



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Condiciones meteorológicas que afectan a las propiedades de las mezclas
asfálticas.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniera Civil

AUTOR(ES)

Vilchez Carpio, Lilian Patricia
ORCID: 0000-0002-6361-6086

Yerén López, Silvia Cristina
ORCID: 0000-0002-5616-4632

ASESOR

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo
ORCID: 0000-0002-7722-8711

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Vilchez Carpio, Lilian Patricia

DNI: 70887181

Yerén López, Silvia Cristina

DNI: 72138885

Datos de asesor

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

Datos del jurado

JURADO 1

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

JURADO 2

Arevalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 06743824

ORCID: 0000-0003-2527-3665

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a Dios, ya que por el he logrado concluir esta carrera, a mis padres Moises Vilchez y Rosa Carpio, por ser las personas que a pesar de todo las dificultades que se presentaron a lo largo de este camino estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para ser de mí una mejor persona, a mi hermano que fue un apoyo incondicional, a todos mis seres queridos que se encuentran presentes y a los que me acompañan desde el cielo.

(Vilchez Carpio, Lilian Patricia)

Dedico esta investigación a mi madre, Gladys López Ruiz., quien nunca dejo de creer en mí y está a mi lado en cada paso que doy e impulsándome a cumplir mis metas. A mi padre, Félix G. Antonio Yerén Pomiano quien siempre fue un pilar importante a lo largo de mi formación académica brindándome su apoyo incondicional. A mis hermanos, por ser el soporte y la compañía que he necesitado en este camino

(Yerén López, Silvia Cristina)

AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios por ser extraordinario y otorgarnos sabiduría para poder lograr nuestros objetivos, a nuestro asesor de Tesis M.Sc. Ing. Néstor Huamán Guerrero, por su constante dedicación y enseñanza para culminar con éxito nuestro proyecto de tesis, por los consejos y las herramientas otorgadas a lo largo de toda nuestra carrera universitaria. A nuestra alma mater Universidad Ricardo Palma, por brindarnos educación de calidad y formarnos en profesionales competentes.

(Vilchez, Lilian y Yerén, Silvia)

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos.....	1
1.1.1. Problema general.....	2
1.1.2. Problemas específicos	2
1.2. Objetivo general y específicos.....	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	2
1.3.1. Temporal	2
1.3.2. Espacial	3
1.3.3. Temática	3
1.4. Justificación e importancia.	3
1.4.1. Justificación.....	3
1.4.2. Importancia.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes del estudio de la investigación.	5
2.1.1. Marco histórico.	5
2.1.2. En el Ámbito Internacional	5
2.1.3. En el ámbito nacional	8
2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	12
2.2.1. Condiciones meteorológicas	12
2.2.2. Clasificación de climas en el mundo.....	14
2.2.3. Distribución de los climas por zonas latitudinales	17
2.2.4. Pavimento asfáltico o flexible	18
2.2.5. Características de un buen pavimento.	21
2.2.6. Mezclas asfálticas:.....	21
2.2.7. Características y comportamientos de las mezclas asfálticas.....	24
2.2.8. Características y comportamientos de las mezclas asfálticas.....	25
2.2.9. Propiedades de las mezclas asfálticas.	28
2.2.10. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.	30

2.2.11. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas inferiores.....	32
2.2.12. Propiedades del asfalto	32
2.2.13. Comportamiento mecánico	33
2.2.14. Fallas en el Pavimento asfaltico.....	33
2.3. Definición de términos básicos.....	56
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	58
3.1. Hipótesis	58
3.1.1. Hipótesis general	58
3.1.2. Hipótesis específica.....	58
3.2. Identificación de variables	58
3.2.1. Definición conceptual de las variables	58
3.3. Operacionalización de las variables.....	58
CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	61
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	61
4.1.1. Método de la investigación	61
4.1.2. Tipo de investigación	61
4.1.3. Nivel de la Investigación.....	61
4.2. Diseño de la investigación	61
4.3. Población y muestra.....	62
4.3.1. Población	62
4.3.2. Muestra:.....	62
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	62
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos.....	62
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	62
4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos.....	62
4.5. Técnicas para el procedimiento y análisis de la información	63
CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	64
5.1. Diagnóstico y situación actual	64
5.1.1. Condiciones meteorológicas en el Perú	64
5.2. Presentación de resultados	71
5.2.1. Propiedades de las mezclas asfálticas afectadas.....	71
5.3. Fallas que se ocasionan debido a las condiciones meteorológicas	77
5.4. Análisis de resultados	89
5.4.1. Resultados con los objetivos planteados	89
5.5. Contrastación de hipótesis	91

5.5.1. Hipótesis específica 1	91
5.5.2. Hipótesis específica 2	92
CONCLUSIONES	93
RECOMENDACIONES	94
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS	95
ANEXOS.....	101
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	101
Anexo 2: Mapa climático 38 climas	102
Anexo 3: Climas tropicales	103
Anexo 4: Climas secos.....	104
Anexo 5: Climas templados	105
Anexo 6: Climas continentales o de inviernos muy fríos.	106
Anexo 7: Climas polares.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas	30
Tabla 2	Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas	31
Tabla 3	Relación de fallas según Norma ASTM D6433-07	34
Tabla 4	Fallas en pavimentos asfálticos o flexibles.....	35
Tabla 5	Posibles causas de la falla de piel de cocodrilo	37
Tabla 6	Posibles causas de las fisuras en bloque	38
Tabla 7	Posibles causas de fisuras de borde	40
Tabla 8	Posibles causas de fisuras longitudinales y transversales.....	41
Tabla 9	Posibles causas de fisuras parabólicas o por deslizamiento	42
Tabla 10	Posibles causas de ondulación.	44
Tabla 11	Posibles causas de abultamientos y hundimientos.....	45
Tabla 12	Posibles causas de ahuellamiento.	48
Tabla 13	Posibles causas de intemperismo y desprendimiento de agregados	51
Tabla 14	Posibles causas de baches	52
Tabla 15	Posibles causas que generan la exudación.....	54
Tabla 16	Posibles causas de parches.....	55
Tabla 17	Matriz de Operacionalización de variables.....	59
Tabla 18	Cuadro comparativo de la propiedad de la durabilidad (Parte I).....	72
Tabla 19	Cuadro comparativo de la propiedad de la durabilidad (Parte II).	73
Tabla 20	Cuadro comparativo de la propiedad de la estabilidad.	74
Tabla 21	Propiedad resistencia al daño por humedad o impermeabilidad.	75
Tabla 22	Propiedad resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas.....	76
Tabla 23	Propiedad resistencia al deslizamiento.	77
Tabla 24	Fallas que se evidencian en pavimentos asfálticos de la zona selva del Perú	80
Tabla 25	Influencia de los parámetros climáticos humedad y precipitación.	82
Tabla 26	Influencia de la temperatura y velocidad de viento en el proyecto.	83
Tabla 27	Influencia de los parámetros climáticos en el proyecto.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de distribución de climas por zonas latitudinales.	17
Figura 2. Capas que conforman un pavimento flexible.	18
Figura 3. Carpeta asfáltica del pavimento asfáltico.	21
Figura 4. Vacíos de agregado mineral de una probeta adaptado al Instituto de asfalto..	27
Figura 5. Falla de piel de cocodrilo.	36
Figura 6. Falla de piel de cocodrilo nivel de severidad.	36
Figura 7. Agrietamiento en bloque.	38
Figura 8. Agrietamiento de borde.	39
Figura 9. Agrietamiento de borde.	39
Figura 10. Agrietamiento de borde.	40
Figura 11. Fisuras parabólicas o por deslizamiento.	42
Figura 12. Ondulación.	43
Figura 13. Abultamiento y hundimientos.	44
Figura 14. Nivel de severidad por abultamiento y hundimiento.	45
Figura 15. Falla de depresión.	46
Figura 16. Nivel de gravedad por falla de depresión.	46
Figura 17. Ahuellamiento.	47
Figura 18. Ahuellamiento.	48
Figura 19. Ahuellamiento.	49
Figura 20. Peladura por intemperismo.	50
Figura 21. Desprendimiento y descaramiento del pavimento.	50
Figura 22. Bache.	51
Figura 23. Bache.	52
Figura 24. Exudación.	53
Figura 25. Parches.	54
Figura 26. Desnivel de Berna.	55
Figura 27. Desnivel de Berna.	56
Figura 28. Ocho regiones que inciden en las zonas climáticas del Perú.	65
Figura 29. Mapa de temperatura mínima promedio multianual del Perú.	67
Figura 30. Mapa temperatura máxima promedio Anual de Perú.	68
Figura 31. Mapa de Precipitación Total Multianual de Perú.	69

Figura 32. Mapa temático de radiación anual del Perú.....	70
Figura 33. Fallas encontradas en la Av. Prolongación Unión-Trujillo.....	78
Figura 34. Exudación y ahuellamiento fallas comunes en la zona selva.....	79
Figura 35. Tramo 1-Puquio y Tramo 2-Abancay, porcentaje de fallas presentadas.....	81
Figura 36. Tramo 3- Cusco, porcentaje de fallas más presentadas.....	81
Figura 37. Fisura por contracción térmica de un pavimento asfáltico.....	85
Figura 38. Exudación del asfalto	85
Figura 39. Fisuración longitudinal y transversal.	86
Figura 40. Fisuración longitudinal y transversal.	86
Figura 41. Ondulación del pavimento asfáltico.....	87
Figura 42. Hinchamiento por deshielo.....	87
Figura 43. Fisura en bloque debido a la variación de temperatura.	88
Figura 44. Desprendimiento con severidad alta.....	88

RESUMEN

Este proyecto denominado “Condiciones meteorológicas que afectan a las propiedades de la mezcla asfáltica”, tiene como objetivo realizar una comparación de como las propiedades de las mezclas asfálticas se ven influenciadas debido a las condiciones meteorológicas, para ello se realizó una recopilación de diversas investigaciones de las distintas carreteras asfaltadas de nuestro territorio nacional que se vean afectadas por estas condiciones. Esta investigación es de tipo y nivel descriptivo con un diseño de investigación de tipo no experimental, transversal-retrospectivo dado que solo describiremos cuales son las condiciones meteorológicas, como ellas afectan y/o alteran a las propiedades de la mezcla asfáltica en el cual estas se ven afectadas.

El conocimiento de la influencia de los factores climáticos en el comportamiento estructural de pavimentos nos permitirá tener en cuenta aquellos factores en el diseño de pavimentos para así tener una estructura adecuada que permita contrarrestar dichos factores y tenga un comportamiento adecuado durante su vida útil.

Como resultado principal se tuvo que las condiciones meteorológicas afectan a las propiedades de las mezclas asfálticas. Finalmente concluimos que las condiciones meteorológicas del medio ambiente tienen influencia dañina en el comportamiento de las mezclas asfálticas, originando deterioros prematuros en los pavimentos asfálticos.

.

Palabras Clave: Condiciones meteorológicas, Propiedades de la mezcla asfáltica, Fallas en el pavimento asfáltico.

ABSTRACT

This project called " Meteorological conditions that affect the properties of the asphalt mixture", aims to make a comparison of how the properties of asphalt mixtures are influenced due to weather conditions, for this a compilation of various investigations of the different paved roads of our national territory that are affected by these conditions. This research is of a descriptive type and level with a non-experimental, transversal-retrospective research design since we will only describe what the meteorological conditions are, how they affect and/or alter the properties of the asphalt mixture in which they are used. are affected.

Knowledge of the influence of climatic factors on the structural behavior of pavements will allow us to take into account those factors in the design of pavements in order to have an adequate structure that allows counteracting these factors and has an adequate behavior during its useful life.

The main result was that meteorological conditions affect the properties of asphalt mixtures. Finally, we conclude that the meteorological conditions of the environment have a harmful influence on the behavior of asphalt mixtures, causing premature deterioration in asphalt pavements.

Keywords: Meteorological conditions, Properties of the asphalt mixture, Failures in the asphalt pavement.

INTRODUCCIÓN

Nuestro país hoy en día presenta nuevas necesidades y exigencias en las ciudades, demanda de pavimentos que sean de calidad y que cumplan satisfactoriamente con su población. El cambio climático que se ha dado en las últimas décadas a causa del calentamiento global ha generado estragos en las obras de ingeniería, las cuales fueron diseñados sin considerar el clima como un factor determinante, más sino como un factor de reajuste, los cambios bruscos de factores ambientales que se dan en un día y en un lugar determinado ocasionan que la estructura de un pavimento tienda a fallar, estos desperfectos generan efectos perjudiciales como demoras a causa del tráfico, desgaste y deterioro de los medios de transporte y sobre todo resaltar los costos para su mantenimiento, las cuales son asumidas por los usuarios.

La presente investigación se desarrolla en cinco capítulos el capítulo I está dedicado al planteamiento del problema donde se describe la realidad de la problemática, se formulan los problemas generales y los específicos, se plantean los objetivos, se expone la justificación, importancia y la viabilidad del estudio. En el capítulo II se realiza el marco teórico donde se presentan los antecedentes históricos, así como la base teórica en la que nos basamos en esta investigación. El capítulo III corresponde a la hipótesis tanto general como específicos y el sistema de variables. En el capítulo IV corresponde a la metodología de la investigación, su tipo, nivel y diseño de esta, también se presentan a la población y a la muestra, y se expone las técnicas de recolección de datos y la descripción de los procedimientos de análisis.

Finalmente, en el capítulo V se desarrolla la investigación mostrando los datos tomados de la recolección bibliográfica y se presentaran el análisis y los resultados que se contrastaran con nuestras hipótesis. Por último, se discutirá con las investigaciones similares y se expondrán las conclusiones y la recomendación respectivamente de esta investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos.

Dentro de la extensión vial de Perú y Bolivia se puede encontrar que una gran parte de su red vial se encuentra ubicada por encima de los 3500 msnm, tiene una longitud de más de 4 mil km, como resultado se requerirán inversiones para construir y/o rehabilitar esta infraestructura alrededor de 3 mil millones de dólares.

El deterioro en los distintos tipos de pavimentos se presenta como uno de los problemas más comunes dentro del sistema vial que conforman las distintas ciudades de nuestro país esto se debe a que varios factores como un mal sistema constructivo, la antigüedad de la pavimentación, fracturas debido al tránsito de vehículos pesados, derrames de sustancias químicas, falta de mantenimiento, entre otros.

