edition).

UDOT. (2003). Estados Unidos: UDOT Distress Manual.



Direzione Generale Infrastrutture e Mobilità. (2005). Italia: Catalogo dei disseti delle pavimentazione stradali.

NPS Road Inventory Program. (2006). Estados Unidos: Pavement Condition Evaluation Manual.

South Dakota Department of Transportation initiated the Research Project. (2009). Estados Unidos: SDDOT'S Enhanced Pavement Management System – País: Estados Unidos.

IMT & SCT, Normativa de los pavimentos flexibles. (2019) <https://normas.imt.mx/>

CONAGUA, Mapa de temperatura mínima promedio mensual de diciembre. (2018). <https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/pronostico-climatico/temperatura-form>