Sin embargo, como principal problema en un pavimento que se encuentran ubicados en zonas que tienen distintas condiciones meteorológicas y que presentan cambios bruscos de temperatura, pueden afectar el usual desarrollo en el proceso constructivo, en la durabilidad y en el comportamiento de las capas que conforman una carretera pavimentada. Los severos efectos climáticos de las zonas de altura pueden originar problemas tanto en pavimentos flexibles como rígidos.

Para asegurar la calidad del pavimento, debemos contar con buenos agregados para tener un mejor diseño granulométrico y así obtener las mejores mezclas asfálticas. Ya que se tiene como objetivo que nuestra mezcla asfáltica (que es parte conformante de nuestro paquete estructural) siendo una carpeta de rodadura; se comporte bien ya que de lo contrario se generaran fallas.

Como se mencionó anteriormente en nuestro país existen pavimentos asfálticos que se encuentran ubicados en zonas muy frías, entonces constantemente nos encontramos con la fisura por contracción térmica, así mismo también se encuentran en zonas con temperaturas elevadas como la selva peruana en donde se pueden ocasionar fallas por exudación. Es por ello por lo que debemos trabajar para evitar estas fallas.

1.1.1. Problema general

¿En qué medida las condiciones meteorológicas, afectan las propiedades y generan fallas en las mezclas asfálticas?

1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿En qué medida las condiciones meteorológicas afectan las propiedades de las mezclas asfálticas?
- b) ¿En qué medida las condiciones meteorológicas generan fallas en las mezclas asfálticas?

1.2. Objetivo general y específicos

1.2.1. Objetivo general

Determinar las principales condiciones meteorológicas que afectan las propiedades y generan fallas en las mezclas asfálticas.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Estudiar en qué medida las condiciones meteorológicas afectan las propiedades de las mezclas asfálticas.
- b) Establecer en qué medida las condiciones meteorológicas generan fallas en las mezclas asfálticas.

1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.

1.3.1. Temporal

La presente investigación se orientará en la recolección de investigaciones bibliográficas de investigaciones relacionadas con el estudio de las condiciones meteorológicas que afectan a las propiedades de la mezcla asfáltica, en el período comprendido entre el año 2012 al 2022.

1.3.2. Espacial

El presente estudio se realizará considerando investigaciones previas aplicadas en distintas carreteras asfálticas pertenecientes a la Red Vial Nacional del Perú.

1.3.3. Temática

Se estudiaron las condiciones meteorológicas que afectan a las propiedades de la mezcla asfáltica basándonos en las investigaciones realizadas por distintos autores, los cuales demostraron la relación entre estas condiciones meteorológicas y las propiedades de la mezcla asfáltica.

1.4. Justificación e importancia.

1.4.1. Justificación

Las carreteras pertenecientes a la red vial nacional, en los distintos tramos que estos la conforman, han presentado distinto comportamiento según la zona en la que se ubican. Esto se debe a que el Perú posee gran variedad en su geomorfología, conllevando a que las distintas ubicaciones de su superficie terrestre cuenten con diversas condiciones meteorológicas.

Sabemos también, que las diversas condiciones meteorológicas presentes en las distintas zonas del Perú generan en la estructura de los pavimentos flexibles distintos patrones de comportamiento, llegando también a alterar las propiedades de la mezcla asfáltica con la que está compuesta la capa de rodadura del pavimento asfáltico.

Es por ello por lo que, al identificar adecuadamente cuales son las condiciones meteorológicas predominantes que alteran de forma significativa las propiedades de las mezclas asfálticas y como es que estas actúan, podremos aportar a la mejora en el diseño de pavimentos flexibles sometidos a estas condiciones.

a) Justificación Social

Este estudio ofrece una relevancia social, recomendando información más concreta en la relación de las condiciones meteorológicas con las propiedades de las mezclas asfálticas.

b) Utilidad metodológica

Mediante esta investigación podremos aportar a la industria de la construcción, en la mejora del diseño de pavimentos asfálticos sometidos a condiciones meteorológicas con el fin de evitar las fallas futuras en los pavimentos asfálticos.

c) Justificación teórica

La finalidad de esta investigación es la de identificar adecuadamente cuáles son las condiciones meteorológicas predominantes que alteran de forma significativa las propiedades de las mezclas asfálticas y como es que estas actúan.

1.4.2. Importancia

La presente investigación se realiza con la finalidad de conocer cuáles son las condiciones meteorológicas en las distintas zonas de nuestro país que alteran el comportamiento de la estructura del pavimento asfáltico, específicamente cómo es que estas afectan a las propiedades de las mezclas asfálticas.

Asimismo, evidenciamos que en el país se presentan pocos esfuerzos investigativos referidos al estudio de la influencia de las condiciones meteorológicas como temperatura, humedad y radiación solar; en el deterioro de los pavimentos flexibles y de las propiedades de las mezclas asfálticas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de la investigación.

2.1.1. Marco histórico.

Geotendia y Perez (2015), indican que debido al interés del Estado peruano generado desde los años 80 por la construcción y rehabilitación de los ejes viales transversales del país, en especial por la ruta de la Carretera Central, donde se evidenciaban deterioros no esperados producidos por factores climáticos como las bajas temperaturas, exposición a radiación solar y precipitaciones propios de zonas en altura mayor a 3500 msnm, factores que comprometieron a los distintos componentes del pavimento.

Asimismo, en los años 90 el Estado Peruano continúa con los proyectos de rehabilitación de la Red Vial Nacional, considerando distintos tramos viales que no solo comprendían a la Carretera Central, sino también comprometiendo a los distintos ejes viales. En este proceso, se reafirma la problemática de los pavimentos en zonas de altura, debido principalmente por el efecto de los gradientes térmicos diarios que generan esfuerzos y deformaciones en la carpeta asfáltica; por lo cual es imprescindible estudiar a detalle el comportamiento de estos pavimentos y sus componentes al estar sometidos por estos efectos. (Meléndez, 2000).

2.1.2. En el Ámbito Internacional

Silva & Sosa, (2021) en su tesis titulada “Determinación de espectros térmicos y condiciones de humedad en mezclas asfálticas abiertas y cerradas, mediante sensores y control operativo con software de asistencia remota.”, tiene como objetivo la evaluación del comportamiento de las mezclas asfálticas abiertas y cerradas basándose en los cambios de humedad y temperatura utilizando 6 sensores, 4 miden la temperatura y los otros 2 miden la temperatura y humedad al mismo tiempo con el fin de establecer el comportamiento de la capa de rodadura de un pavimento asfáltico. El método empleado es deductivo con un enfoque cualitativo, obteniendo, así como resultado, que la mezcla asfáltica abierta tiene más porosidad que la mezcla asfáltica cerrada, que podía soportar temperaturas más bajas, lo que le hace

menos sensible a los esfuerzos de compresión y tensión en las fibras superiores e inferiores, respectivamente. Llegan a la conclusión que la mezcla asfáltica es un material viscoelástico, y como resultado de esta propiedad, el pavimento asfáltico a temperaturas elevadas se vuelve más viscoso y menos elástico, por lo que se deforma permanentemente; y a bajas temperaturas, el asfalto es fácil a sufrir agrietamiento porque se vuelve duro, quebradizo y aumenta su rigidez; y que los valores máximos de humedad tienden a ocurrir en presencia de factores climáticos de la precipitación y a valores mínimos con la temperatura ambiente más alta, esta variación puede conducir a una menor adherencia del ligante a la superficie del agregado, lo que conduce al deterioro de la mezcla. Cabe señalar que cuando el ligante se expone al oxígeno y que con la presencia del agua cause un envejecimiento por oxidación, haciendo que aumente la rigidez y se reduzca la tenacidad de la mezcla asfáltica lo que conduce a una mayor fragilidad y formación de grietas.

Mohi, Shafi, & Adnan, (2020) en la presente investigación titulado “Effect of Freeze-Thaw Cycles on the Properties of Asphalt Pavements in Cold Regions: A Review” tiene como objetivo hacer una revisión de investigaciones realizadas sobre las diversas propiedades en donde se producen fatiga, formación de surcos, resistencia a la compresión, entre otros; de las mezclas asfálticas que se encuentran bajo la influencia de los ciclos de congelamiento y descongelamiento. La metodología empleada es bibliográfica, los autores llegan a la conclusión que la congelación y descongelación pueden afectar severamente las propiedades físicas de los pavimentos asfálticos, mostrándose que la fatiga y la formación de surcos son problemas que están asociados con este pavimento y que son más sensibles a las condiciones climáticas. Por otro lado, el contenido de vacíos cuando es menor puede conducir a la formación de agrietamientos prematuros y demasiados altos por lo tanto se debe tener mucho cuidado al seleccionarlos para estas mezclas asfálticas.

Cobo, (2020) en su tesis “Isla de calor por la incidencia de los fenómenos de transferencia en pavimentos flexibles en la ciudad de Riobamba” tiene como objetivo analizar el aumento de temperatura ocasionado por el reflejo del

pavimento asfáltico en la ciudad antes mencionada. La metodología empleada es de tipo descriptivo-explicativo. Los resultados obtenidos indican que la temperatura máxima medida fue al mediodía, resultando en un fuerte aumento de temperatura de más de 4°C por hora, desde las 7:00 am hasta las 12:00 pm, es decir que en tan solo 5 horas el pavimento sufre ciclos de expansión y contracción siendo la zona de Yaruquies la que más cambio con 4.83°C por hora, provocando que sufra fisuras térmicas dicho pavimento. Concluye que en esta investigación resultó que 22.10°C y 23.51°C es la temperatura media en la zona centro y en la zona periférica respectivamente, haciendo que se produzcan deformaciones permanentes en el pavimento de esta ciudad, ya que el pavimento tiende a fallar al encontrarse con temperaturas superiores a los 20°C.

Mendoza & Marcos, (2018) “El efecto del cambio climático en los pavimento carreteros” el objetivo de este trabajo es hacer un panorama general de los impactos del cambio climático en los pavimentos, y la metodología que utilizan es descriptivo-explicativo, ya que presentan su experiencia internacional sobre los impactos del cambio climático que se presentan en el pavimento, donde los diferentes estresores climáticos afectan el desempeño de los materiales de pavimentación, su estructura ,métodos de diseño y mantenimiento del mismo. El resultado que señalan de estas situaciones es que, si bien el clima siempre es un factor en el desempeño de la carretera, los cambios de temperatura hacen que el pavimento de asfalto se deteriora rápidamente debido al calentamiento prolongado, así como daños en la subestructura debido a la pérdida de la capa de permafrost. Una de las conclusiones a las que se llegó es que se deben tener en cuenta no solo a las variables que afectan su diseño, así como la precipitación y la temperatura, sino que también añadir al viento, la humedad y la presión atmosférica, para que el pavimento pueda diseñarse y para que funcionen bien a largo plazo.

Romero (2017) en su tesis “Cualificación cuantitativa de las patologías en el pavimento flexible para la Vía Siberia – Tenjo en la sabana de Bogotá”, su objetivo es describir el tipo y nivel de efectos de la patología existente en la estructura de los pavimentos colocados encima de suelos arcillosos secos de

la vía antes mencionada. El tipo de estudio es retrospectivo. Uno de los resultados que arrojan es que en la revisión visual reporta que los hallazgos patológicos son causados por el factor de desecación inducidos por la vegetación y por el cambio de clima, donde el mayor impacto y peligro para la función de la vía es el hundimiento y abultamiento, que alcanzan una profundidad de 15 cm. Por lo tanto, se concluye que las fisuras longitudinales y las fisuras de borde son las de mayor porcentaje de daños en la vía, debido a que la piel de cocodrilo y a las grietas son las más evidentes, pero también se debe a fisuras relacionadas con la contracción de la superficie por baja temperatura, la inestabilidad de la subrasante o que la vía no se encuentra confinada.

2.1.3. En el ámbito nacional

Rojas, Torres, Parejas, & Hinojosa, (2021) ,esta investigación titulada “Acción del agua y la temperatura ambiental extrema sobre pavimento flexible” tiene como objetivo demostrar que el nafteno que es el componente primordial del asfalto, experimenta los efectos climáticos de la temperatura ambiental y del agua, que está directamente relacionado con el deterioro de la superficie flexible, la metodología empleada es la del método bibliográfico donde afirman que el pavimento ideal debe de soportar las condiciones climáticas adversas y sus cambios estacionales o lluvias intensas, son los cambios extremos de temperatura en el ambiente los que provocan daños y el rápido deterioro de la infraestructura ,por lo tanto para evitar o reducir dichos efectos ,estos factores deben ser tomados en cuenta. Llegando a la conclusión que la presencia de agua en la superficie del pavimento altera sus propiedades entre ellos la resistencia a la tensión, la contracción, la expansión y la adherencia entre agregado y asfalto, lo que provoca desplazamientos de material fino que provienen de la capa base que son arrastrados a través de las grietas del pavimento y la pérdida del material, haciendo que aumente la deformación y el agrietamiento acelerando su deterioro.

Leva, (2020) “Determinación del estado de conservación del pavimento flexible aplicando la metodología índice de condición del pavimento (PCI) en la Vía Nazca - Cusco en tramos con climas diferentes en el año 2019”. El propósito de este estudio es demostrar el estado de preservación del pavimento asfáltico mediante la aplicación de la metodología del “índice de condición del pavimento (PCI)” a esta vía en divisiones con diferentes condiciones climáticas. La investigación es de tipo aplicada con un diseño no experimental, “se evaluaron 3 tramos ubicados en Abancay y Cuzco, en cada tramo se evaluaron 2000 m de longitud total, divididos en 25 unidades de muestreo. La información recolectada está relacionada con el tipo de falla, severidad y cantidad, que posteriormente fueron procesados en una ficha de reporte de los cuáles se obtiene un valor promedio para cada tramo. Con los resultados obtenidos se permitieron concluir que el primer tramo - Puquio tiene un PCI promedio de 83 y se encontró en muy buen estado, mientras que el segundo tramo-Abancay tuvo un PCI promedio de 53 y se encontró en un estado de conservación regular y finalmente el tercer tramo- Cuzco tiene un PCI promedio de 20 que se encontró en un estado de muy mala conservación” En cuanto a la identificación de las fallas que tuvieron relación con el clima se identificaron las fallas más destacadas de los tramos estudiados, luego se determinó los que fueron originados por las condiciones climáticas de cada lugar ,ya que la influencia de la temperatura modifica las propiedades del asfalto.

Clemente, (2019) en su investigación titulada “Influencia de los factores climáticos en el comportamiento estructural de pavimentos flexibles en el Distrito de Chilca” ; tiene como objetivo determinar cómo influye el factor climático en el comportamiento estructural de pavimentos asfálticos en dicho distrito, teniendo el siguiente proceso metodológico, la recolección de datos bibliográficos, ensayos y análisis de factores ambientales como la humedad, temperatura y la radiación solar obteniendo como resultado que para ciertas horas entre las 6.00 a 7:00 horas y 13:00 a 15:00 horas se tienen factores ambientales críticos; llegando a la conclusión que estos factores ya mencionados influyen en cierta medida en los comportamientos de los pavimentos, pero los cambios constantes de temperatura tienen una mayor

influencia lo que lleva a que se ocasionen fallas de tipo estructural y funcional, otros factores sin embargo, tienen poca importancia ya que sus variaciones no modifican la estructura del pavimento.

Yufra, (2018), en su investigación “Implementación del modelo climático del método AASHTO 2008 (MEPDG) para el diseño de pavimentos flexibles en la ciudad de Tacna”; su objetivo es realizar la modelación climática del método “AASHTO 2008 (MEPDG)” para su utilización en el diseño de pavimentos asfálticos en esa ciudad. El método usado es de tipo exploratorio debido a que, en base a los datos meteorológicos recogidos de las estaciones climáticas de la ciudad, se realiza el proceso de datos para lograr ajustar esta información en el formato deseado por el modelo climático, por lo que al crear un modelo virtual requirió de un archivo climático que se utiliza para crear prototipos de diseños de pavimentos asfálticos utilizando los métodos del software “Design Guide 2012”. Los resultados obtenidos mostraron la sensibilidad del diseño del pavimento a los factores climáticos en diferentes proporciones para cada variable climática: temperatura, precipitación, radiación, etc., modificando el comportamiento de la estructura del pavimento durante su vida de servicio, en cuanto a términos de fallas de fisuramiento, ahuellamiento y regularidad superficial. Llega a la conclusión que, según el modelo climático empleado en esta zona, los factores climáticos que contribuyen en el diseño de pavimentos flexibles son tal como: la temperatura, la radiación, el viento y la nubosidad, indicando que las fisuras longitudinales, piel de cocodrilo, así como también el ahuellamiento en la carpeta asfáltica son susceptibles en mayor o menor medida a estos parámetros; sin embargo, la precipitación y la humedad relativa no muestran efectos en los resultados.

Huamán & Chang, (2016) en su investigación titulado “La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú”, su objetivo es mejorar la tecnología del pavimento asfáltico en el Perú para que alcance la vida útil para el cual han sido diseñados, implementa un enfoque bibliográfico para identificar las principales causas de deformación en la estructura del pavimento. Obteniendo como resultado que la temperatura del pavimento asfáltico durante su uso es

un factor importante que afecta la deformación permanente que no solo las temperaturas máximas, sino también el gradiente térmico puede afectar la deformación de dicho pavimento, lo que lleva a la conclusión de que estas condiciones ambientales afectan a las propiedades mecánicas del material debido a que estas temperaturas hacen que las capas asfálticas trabajen a temperaturas muy altas, lo que las hace susceptibles a la deformación permanente de la mezcla asfáltica.

Geotendia y Perez (2015) en su investigación, “Influencia de la temperatura en el deterioro de la Carpeta Asfáltica en la carretera nacional tramo: Rumichaca-Los Libertadores (Huaytará) (PE-28)”, nos indican que tienen por objetivo determinar el efecto de la temperatura en el deterioro en la degradación del asfalto en un tramo de dicha carretera, utiliza una metodología explicativa orientado hacia una investigación básica que permite representar el comportamiento del pavimento por efecto del gradiente de temperatura, resultando que debido a que no se realizó una investigación previa de la zona de estudio se centran específicamente en que una de las variables más importantes e influyentes en el deterioro del pavimento es la temperatura. Llegando a la conclusión de que el mecanismo de fisuración por fatiga térmica es una de las causas más importantes del deterioro del pavimento construido en la zona de estudio.

Menéndez, J y Barreda, J. (2015), en su investigación “Incorporación del Efecto del Clima en el Procedimiento de Diseño de Pavimentos Asfálticos del MTC y AASHTO 93”, sostienen que la presente investigación tiene como objetivo proponer un método para la incorporación de la influencia del clima en la definición del factor de capa de la carpeta asfáltica en los “métodos de diseño del MTC y AASHTO 93”. Actualmente los proyectistas de carreteras asfálticas de nuestra área suponen que el valor del coeficiente de capa es 0.42. Sin embargo, en proyectos con condiciones climáticas complejas como proyectos en un área de más de 3500 msnm se debe tener en cuenta la influencia del clima para determinar el parámetro mencionado anteriormente. El método propuesto se aplicó a dos secciones ubicadas en Arequipa. El primero se encuentra en una altitud de 4 400 msnm, mientras que el segundo se encuentra a una altitud de 2 850 msnm. Los datos climáticos corresponden

a las estaciones meteorológicas más cercanas para los tramos indicados. Concluyendo que los resultados obtenidos mostraron que existe una diferencia promedio entre el coeficiente de capa en el tramo 1 y el tramo 2 que es aproximadamente 20% para el mismo tipo de asfalto. Suponiendo que hay una diferencia de 11°C entre la temperatura promedio del tramo 1 y del tramo 2. Esta diferencia puede ser significativa cuando se trata de una carretera muy transitada.

2.2.Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1. Condiciones meteorológicas

Las condiciones meteorológicas se deben a la acción de factores atmosféricos, como el viento, la lluvia, humedad, luz solar o cambios bruscos en la temperatura. “Son factores climatológicos, como temperaturas bajas, gradiente térmico, radiación solar intensa y por los efectos de flujos de agua superficial y subterránea, que determinan su deterioro prematuro y acelerado en los pavimentos asfálticos” (Ramos, 2014, p.13).

a) Clima

“Las condiciones del medio ambiente tienen efectos sobre el comportamiento de los pavimentos rígidos y flexibles. Factores externos tales como la precipitación, temperatura y la profundidad del nivel freático” (Carahuatay, 2015, p.23).

b) Temperatura

Higuera (2016) afirma. “Los cambios de temperatura ocasionan modificaciones sustanciales en los módulos de elasticidad de las capas asfálticas, originando deformaciones o agrietamientos” (p.20).

Las temperaturas elevadas superiores a 45°C aceleran la deformación de la capa asfáltica, y en consecuencia aumenta el surgimiento de ondulaciones y fisuras. Estas distorsiones de la sección transversal y longitudinal afectan la operación del tránsito. También afirma que otro efecto que genera la temperatura en el pavimento, es la de alterar el módulo de rigidez, lo que le hace más sensible. Esta sensibilidad a la temperatura puede conducir al agrietamiento por fatiga y una subsiguiente a la deformación estructural (Mendoza & Marcos, 2018).

c) Precipitación (Agua superficial)

Mendoza & Marcos (2018) refiere que cuando el agua ingresa al pavimento, la congelación en el invierno o deshielo en la primavera hace que el pavimento se expanda y se contraiga, creando tensiones y estrés en su estructura, y puede ocasionar que las grietas se extiendan por toda la estructura.

“Las lluvias intervienen directamente, pues estas influyen en el nivel freático, aumentándolo, lo cual influye en la subrasante, pues afecta a los cambios volumétricos de esta, su resistencia y su compresibilidad” (Noguera, 2020, p.14).

d) Humedad relativa

El daño por humedad reduce la resistencia de la mezcla asfáltica, lo que puede provocar daños en el material, y, en consecuencia, una vida útil reducida. Cuando el agua llega hasta en el interior de la mezcla existirá el daño por humedad (López & Miró, 2017).

e) Radiación UV (Radiación solar)

Del Águila (como se citó en Silva & Sosa, 2021) afirma que la radiación solar hace que un cierto porcentaje del asfalto se evapore, creando un ambiente propicio a la oxidación. Esto conduce al envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica, aumento de la permeabilidad de la capa y de la decoloración de la carpeta asfáltica a medida que se desgasta el material granular.

Mena (2013) nos indica que las ráfagas de viento hacen que la temperatura en la superficie del pavimento disminuya. De esto se puede concluir que el calentamiento de las capas internas conducirá el calor hacia el exterior, lo que conducirá al enfriamiento total de todo el pavimento.

f) Oxígeno (Oxidación)

Es el nombre dado a la reacción resultante de un ataque de oxígeno con cualquier otra sustancia. Una sustancia que se cree que ha sido oxidada es la facilidad con la que un material se oxida o reacciona cuando este tiene contacto con el oxígeno del aire o del agua, el material que más se oxida es el metal (Albeño, Molina, & Reynoza, 2012).

Por otra parte, una elevada oxidación provoca un excesivo endurecimiento del asfalto perjudicando su desempeño siendo menos flexible.

2.2.2. Clasificación de climas en el mundo

El sistema de Köppen se basa en que la vegetación natural tiene una clara relación con el clima, por lo que los límites entre cada clima se establecen considerando la distribución de las plantas.

Los parámetros utilizados para determinar el clima local son la temperatura y la precipitación media anual y mensual, la estacionalidad de la precipitación.

Köppen divide el clima del mundo en cinco categorías principales: tropical, árido, templado, continental y polar. Cada grupo se divide en secciones, y cada subgrupo se divide en tipos de clima.

El proceso de selección para cada categoría, subcategoría y tipo de clima se describe a continuación.

a) Grupo A: Climas tropicales

Con temperaturas medias inferiores a 18°C, precipitaciones anuales que son superiores a la evaporación, mayormente este tipo de clima lo tienen los bosques tropicales. Los subgrupos propios del clima tropical son:

Régimen de precipitaciones:

- Ecuatorial (f): No se presenta precipitaciones en ningún mes por debajo de 60 mm.
- Monzónico (m): Se presenta por lo menos un mes por debajo de 60 mm.
- Sabana (w): Se presenta por lo menos un mes por debajo de 60 mm.

Para ver las características a detalle de este clima ver Anexo 3.

b) Grupo B: Climas secos

Este tipo de clima lo poseen los desiertos y estepas. Las precipitaciones anuales, muy escasas o inexistentes, son inferiores a la cantidad de agua que se evapora del suelo. Los subgrupos propios de los climas secos son:

- Estepario (s): También llamado mediterráneo seco en algunas otras regiones, ya que se da en zonas de transición entre un clima desértico y un clima mediterráneo.
- Desértico (w): La precipitación total anual es menor.
- Cálido (h): La temperatura media anual es superior a 18°C.
- Frío (k): La temperatura media anual es inferior a 18°C.

Para ver las características a detalle de climas secos ver Anexo 4.

c) Grupo C: Climas templados

“Para que un clima sea considerado templado la temperatura media de su mes más frío debe estar entre los -3°C y 18°C. La temperatura media del mes más cálido tiene que ser mayor de 10 grados.”

Los subgrupos propios del clima templados son:

- Verano seco (s): “El verano es seco con un mínimo de precipitaciones marcado: la precipitación del mes más seco del verano es inferior a la tercera parte de la precipitación del mes más húmedo, y algún mes tiene precipitación inferior a 30 mm”
- Invierno seco (w): Los meses de invierno más secos reciben menos de una décima parte de las precipitaciones que los más húmedos.
- Húmedo (f): Suficientes precipitaciones a lo largo del año, no cuenta con estación seca.
- Subtropical (a): El verano supera los 22°C de media en su mes más cálido.
- Templado (b): “El verano no supera los 22° C en el mes más cálido. Las temperaturas medias superan los 10°C al menos cuatro meses al año.”
- Frío (c): La temperatura media superior a 10°C.

Para ver las características a detalle de climas templado ver Anexo 5.

d) Grupo D: Climas continentales

Las zonas de clima continental tienen una gran amplitud térmica, es decir, hay una diferencia muy significativa entre la temperatura mínima y máxima. Prevalecen inviernos muy fríos y los períodos intermedios suelen ser cortos. Los subgrupos propios del clima continental son:

- Inviernos extremadamente fríos (d): La temperatura del mes más frío inferior a -38°C . Se tiene 3 o menos meses con temperaturas medias sobre 10°C .
- Verano Cálido
- Verano Fresco
- Boreal

Para ver las características a detalle de climas templado ver Anexo 6.

e) Grupo E: Climas polares

La temperatura media del clima polar no supera los 10 grados en ninguna época del año. El clima es muy seco y frío, propio de las regiones del norte del mundo, la Antártida o Groenlandia.

- Tundra: La temperatura media del mes más cálido está entre 0°C y 10°C .
- Hielos perpetuos: La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0°C .

Para ver las características a detalle de climas templado ver Anexo 7.

f) Grupo H: Climas de tierras altas

Este grupo no formaba parte de la clasificación original de Köppen. Se introdujo más tarde para agrupar climas de gran altitud que no encajan en ninguno de los grupos anteriores porque son una variación del clima de la zona debido a la altitud. Ocurren en grandes regiones montañosas: los Andes, las Montañas Rocosas, el Himalaya y el Tíbet. (Ver Anexo 7).

2.2.3. Distribución de los climas por zonas latitudinales

Según la latitud, la Tierra se divide en cinco zonas principales: una zona tropical, dos zonas templadas y dos zonas polares. A su vez, cada zona templada se puede dividir en dos partes, una zona subtropical después de los trópicos y otra zona en latitudes medias.

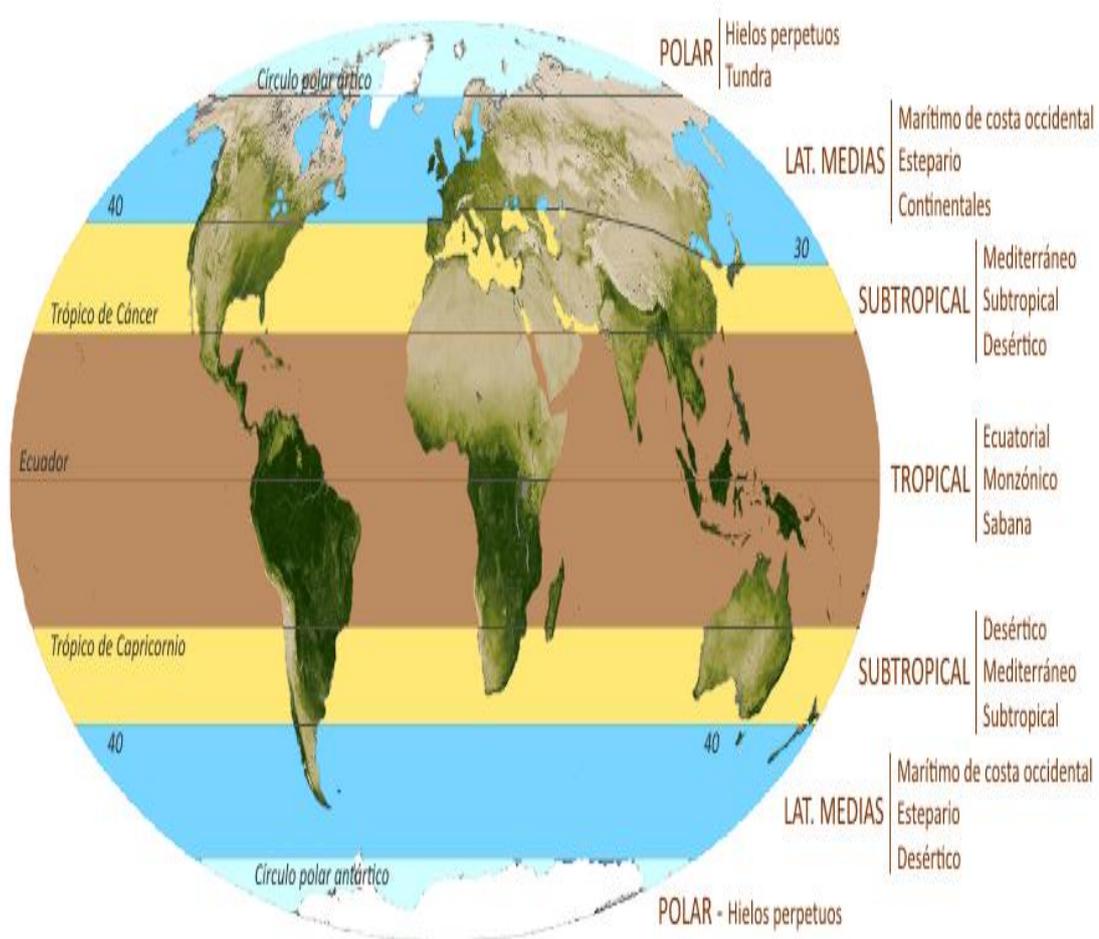


Figura 1. Esquema de distribución de climas por zonas latitudinales.
Fuente: Navarra (2022)

2.2.4. Pavimento asfáltico o flexible

De acuerdo con, el Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y Pavimentos, MTC, (2014) se refiere que el pavimento flexible se define como una estructura cuya composición depende de capas granulares la cual es una base y una subbase, así como también la de una capa de rodadura formada por materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y en ocasiones aditivos.

“Este tipo de pavimento se caracteriza por tener una superficie de capa bituminosa o mezcla asfáltica se encuentra sobre materiales granulares” (Pilares, 2018, p.14). Y según Medina & De la Cruz, (2015) afirma. “Es más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de 10 a 15 años. Requiere de un mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil” (p.11). (Ver Figura 2)

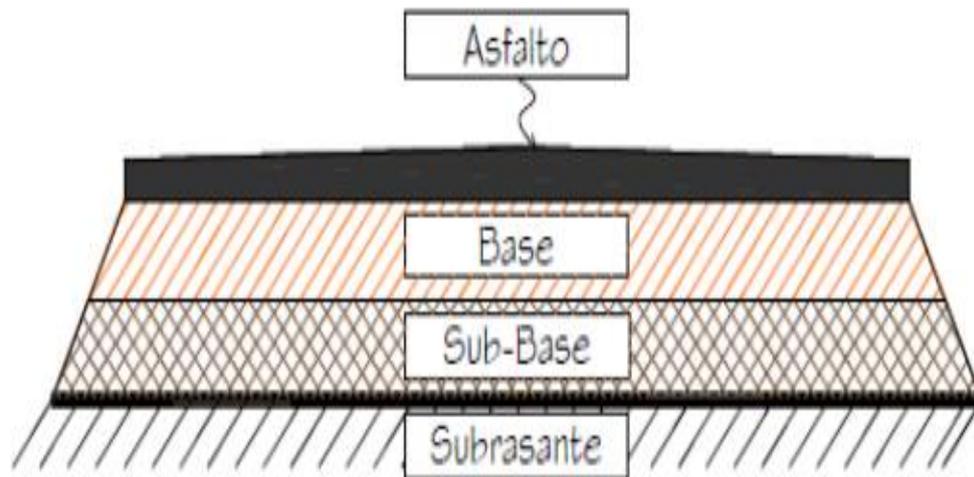


Figura 2. Capas que conforman un pavimento flexible.
Fuente: Armijos (2009)

a) Subrasante

Según Pérez & Ramírez (2018) la subrasante también conocida como la capa más profunda de toda la estructura es también la base del pavimento y su espesor se considera infinito salvo contadas excepciones. Estos suelos, que forman parte de la subestructura, son aptos y estables con un contenido mínimo de CBR (Californian Bearing Ratio) del 6% (p.23).

Si es menor (base pobre), es necesaria la estabilización del suelo, para lo cual es necesario analizar alternativas de solución, como la estabilización mecánica, la sustitución del suelo, la estabilización química del suelo entre otras. Dado que el grosor del pavimento depende en gran medida de la calidad de la subrasante, debe cumplir con los requisitos de resistencia, la expansión y contracción bajo la influencia de la humedad (Aguilar & Infanzón, 2020).

b) Sub base

Aguilar et al. (2020) afirma que es la capa de la estructura del pavimento, cuyo propósito principal es soportar, transferir y distribuir uniformemente las cargas que actúan sobre la superficie de rodadura del pavimento y de esa manera la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo los cambios característicos de dicho suelo que puedan afectar a la sub-base. Asimismo, indica que las subestructuras deben controlar los cambios volumétricos y elásticos que afectan negativamente al pavimento. También se utiliza como capa de drenaje y como control de ascenso capilar del agua para proteger las estructuras de pavimentación que a menudo utilizan materiales granulares (p.18)

Por acción capilar, durante la época de heladas, se produce hinchamiento de agua causado por el congelamiento produciendo fallas en el pavimento en el caso de que este no disponga de una buena capa de subrasante o sub-base. En el caso de pavimento rígido, esta capa se coloca directamente debajo de la losa de hormigón, lo que puede no ser necesario si la capa de subrasante tiene una gran capacidad portante (Miranda, 2010).

Su función es proporcionar una base de cimentación uniforme y proporcionar una plataforma de trabajo adecuada para su colocación y compactación. Para poco tráfico, principalmente tráfico pesado de vehículos, esta capa se puede omitir apoyando así las losas directamente sobre la capa subrasante (p.2-3).

c) Base granular

Es la capa superficial cuya función principal es distribuir y transmitir las cargas inducidas por el tráfico hacia y a través de la sub-base, y es la capa sobre la que se coloca la capa de rodadura. Esta base está hecha de piedra de alta calidad triturada y mezclada con material de relleno o la combinación de piedra o grava con arena y tierra en su estado natural. Su función también es ser principalmente duradera, absorber la mayor parte de las fuerzas verticales, y su rigidez o resistencia a la deformación bajo los esfuerzos repetidos del tráfico y de esa manera corresponder a la intensidad del tráfico pesado. Por lo tanto, las bases granulares tradicionales se utilizan en tráfico medio y ligero, mientras que los materiales granulares tratados con cementante se utilizan en tráfico pesado. Si las capas se construyen con elementos inertes y el tráfico se inicia en el pavimento, el transporte puede provocar deformaciones transversales. Se debe tener el espesor suficiente para soportar las presiones que transiten en la sub- base y aunque haya humedad en la base, no se debe presentar los cambios de volumen perjudiciales (Jiménez & Cutipa, 2022, p.21).

d) Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica o también conocida como capa de rodadura en la estructura de un pavimento cumple la función de proporcionar una capa de rodadura uniforme y permanente para que se realice el tráfico e impermeabilizar la infraestructura vial para que el agua se filtre mejor en la parte inferior de la carretera; es colocada sobre la base con la función de sostener directamente el tránsito o transporte. Es uno de los elementos con más importancia en los proyectos viales. Las características principales de la carpeta asfáltica son la fricción, suavidad, control de ruido y el drenaje (Pérez & Ramírez ,2018,p.24).Ver Figura 3.

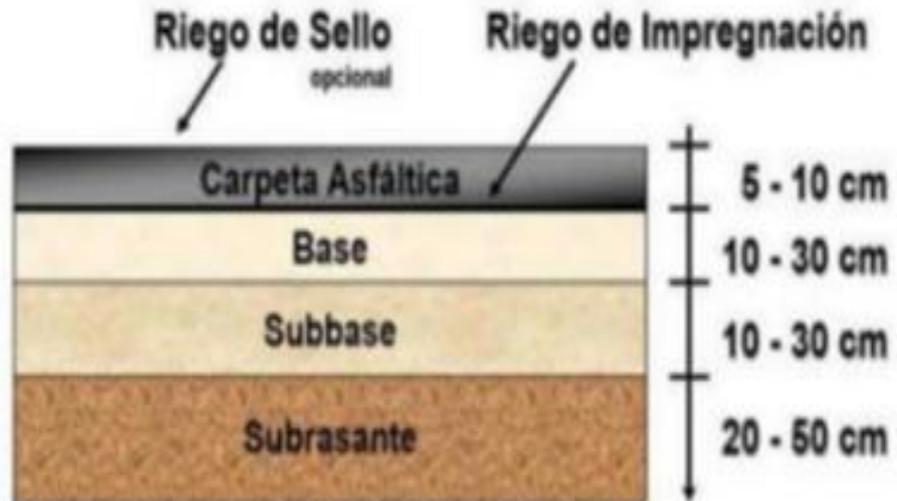


Figura 3. Carpeta asfáltica del pavimento asfáltico
Fuente: Aguilar, Infanzón (2020)

2.2.5. Características de un buen pavimento.

Según Pinchi (2017) refiere que debe soportar cargas es decir ser resistente a estas; de lo contrario, los esfuerzos horizontales y verticales provocarán fallas de hundimientos y desplazamiento horizontales.

Debe asegurarnos una circulación eficiente, cómoda, y económica. En áreas lluviosas se requiere un drenaje adecuado para mantener el tránsito estable y seguro. Debe ser impermeable y evitar que el agua afecte la tierra de fundación. Si es posible, debe ser indeformable y aceptar solo una pequeña cantidad para no causar ningún riesgo de daño. Debe ser duro y liso, para que no obstaculice el avance de la rueda, impidiendo así un mayor esfuerzo (potencia) del motor del vehículo (p.9).

2.2.6. Mezclas asfálticas:

Kraemer, Pardillo, Rocci, & Blanco, (2004) afirma que las mezclas asfálticas también se conocen como aglomerado. Está formado por una mezcla de agregados pétreos y un hidrocarbonato gigante, por lo que está cubierto por una película continua. Se fabrica en plantas estacionarias o móviles, y luego se transporta al sitio donde se realiza la obra en donde se extienden y se compactan.

“Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales entre otros sin olvidar que se utilizan en

las capas inferiores de los firmes para tráficos pesados intensos” (Padilla, 2004, p.45).

a) Componentes de las mezclas asfálticas.

La composición general de estas mezclas asfálticas está conformada por agregados pétreos finos y gruesos, por un polvo mineral conocido como FILLER y por un ligante asfáltico o cemento asfáltico.

➤ **Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP)**

El asfalto es un material bituminoso de color negro o marrón oscuro químicamente complejo, ya que es un residuo de la refinación del petróleo crudo. En química predominan los hidrocarburos con grupos funcionales compuestos por átomos de azufre, nitrógeno y oxígeno. También en su composición se encuentran metales como vanadio, níquel, hierro, magnesio, calcio en forma de sales inorgánicas y óxidos de estructuras parafinas. Este material está compuesto por asfáltenos, resinas y aceites, materiales que le otorgan propiedades de consistencia, aglutinación y ductilidad.

➤ **Asfalto modificado**

Es aquel asfalto que se somete a un proceso en donde se mezcla materiales de diferente naturaleza se combinan para ajustar sus propiedades consiguiendo así un mejor comportamiento del pavimento. Cuyo objetivo primordial es lograr ligantes en donde tengan propiedades reológicas que no se obtuvieron en el cemento asfáltico creadas con las técnicas convencionales (Paez, 2001).

➤ **Asfaltos modificados con polímeros:**

Casanova (2017) refiere en su estudio que los asfaltos modificados con polímeros son producidos por la incorporación de cadenas de moléculas que están unidas entre sí por enlaces químicos, siendo en su mayoría macromoléculas de origen orgánico, pero pudiendo ser de origen inorgánico. Estos polímeros cuentan con distintas clasificaciones, siendo la más relevante de acuerdo con su comportamiento respecto a la variación de temperatura, categorizándose en termoestables y termoplásticos.

Los Asfaltos Modificados con Polímeros cuenta con ventajas y desventajas dependiendo de que tipo de polímero se incorpore, pero su aplicación tiene como finalidad variar sus propiedades físicas, mecánicas y reológicas para mejorar la resistencia a la fatiga, durabilidad, susceptibilidad a las temperaturas y elasticidad.

➤ **Asfaltos modificados con caucho:**

La agregación de granos de caucho reciclado para modificar las mezclas asfálticas afecta de manera significativa en la mejora de sus propiedades como el de brindar mayor resistencia a la deformación, presentan menor pérdida de adherencia, mejoran en el comportamiento de estas en altas y bajas temperaturas y que a diferencia de las convencionales son más durables (Granados, 2017).

➤ **Agregados pétreos:**

Estos agregados pétreos deberán tener una naturaleza tal que, al aplicarle una capa de material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. El material que queda retenido en la malla N°4 y que está compuesta por gravas trituradas se le denomina agregado grueso mientras los que pasen la malla N°4 constan de arena natural o son materiales obtenidos por la trituración de la piedra, se le denomina agregado fino (Arellano & Caceres, 2018, p.13)

➤ **Polvo mineral (Filler)**

Está fabricado con materiales debidamente aprobados como cal en polvo, polvo de piedra y cal hidratada no plastificada. Es un material de aportación de origen mineral, empleado como relleno de vacíos espesante asfáltico o como material para mejorar la adherencia del agregado con el asfalto. No hace falta decir que debe estar libre de cuerpos extraños y/o sustancias no deseadas y completamente seca para que fluya libremente y no presente grumos, escombros e interferencias (Arellano et al.,2018, p.13).

2.2.7. Características y comportamientos de las mezclas asfálticas

Las mezclas asfálticas tienen varias clasificaciones según su parámetro, las cuales se consideran para definir las diferencias.

Dentro de los tipos de mezclas asfálticas encontramos a las siguientes:

- Mezcla Asfáltica en caliente
- Mezcla Asfáltica en frío
- Mezcla porosa o drenante
- Micro - aglomerados
- Masillas
- Mezcla de Alto Módulo

Sin embargo, solo describiremos a las mezclas asfálticas en caliente y a las mezclas asfálticas en frío.

a) Mezclas asfálticas en caliente

La mezcla asfáltica en caliente se clasifica como tal porque tanto el asfalto como el agregado pétreo se calientan antes de mezclar. Es un tipo de mezcla que está compuesta por un 3% a 7% de asfalto y entre un 93% a 97% de agregado pétreo que va de acuerdo con la proporción de la masa total, de dicha mezcla (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005).

Se utilizan en la construcción de carreteras, calles, aeropuertos y capas de rodadura. También existen subtipos dentro de este tipo de mezcla con diferentes características. Normalmente se fabrican con asfalto, aunque en algunas ocasiones se recurre al empleo de “asfaltos modificados” y el rango de proporción es de 3% al 6% de asfalto en agregados pétreos (Albeño et al., 2012, p.48-52).

b) Mezclas asfálticas en frío

Según Albeño et al. (2012) se trata de mezclas elaboradas con emulsiones asfálticas, cuyo uso principal de aplicación es en la conservación y construcción de carreteras secundarias. Se suele recomendar el sellar por medio de lechadas asfálticas para retrasar el envejecimiento de las mezclas sueltas en frío. Se caracterizan por la trabajabilidad incluso semanas después de la fabricación, debido a que el ligante permanece de baja viscosidad durante mucho tiempo debido al uso de emulsiones con asfalto “fluidificado”.

La viscosidad se desarrolla muy lentamente, lo que permite el almacenamiento, pero después de la colocación en obra con una capa de espesor reducido, endurece esto se produce con relativa rapidez en las capas ya expandidas, a medida que el fluido se evapora.

Hay algunas mezclas en frío hechas con una emulsión de ruptura o rotura lenta sin ningún “fluidificante”, pero estas son menos usuales y se pueden compactar después de romper la emulsión. El aumento gradual de la resistencia suele denominarse “maduración”, que consiste esencialmente en la evaporación del agua resultante de la ruptura de la emulsión y el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla (p.50)

2.2.8. Características y comportamientos de las mezclas asfálticas

Según el Asphalt Institute (1982), las muestras de mezclas asfálticas preparadas en laboratorio pueden analizarse para determinar su desempeño potencial en estructuras de pavimento. Este análisis se centra en cuatro propiedades de la mezcla y cómo estas propiedades afectan el comportamiento de las mezclas.

Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto.

a) Densidad

Según Granados (2017) lo define como su peso unitario y cabe señalar que un pavimento terminado con una alta densidad garantiza un rendimiento duradero. En los diseños de las mezclas y sus ensayos correspondientes, la densidad suele expresarse en kg/m^3 (kilogramos por metro cúbico). Y es calculada por la gravedad específica de la densidad total de la mezcla multiplicada por la densidad del agua (1000 kg/m^3).

En otras palabras, la densidad obtenida en el laboratorio es la densidad estandar que es una referencia para evaluar si la densidad del pavimento terminado es suficiente.

b) Vacíos de aire

Los vacíos son pequeños espacios de aire ubicados entre los agregados recubiertos en la mezcla compactada final. Todas las mezclas deben contener un tanto por ciento de vacíos; esto permite una compactación adicional en situaciones de tráfico y para permitir la fluidez de asfalto durante dicha compactación. La durabilidad de los pavimentos asfálticos está en función de los contenidos de vacíos cuanto menor sea el número de vacíos, menor será la permeabilidad de la mezcla.

El contenido excesivo de vacíos proporciona permeabilidad a la mezcla a través de la cual el agua y el aire pueden entrar y causar deterioro. Por otro lado, un contenido de vacío demasiado bajo puede causar la exudación del asfalto; una condición donde el exceso de asfalto es empujado fuera de la mezcla hacia la superficie (Arellano et al., 2018).

c) Vacíos en el agregado mineral

Según Granados (2017) afirma: “Son los espacios de aire existentes entre las partículas de agregado en la mezcla compactada de pavimentación, incluyendo aquellos espacios que se encuentran llenos de asfalto”. Por otro lado, nos indica que a mayor vacíos en el agregado mineral, “mayor será el espacio disponible para las películas de asfalto; sin embargo, existen valores mínimos en función del tamaño del agregado y que si al disminuir estos vacíos es perjudicial para la calidad del pavimento; más duradera serán las mezclas en cuanto más gruesas sean las películas que cubren las partículas de los agregados”.

En la figura 4 se aprecia los vacíos de agregado mineral de en una probeta de mezcla compactada.

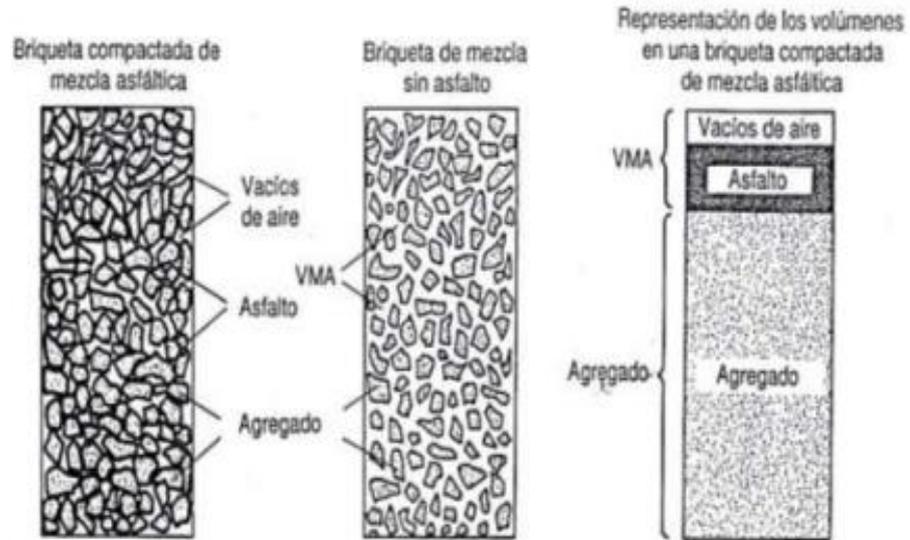


Figura 4. Vacíos de agregado mineral de una probeta adaptado al Instituto de asfalto
Fuente: Granados (2017)

d) Contenido de asfalto

Según Arellano et al. (2018) afirma que el contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de las propiedades del material agregado, como la absorción y de su granulometría y la granulación de los áridos está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Cuanto más fino tenga de la mezcla, mayor será el área de superficie total y más asfalto se requerirá para cubrir uniformemente todas las partículas. Por lo que se refiere a las mezclas con áridos más grandes “requieren menos asfalto porque tienen menos área superficial total. La relación entre el área superficial y la cantidad de asfalto es mucho mayor con la existencia de relleno mineral (fracciones finas de agregados que pasan el tamiz N° 200).”

El aumento de los rellenos minerales puede crear una mezcla inestable y seca, ya que absorben la mayor parte del asfalto. Disminuir, por otro lado, hace lo contrario. Es decir, será una mezcla húmeda.

2.2.9. Propiedades de las mezclas asfálticas.

Según Padilla (2004) indica que se debe mejorar la estabilidad, la resistencia a la fatiga y a la durabilidad; y si esta mezcla se usa como capa de rodadura, también se debe incluir resistencia al deslizamiento, uniformidad, entre otras, porque estas son algunas de las propiedades de las mezclas asfálticas.

Huamán y Chang (2016) afirma. “Estas condiciones afectan las propiedades mecánicas de los materiales y, por sí mismos, originan esfuerzos de tensión-deformación que conducen a la falla del pavimento” (p.29). Por otro lado, tenemos a las propiedades físicas. “Las propiedades físicas de los asfaltos son resultados de ensayos empíricos o semi-empíricos, en las cuales se plantea determinar sus características reológicas” (Maxil & Salinas, 2006, p.42-50).

A continuación se mencionaran las propiedades de las mezclas asfálticas.

a) Durabilidad

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto y separación de las películas de asfalto (Huaman,2016).

b) Estabilidad

Es la capacidad que tiene la mezcla asfáltica para resistir el desplazamiento y la deformación, debido a la carga de tráfico de vehículos. Los pavimentos son estables siempre y cuando conserven su forma y se vuelven inestables cuando tienden a desarrollar deformaciones de manera permanente y entre otros rasgos que muestren el desplazamiento de la mezcla asfáltica. El pavimento depende de la fricción interna y la cohesión para tener estabilidad (Panibra & Peralta, 2019,p.88).

c) Flexibilidad

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para acomodarse sin agrietarse ni deteriorarse. Para todo pavimento asfáltico la flexibilidad viene a ser una característica deseable y es necesario encontrar un equilibrio entre la flexibilidad y la estabilidad (Arellano et al.,2018,p.27).

d) Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de resistencia de la mezcla asfáltica para soportar cargas repetidas provocadas por el paso de vehículos. Las grietas por fatiga están asociadas con el contenido de asfalto y rigidez. Cuando el contenido de asfalto es muy alto hace que la mezcla asfáltica se deforme elásticamente mientras que por carga repetida esta se fractura. Los vacíos y la viscosidad del asfalto tienen un papel muy considerable en esta propiedad ya que a medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta (por diseño o por falta de compactación) la resistencia a la fatiga disminuye. Si un pavimento que se ha envejecido y además de ello endurecido, tiene menor resistencia a la fatiga ; por otra parte el pavimento que contenga menos asfalto tiende a agrietarse por fatiga (Panibra et al., 2019,p.89).

e) Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad.

Esta propiedad de la mezcla asfáltica está relacionada con la resistencia al paso de agua y aire hacia su interior. También se relaciona directamente con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos en la mezcla compactada también con los procesos de oxidación del asfalto, cabe resaltar que todas aquellas mezclas asfálticas que se emplean en la construcción de carretera poseen cierto grado de permeabilidad (Bejarano & Caicedo, 2017,p.28).

f) Resistencia al deslizamiento.

Esta característica de la mezcla asfáltica se refiere a la capacidad que tiene para no perder adherencia entre el vehículo y la superficie de rodamiento cuando está mojada. Esta propiedad está relacionada con las características que tiene el agregado y el contenido de asfalto. Para que se obtenga mayor resistencia al deslizamiento el agregado debe ser rugoso y fracturado (Balarezo & Tenaka, 2022,p.20).

g) Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas.

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas.

h) Trabajabilidad

Esta propiedad o característica de la mezcla asfáltica habla de la facilidad con la que puede ser colocada y compactada. La mezcla asfáltica debe tener la capacidad de ser permisiva en el sentido de que se pueda dejar colocar y compactar sin necesidad de requerir algún esfuerzo que sea demasiado grande, la trabajabilidad de la mezcla asfáltica está relacionada con las características del agregado, la granulometría, el contenido y la viscosidad del asfalto (Garnica et al., 2005).

i) Susceptibilidad térmica

La susceptibilidad térmica de una mezcla asfáltica es la capacidad para cambiar su viscosidad en función de la temperatura. Esta susceptibilidad es importante porque es posible conocer la temperatura adecuada del producto asfáltico para lograr la viscosidad necesaria para su uso previsto (Albeño et al., 2012).

2.2.10. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.

Según Padilla (2004) esta capa debe proporcionar la superficie de rodadura que sea segura, cómoda y estética en un pavimento. Así como cualquier requisito de superficie de rodadura deseado no se puede optimizar al mismo tiempo, se deben equilibrar las propiedades para lograr la solución más adecuada. (Ver Tabla 1)

Tabla 1
Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas

Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas
Seguridad
Resistencia al deslizamiento
Regularidad transversal
Visibilidad (marcas viales)
Comodidad
Regularidad longitudinal
Regularidad transversal
Visibilidad
Ruido
Durabilidad
Capacidad soporte
Resistencia a la desintegración superficial
Medio Ambiente
Ruido
Capacidad de ser reciclado
Trabajabilidad

Fuente: Leva (2020).

El material asfáltico proporciona una superficie rodante continua y cómoda para el vehículo. Sin embargo, se debe encontrar un equilibrio entre la durabilidad, la rugosidad, impermeabilidad y otras propiedades útiles o esenciales para los usuarios. Por ejemplo, se desarrollaron mezclas muy impermeables en países fríos, especialmente en Europa Central, si estas mezclas no proporcionan la textura correcta, recurren a procedimientos no relacionados con la mezcla real, como por ejemplo las mezclas asfálticas en caliente.

La Tabla 2 muestra las propiedades técnicas que deben tener las mezclas asfálticas respectivamente.

Tabla 2
Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas

Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas
Textura Superficial
Conductividad Hidráulica
Absorción de Ruido
Propiedades Mecánicas (en relación con el tráfico)
Resistencia a la fisuración por fatiga
Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes
Módulo de rigidez
Resistencia a la pérdida de partículas
Durabilidad (en relación con el clima)
Resistencia al lavado por el agua
Resistencia a la fisuración térmica
Resistencia a la fisuración por reflexión
Resistencia al envejecimiento
Trabajabilidad
Compactabilidad
Resistencia a la segregación agregado grueso / fino
Resistencia a la segregación agregado/ ligante

Fuente: Leva (2020).

2.2.11. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas inferiores.

El espesor significativo de las capas de un pavimento tiene una función estructural básica, absorber la mayoría de las solicitudes de tráfico para llegar reducidas fácilmente a la capa inferior, o a los cimientos de las carreteras. Hay algunas tendencias y los países están comenzando a utilizar paquetes asfálticos de espesor grueso que forman las losas estructurales básicas de los pavimentos. En otros casos la función de resistencia es cooperación con otras capas de material granular o hidráulico (Padilla ,2004).

2.2.12. Propiedades del asfalto

a) Adhesión

“Las propiedades de adhesión y cohesión del asfalto se relacionan con la capacidad de adherencia del asfalto a los agregados pétreos y con la fortaleza de la unión entre ellos en el material compactado” así mismo indica que “la adherencia agregado-asfalto y la cohesión de la mezcla, le garantizan a la capa asfáltica una condición apropiada para la transferencia de carga y aportan significativamente a la mayor o menor durabilidad del pavimento” (Betancourt, 2018).

Por otro lado, tenemos que “los fenómenos meteorológicos incrementan la humedad en los materiales en los pavimentos, provocando desprendimientos de agregados en la superficie que también son conocidos como pérdida de adhesión” (Mendoza & Marcos, 2018, p.4).

b) Envejecimiento

El asfalto consiste en moléculas orgánicas que reaccionan con el oxígeno del aire, oxidándolo, haciéndolo más duro y quebradizo. Este envejecimiento oxidativo ocurre muy lentamente cuando el asfalto se coloca sobre el pavimento, por lo que se debe considerar que gran parte de este envejecimiento oxidativo o curado ocurre antes de que el asfalto sea compactado. Para estudiarlo se debe envejecer artificialmente de forma acelerada (Paez, 2001).

c) Susceptibilidad térmica

“La susceptibilidad termica del asfalto se considera como la tendencia del asfalto a variar ciertas propiedades reológicas como la viscosidad o la elasticidad por efecto de cambios en la temperatura, debido en parte a la condición de termoplasticidad que lo caracteriza” y además “se evidencia por el cambio de consistencia del material, de modo que se torna más duro o más viscoso a bajas temperaturas, más blando o menos viscoso, a temperaturas moderadas, y fluido, o de aspecto líquido, a temperaturas más altas” (Arenas, 2006)

d) Ductilidad

Según Guerrero (2019) afirma. “Los materiales asfálticos están sometidos frecuentemente a variaciones de temperatura que le provocan cambios dimensionales, para esto es necesario que el material asfáltico tenga suficiente ductilidad para alargarse sin que se produzcan grietas” (p.31). Sin embargo, también menciona que un exceso de esta tampoco es idóneo ya que existe el riesgo de que se muestren ondulaciones debido a la acción de cargas de tráfico.

e) Viscosidad

La viscosidad depende de la temperatura, por lo que determinar la viscosidad a diferentes temperaturas nos da una idea de su susceptibilidad térmica (Albeño et al, 2012).

2.2.13. Comportamiento mecánico

Las propiedades mecánicas y funcionales del asfalto son importantes para el comportamiento de las mezclas asfálticas durante la puesta en servicio. Por ello, se presta gran atención a las propiedades mecánicas y a la resistencia del asfalto, especialmente a su bajo esfuerzo de deformación a su comportamiento y su resistencia a la rotura.

2.2.14. Fallas en el Pavimento asfáltico

Es el resultado de interacciones complejas en el diseño, material, construcción, tránsito vehicular y el medio ambiente. Juntos estos factores conducen al deterioro de la superficie del pavimento, exacerbado por el mantenimiento de las carreteras (Panta, 2017).

A continuación, se muestran alguna de las fallas que se encuentran en los pavimentos, según la norma ASTM D6433-07 como se logra apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3
Relación de fallas según Norma ASTM D6433-07

Falla N°	Descripción	Unidad
Fallas Estructurales		
1	Grieta Piel de Cocodrilo	m2
2	Grieta de Contracción(Bloque)	m2
3	Elevaciones – Hundimiento	m2
4	Depresiones	m2
5	Huecos	m2
6	Ahuellamiento	m2
7	Grietas de Deslizamiento	m2
8	Hinchamiento	m2
Fallas Funcionales		
9	Exudación de Asfalto	m2
10	Corrugaciones	m2
11	Grietas de Borde	m2
12	Grietas de Reflexión de Juntas	m2
13	Desnivel Calzada – Berma	m2
14	Grietas Longitudinal y/o Transversal	m2
15	Parcheo	m2
16	Agregado Pulidos	m2
17	Cruce de Rieles	m2
18	Grietas parabólicas	m2
19	Disgregación y Desintegración	m2

Fuente: Leva (2020).

Luego podemos clasificarlas según sus tipos de fallas como: fisuras y grietas, deformaciones, desprendimientos y otras fallas. (Ver Tabla 4)

Tabla 4
Fallas en pavimentos asfálticos o flexibles

Fallas en pavimentos asfálticos o flexibles			
Fisuras y grietas	Deformaciones	Desprendimientos	Otras fallas
Piel de cocodrilo	Abultamientos y hundimientos	Baches	Exudación
Fisuras en bloque	Corrugación	Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados.	Agregado pulido
Fisuras de borde	Depresión		Desnivel carril- Berma
Fisuras de reflexión de junta.	Ahuellamiento		Parches
Fisuras longitudinales y transversales.	Desplazamiento		
Fisuras parabólicas o por deslizamiento.	Hinchamiento		

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una imagen con las características respectivas de cada una de estas fallas más comunes presentadas en la tabla 4.

a) Fisuras y grietas

➤ Piel de cocodrilo

Según Bolaños (2015) afirma que es una serie de grietas interconectadas que resultan de la fatiga en las mezclas asfálticas. Las grietas comienzan en el fondo de la capa y se extienden hacia la superficie, originalmente eran grietas longitudinales paralelas luego, bajo acción posterior del tráfico estos están interconectados para formar en polígonos de diferentes tamaños, similares a la piel de cocodrilos. Aquellas grietas que ocurren solo en las áreas de tráfico se consideran daños estructurales importantes y generalmente está acompañada de ahuellamiento. (Ver Figura 5).

“Las grietas de fatiga o piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito” (Hiliquín, 2016).

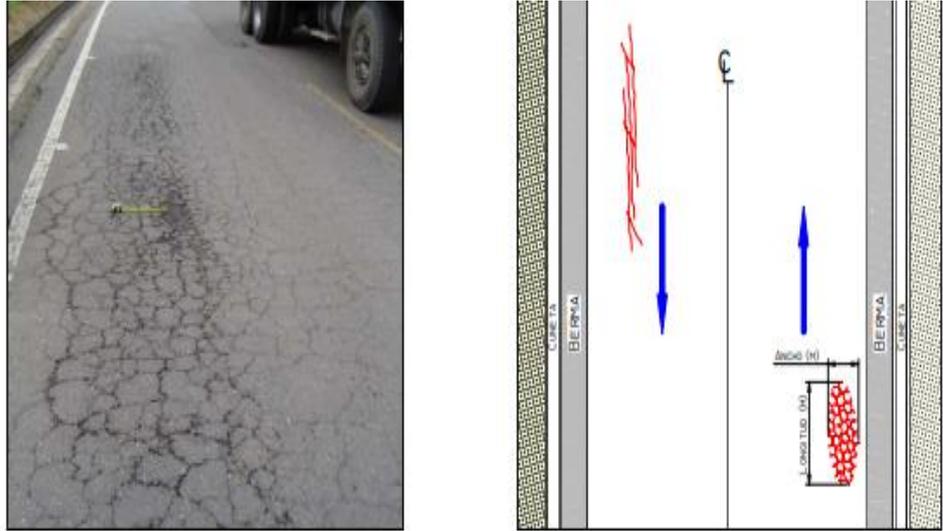


Figura 5. Falla de piel de cocodrilo
Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2006)

En la figura 6 se logra apreciar la falla por piel de cocodrilo en tres niveles de severidad ;en la primera imagen (a) se aprecia que se encuentra en un nivel bajo , en la imagen del centro (b) cuando se encuentra en un nivel medio y por ultimo en la imagen (c) en un nivel alto.

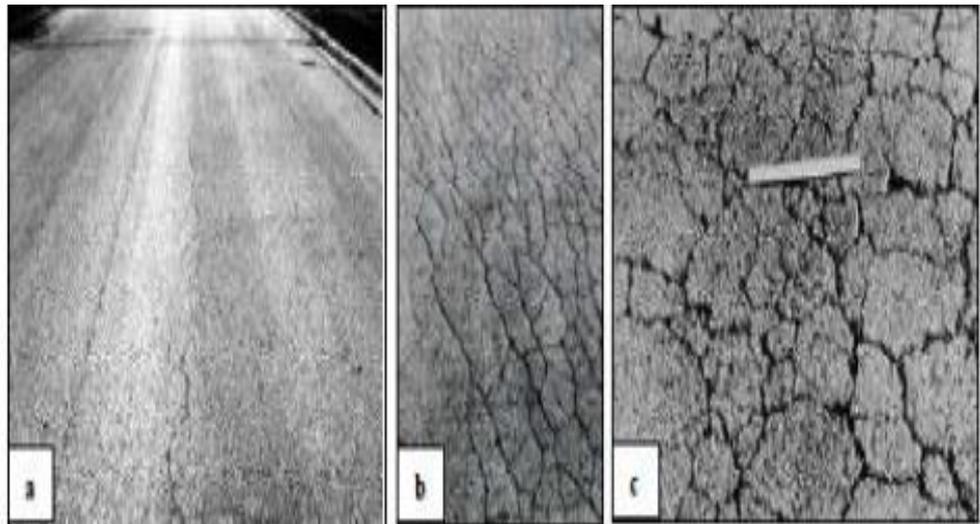


Figura 6. Falla de piel de cocodrilo nivel de severidad
Fuente: ASTM D6433-07

A continuación se presenta en Tabla 5 de las posibles causas que generan este tipo de falla.

Tabla 5
Posibles causas de la falla de piel de cocodrilo

PIEL DE COCODRILO
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none">- Espesor de estructura insuficiente.- Deformaciones de la subrasante.- Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación del asfalto o envejecimiento).- Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.- Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.- Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).- Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño. Son causadas por la fatiga que sufren las capas asfálticas al ser sometidas a las cargas repetidas del tránsito.

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Agrietamiento en bloque**

Conza (2016) menciona “que las grietas en bloque son grietas interconectadas que dividen el pavimento en pedazos aproximadamente rectangulares estos bloques pueden variar en tamaño de 0.30 m x 0.3 m a 3.0 m x 3.0 m”. Las grietas en los bloques indican un endurecimiento significativo del asfalto, independientemente de la carga.

Por lo general, está presente en gran parte del pavimento, pero a veces solo es visible en áreas donde no hay tráfico. Este tipo de daño se diferencia de la piel de cocodrilo en que esta última forma piezas más pequeñas, multifacéticas y con ángulos pronunciados (p.35).

La figura 7 muestra esta falla en un pavimento asfáltico

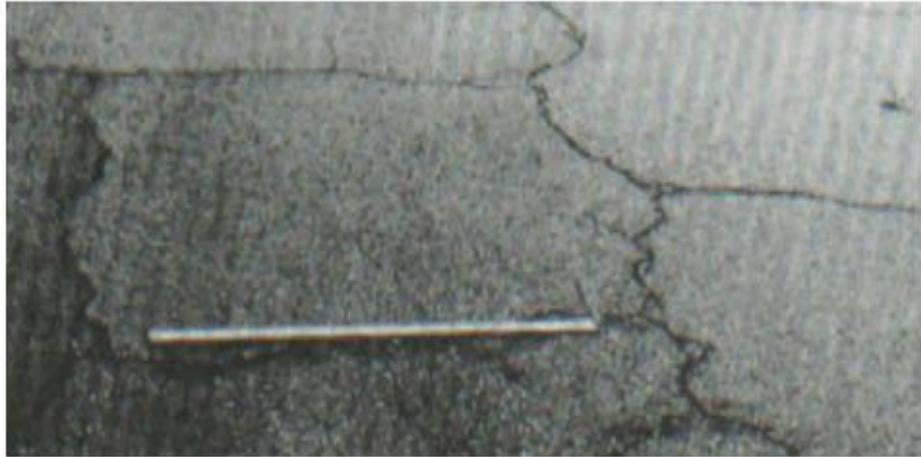


Figura 7. Agrietamiento en bloque
Fuente: Conza (2016).

Se presenta en Tabla 6 las posibles causas que generan las fisuras en bloque.

Tabla 6
Posibles causas de las fisuras en bloque

FISURAS EN BLOQUE
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base. - Causadas principalmente por la contracción de las mezclas asfálticas debido a las variaciones diarias de temperatura. - La ausencia de tráfico tiende a acelerar la formación de estas grietas de contracción. - La presencia de fisuras en bloques generalmente es indicativa de que el asfalto se ha endurecido significativamente. - Debilitamiento brusco de las capas inferiores, (generalmente por saturación de los materiales).

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Las grietas de borde**

Este tipo de grietas “son paralelas y, generalmente, están a una distancia entre 0.30 y 0.60 m del borde exterior del pavimento. Este daño se acelera por las cargas de tránsito y puede originarse por debilitamiento,

debido a condiciones climáticas, de la base o de la subrasante próximas al borde del pavimento” (Hiliquín, 2016).

En la figura 8 y figura 9 se puede apreciar este tipo de fallas.

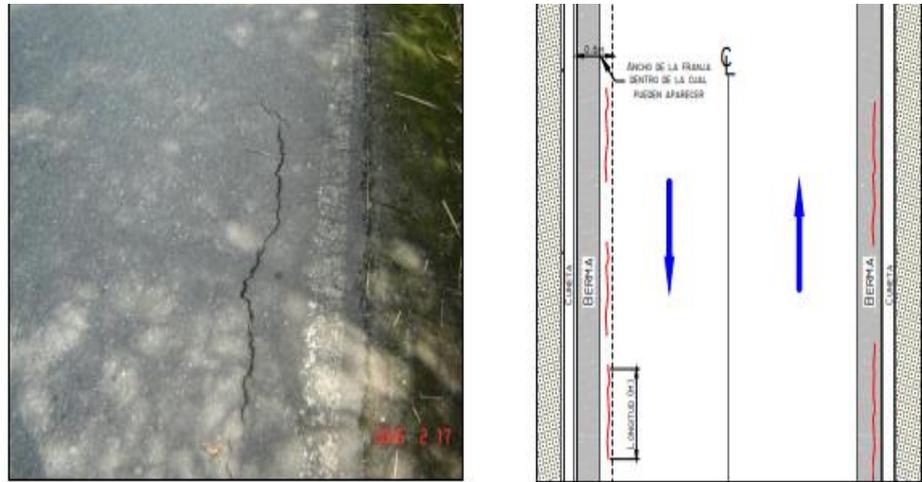


Figura 8. Agrietamiento de borde
Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2006)



Figura 9. Agrietamiento de borde
Fuente: Conza (2016).

A continuación, se presentan las causas que generan las fisuras de borde.
(Ver tabla 7)

Tabla 7
Posibles causas de fisuras de borde

FISURAS DE BORDE
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none">- Falta de confinamiento lateral de la estructura.- Anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma.- Prácticas de mantenimiento inapropiadas.- Construcción de recapados u otras obras de rehabilitación sin ajustar el nivel de los paseos.- Acción directa o indirecta del tránsito sobre un material granular muy disgregable o inestable (erosión superficial).

Fuente: Elaboración propia.

➤ **Fisuras longitudinales y transversales**

Las fisuras longitudinales son paralelas al eje o a la dirección del pavimento mientras que las fisuras transversales se extienden a través del pavimento aproximadamente en ángulo recto al eje o a la dirección de construcción del pavimento. Por lo general, este tipo de grietas no están relacionadas con la carga.

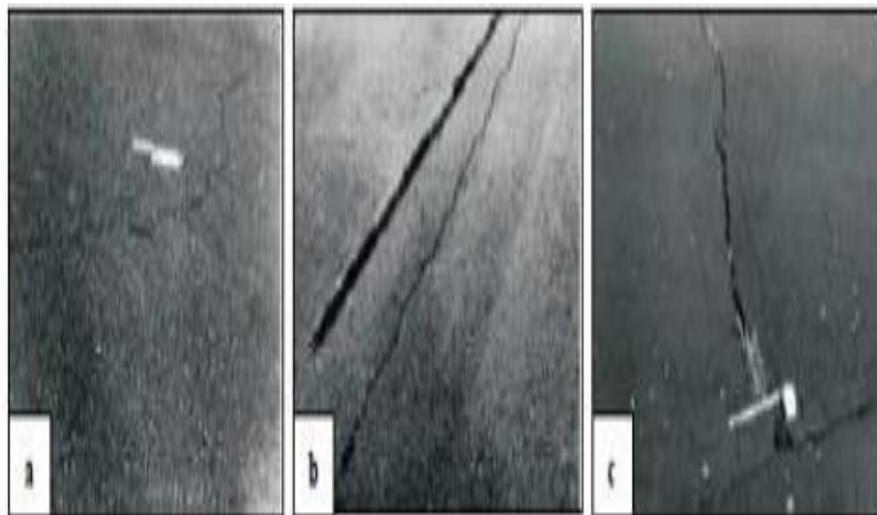


Figura 10. Agrietamiento de borde
Fuente: ASTM D6433-07

En la figura 10 se visualiza las fallas por fisuras longitudinales y trasnversales; en tres niveles de gravedad ;en la imagen izquierda (a) esta en un nivel bajo ,la imagen del centro (b) en un nivel medio y por ultimo en la imagen (c) en un nivel alto.

En la tabla 8 se presentan las causas que provocan la falla por fisuras longitudinales y trnasversales.

Tabla 8
Posibles causas de fisuras longitudinales y transversales

FISURAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito. - Riego de liga insuficiente o ausencia total. - Espesor insuficiente de la capa de rodadura. - Defectuosa ejecución de las juntas longitudinales de construcción, al distribuir las mezclas asfálticas durante la construcción; ocurren en el eje y coincidencia con los carriles de distribución y ensanches. - Defectuosa ejecución de las juntas transversales de construcción de las capas asfálticas de superficie. - Reflexión de fisuras causadas por grietas existentes por debajo de la superficie de rodamiento; incluyendo fisuras en pavimentos conformadas por capas estabilizadas químicamente o de concreto, usualmente se presentan combinadas con fisuras transversales.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Fisuras parabólicas o por deslizamiento**

“Las grietas parabólicas por deslizamiento (slippage) son grietas en forma de media luna creciente. Son producidas cuando las ruedas que frenan o giran inducen el deslizamiento o la deformación de la superficie del pavimento” (Conza ,2016)

También nos indica que “usualmente, este daño ocurre en presencia de una mezcla asfáltica de baja resistencia, o de una liga pobre entre la superficie y la capa siguiente en la estructura de pavimento” (p.45).Ver la figura 11.



Figura 11. Fisuras parabólicas o por deslizamiento
Fuente: Conza (2016).

En la tabla 9 se presentan las causas de fisuras parabólicas o por deslizamiento.

Tabla 9
Posibles causas de fisuras parabólicas o por deslizamiento

FISURAS PARABÓLICAS O POR DESLIZAMIENTO
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Se presentan usualmente cuando existe una mezcla en la superficie de baja resistencia o por la escasa adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento. - Se pueden generar ante el paso de tránsito muy pesado y muy lento, en zonas de frenado y acelerado de los vehículos. - Espesores de carpeta muy bajos. - Alto contenido de arena en la mezcla asfáltica. - Exceso de ligante o presencia de polvo durante la ejecución del riego de liga. - Carencia de penetración de la imprimación en bases granulares.

Fuente: Elaboración propia

b) Deformaciones

➤ Ondulaciones

También es un daño que se denomina corrugación, que se caracteriza por formación de ondas en la superficie asfáltica, generalmente formando crestas y valles que son perpendiculares a la dirección del tránsito. Esta deformación se debe a la baja inestabilidad de las capas superficiales, las condiciones ambientales y las deficiencias en el proceso de elaboración de la mezcla asfáltica (Silva & Sosa ,2021).

En la figura 12 se observa como se presenta la falla por ondulación.

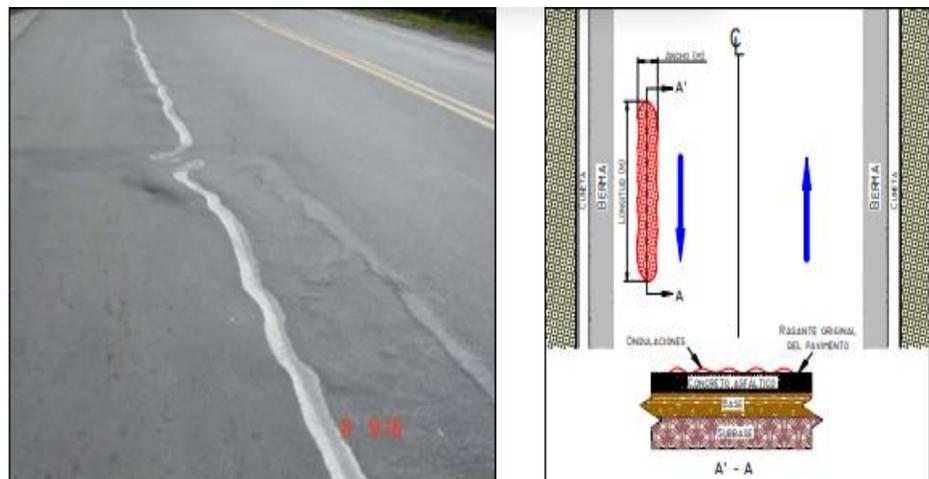


Figura 12. Ondulación.

Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2006)

Se presentan en la tabla 10 las posibles causas de la falla por ondulación.

Tabla 10
Posibles causas de ondulación.

ONDULACIÓN
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none">- Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.- Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.- Exceso o mala calidad del asfalto.- Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).- Falta de curado de las mezclas en la vía.- Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.- Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.- Uso de ligantes blandos o agregados redondeados.- Exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Abultamientos y hundimientos**

Son “ondulaciones transversales sucesivas de la superficie del pavimento, motivadas generalmente por deficiencias de estabilidad de la mezcla asfáltica, aunque también pueden ocurrir por falta de liga entre la capa superior y la subyacente o por excesiva humedad en la subrasante”. Se puede entonces decir que los abultamientos de la superficie de los pavimentos, es un pequeño desplazamiento, brusco hacia arriba y hacia abajo, que distorsiona el perfil de la carretera (Conza ,2016,p.35)

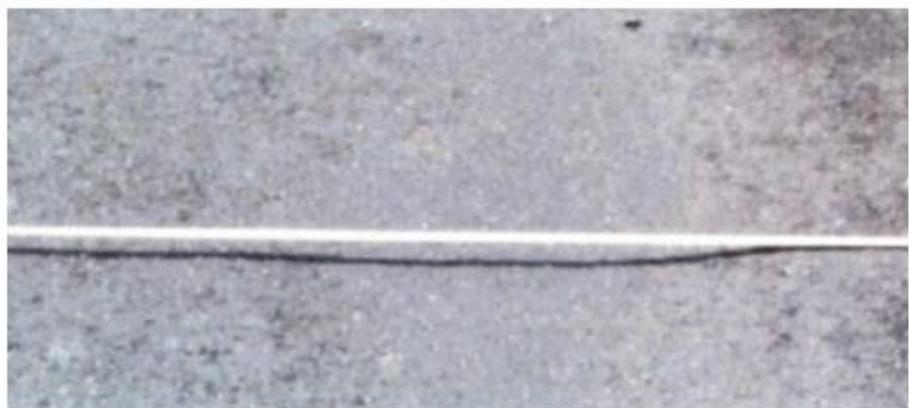


Figura 13. Abultamiento y hundimientos.
Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones (2014)

En la figura 14 se presenta la falla por abultamiento y hundimiento y trasversales; en tres niveles de gravedad ;en la imagen izquierda (a) esta en un nivel bajo ,la imagen del centro (b) en un nivel medio y por ultimo en la imagen (c) en un nivel alto.

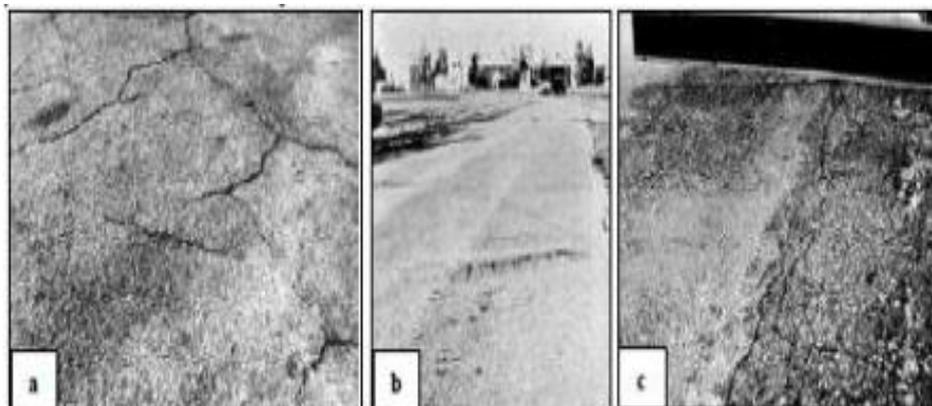


Figura 14. Nivel de severidad por abultamiento y hundimiento.
Fuente: ASTM D6433-07.

En la tabla 11 se presenta las causas de las fallas por abultamiento y hundimientos.

Tabla 11
Posibles causas de abultamientos y hundimientos

ABULTAMIENTOS Y HUNDIMIENTOS
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Se generan principalmente por la expansión de la subrasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo). - Se da fundamentalmente por la expansión de los suelos de subrasante del tipo expansivo. En muchos casos pueden estar acompañadas por el fisuramiento de la superficie. - Asentamientos de la subrasante. - Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes. - Deficiencias de drenaje que afecta a los materiales granulares. - Circulación de tránsito muy pesado. - Deficiencias de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada. - Son causados por asentamientos de la fundación deficiencias durante la construcción o falta de un continuo mantenimiento a los drenes.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Depresión**

Estas son áreas localizadas de los pavimentos que están ligeramente por debajo del pavimento alrededor. En muchos casos, las depresiones suaves solo son visibles después de una lluvia, cuando el agua acumulada forma un "baño de pájaros". (Ver figura 15)

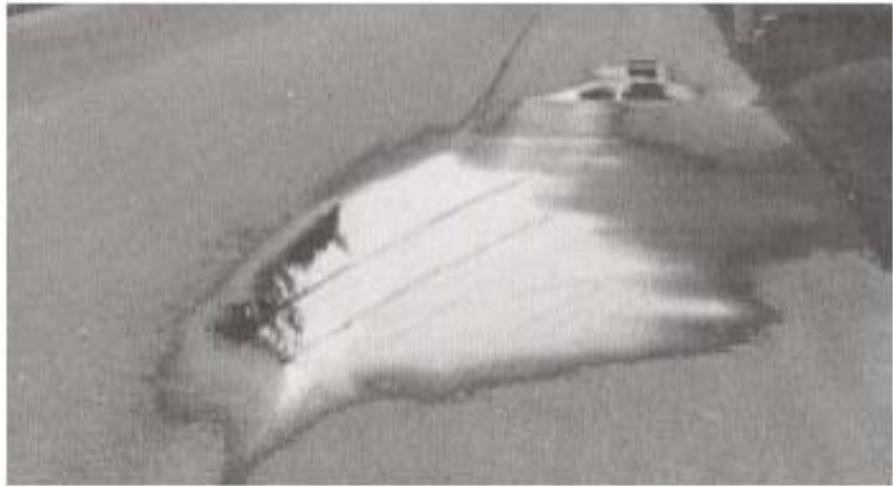


Figura 15. Falla de depresión.
Fuente: Silva, Sosa (2021).

La figura 16 se presenta la falla de depresion ,en la primera imagen (a) tiene un nivel de gravedad baja ,la imagen del centro (b) un nivel medio y la tercera imagen (c) esta un nivel de gravedad alto.

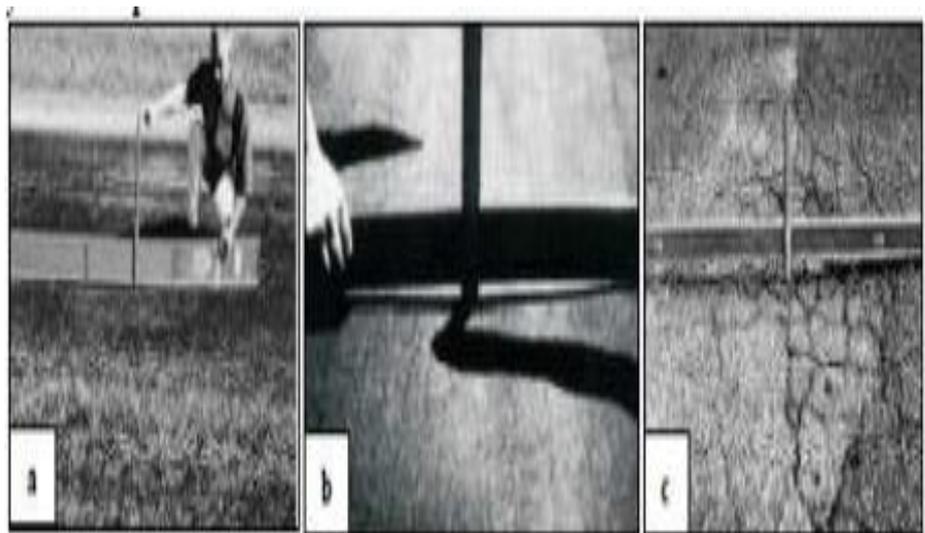


Figura 16. Nivel de gravedad por falla de depresión.
Fuente: ASTM D6433-07.

➤ **Ahuellamiento**

“Es una depresión de la zona localizada en la superficie de las huellas de la llanta de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación a los lados de la zona afectada” (Leva,2020).

Es causado por la deformación permanente de cualquier capa de un pavimento, generalmente formado por los movimientos laterales de los materiales o por la consolidación debido a las cargas de tráfico. (Ver figura 17).

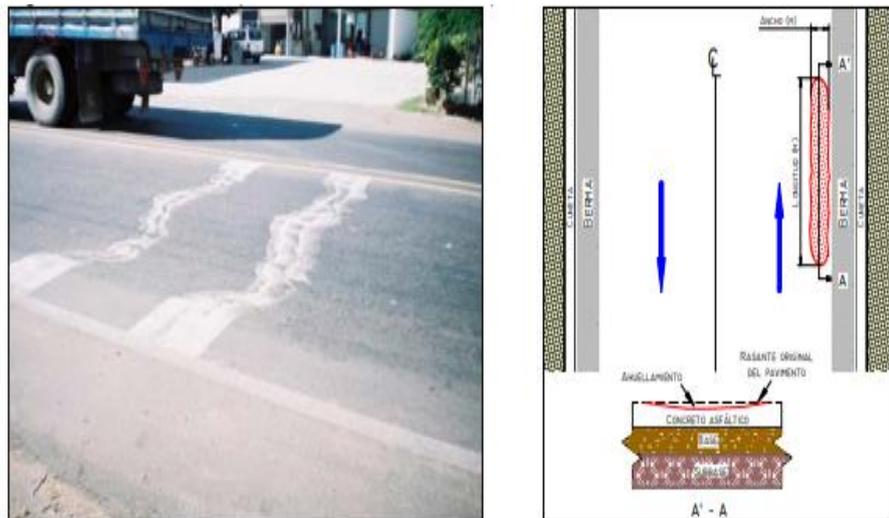


Figura 17. Ahuellamiento.
Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2006)

En un clima cálido, aumenta la deformación plástica de la mezcla, que también puede ser causada por compactaciones inadecuadas de las capas durante la construcción debido al uso de asfalto blando o agregado redondeado.

Además, este tipo de daño puede revelar fallas estructurales en el pavimento por diseño deficientes, las cuales se manifiestan ante cargas de tráfico muy altas. En la figura 18 se logra apreciar esta falla.



Figura 18. Ahuellamiento.
Fuente: Conza (2016).

En la tabla 12 se presenta las posibles causas de la falla por ahuellamiento.

Tabla 12
Posibles causas de ahuellamiento.

AHUELLAMIENTO
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante. - Generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas. - La falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas. - Estacionamiento prolongado de vehículos pesados. - Las capas estructurales pobremente compactadas. - Insuficiente estabilidad de las mezclas asfálticas por inadecuada compactación o deficiente dosificación.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Desplazamiento**

Es un corrimiento longitudinal y permanente de un área localizada de la superficie del pavimento producido por las cargas del tránsito. Cuando el tránsito empuja contra el pavimento, produce una onda corta y abrupta en la superficie (Conza, 2016).

La figura 19 presenta el nivel de severidad debido a esta falla.

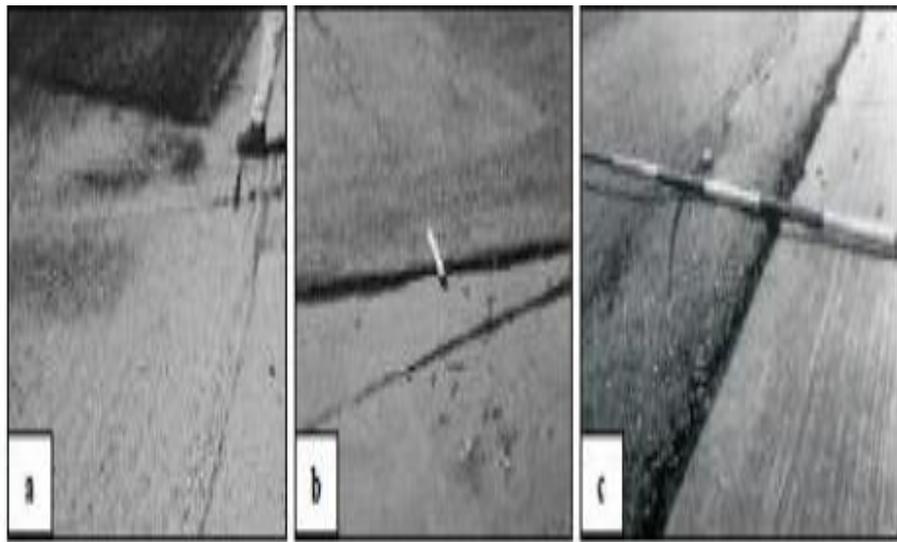


Figura 19. Ahuellamiento.
Fuente: ASTM D6433-07.

La figura 19 se presenta la falla de ahuellamiento, en la primera imagen (a) tiene un nivel de gravedad baja, la imagen del centro (b) un nivel medio y la tercera imagen (c) está un nivel de gravedad alto.

c) **Desprendimientos**

➤ **Peladura por intemperismo y desprendimiento de agregados**

Según Leva (2020) es la pérdida de la superficie del pavimento debido a la pérdida de ligante asfáltico y partículas sueltas de agregados. Esta falla indica que el ligante asfáltico se ha endurecido significativamente o es una mezcla de mala calidad.

Ver figura 20 y 21 en donde se puede vislumbrar estas fallas.



Figura 20. Peladura por intemperismo.
Fuente: MOPC (2016)



Figura 21. Desprendimiento y descaramiento del pavimento
Fuente: Sosa, Silva (2021).

En la tabla 13 se muestran las posibles causas de este tipo de falla.

Tabla 13
Posibles causas de intemperismo y desprendimiento de agregados

PELADURA POR INTEMPERISMO Y DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales. - Problemas de adherencia entre agregado y asfalto. - Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes. - Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico. - Endurecimiento significativo del asfalto. - Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica. - Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros. - La mezcla asfáltica existente es de deficiente calidad ya sea por un contenido de ligante insuficiente, empleo de agregados sucios o muy absorbentes.
<ul style="list-style-type: none"> - Deficiencias durante la construcción. - El desprendimiento puede ser originado también en un proceso de descubrimiento por pérdida de adherencia entre el agregado y el asfalto cuando actúan agentes agresivos tales como solventes y otros derivados del petróleo e inclusive la acción del agua.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Baches**

Es cuando la carpeta asfáltica se desintegró por completo, exponiendo el material granular, lo que resulta en un aumento del área afectada y un aumento de la profundidad debido al tráfico como se aprecia en la figura . (Ver figura 22).

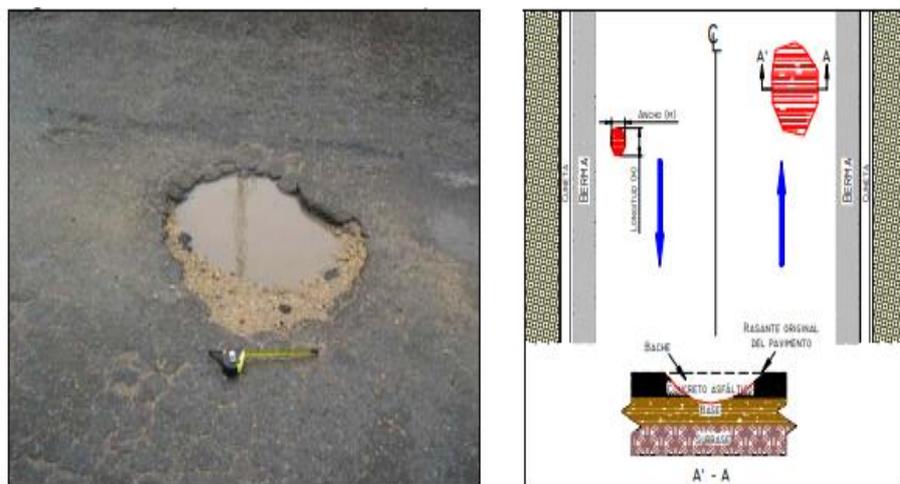


Figura 22. Bache.
Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2014)

En este tipo de deterioro incluye los ojos de pescado corresponden a baches de formas redondeadas y de profundidades variables causados por las deficiencias localizadas en las capas estructurales. (Ver figura 23)



Figura 23. Bache.
Fuente: MOPC (2016)

Se presenta a continuación las posibles causas que provocan este tipo de falla. (Ver tabla 14).

Tabla 14
Posibles causas de baches

BACHES
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none"> - Este deterioro ocurre siempre como evolución de otros daños, especialmente de piel de cocodrilo. - Se presenta por la retención de agua en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. - Es consecuencia de algunos defectos constructivos (por ejemplo, carencia de penetración de la imprimación en bases granulares) o de una deficiencia de espesores de capas estructurales. - Puede producirse también en zonas donde el pavimento o la subrasante son débiles. - Capas inferiores inestables. - Espesores insuficientes

Fuente: Elaboración propia

d) Otras fallas

➤ Exudación

“La exudación se presenta en la carpeta de rodadura como un afloramiento del ligante asfáltico, usualmente puede llegar a ser resbaladiza y pegajosa afectando el desempeño antideslizante de la carretera” (INVIAS, 2012).

Para Leva (2020) la exudación es causada por el exceso de asfalto en la mezcla en medio de altas temperaturas ambientales y se expande en la superficie del pavimento. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el clima frío, el asfalto se acumulará en la superficie. Como se muestra en la figura 24, que el pavimento presenta exudación.



Figura 24. Exudación.

Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia.

Se presenta a continuación las posibles causas que provocan este tipo de falla. (Ver tabla 15).

Tabla 15
Posibles causas que generan la exudación.

EXUDACIÓN
Posibles causas
- Se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo.
- Por temperaturas altas
- Sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas.
- Puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes.
- Dado que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto se acumula en la superficie.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Parches**

Los parches conciernen a las zonas del pavimento donde una superficie localizada fue retirada y reemplazada por otro material que puede ser similar o diferente al colocado anteriormente, se lo realiza con el fin de reparar la capa de rodadura (Ministerio de Transporte de Colombia, 2006). Ver figura 25

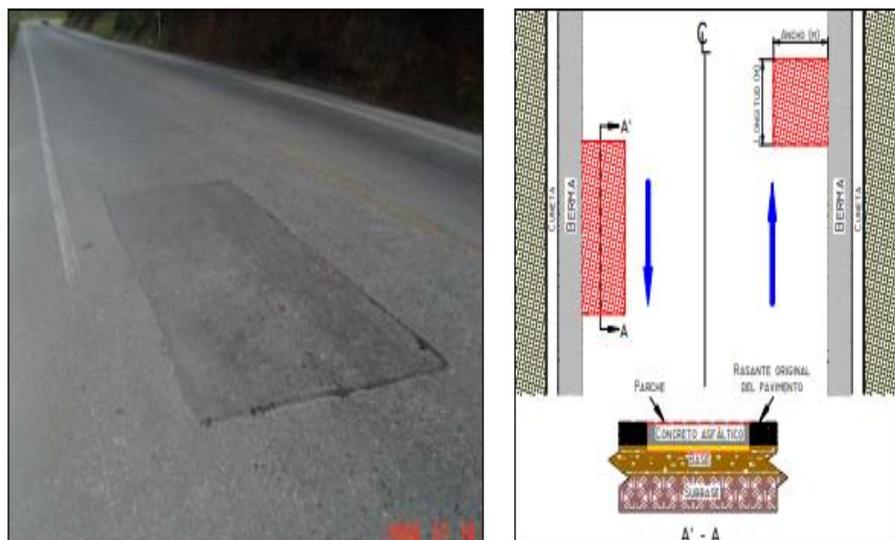


Figura 25. Parches.

Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2006).

Se presenta a continuación las posibles causas que provocan este tipo de falla. (Ver tabla 16).

Tabla 16
Posibles causas de parches

PARCHES
Posibles causas
<ul style="list-style-type: none">- Procesos constructivos deficientes.- Progresión del daño inicial por el cual debió realizarse el parcheo (cuando la intervención fue inadecuada para solucionar el problema).- Deficiencias en las juntas.- Propagación de daños existentes en las áreas aledañas al parche.

Fuente: Elaboración propia

➤ **Desnivel de berma**

Según Ministerio de Transportes de Colombia (2006) este daño se debe a la erosión de la berma, el asentamiento berma o la colocación de sobrecarpetas en la calzada sin ajustar el nivel de la berma. Así mismo menciona que “generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y procedimiento o por el bombeo del material de base en la berma, también puede estar asociado con problemas de inestabilidad de los taludes aledaños.”

En las figura 26 se muestra la falla de desnivel de berna.

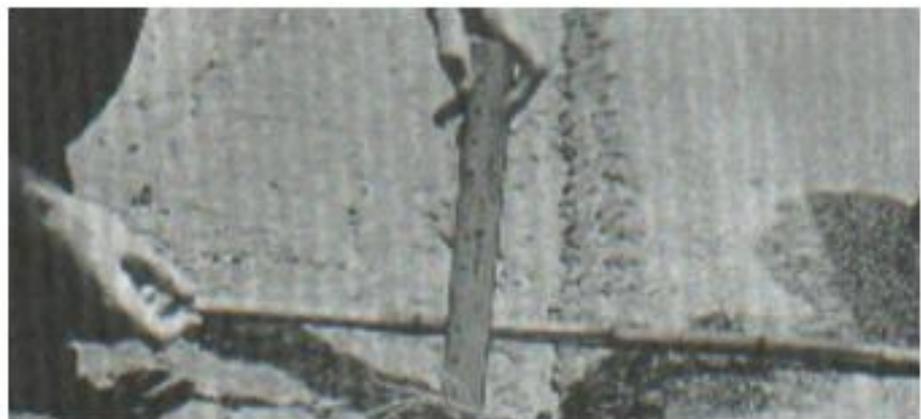


Figura 26. Desnivel de Berna.
Fuente: MOPC (2016)

Una de las posibles causas por la cual se generan este tipo de falla son los problemas de inestabilidad de los taludes adyacentes o con ausencia de liga entre calzada y berma cuando se construyen por separado.



Figura 27. Desnivel de Berna.
Fuente: Ministerio de Transportes de Colombia (2006)

2.3. Definición de términos básicos.

Esfuerzos por Gradiente térmico

Silva & Sosa (2021) indica que es un fenómeno que ocurre en regiones de gran altitud y que produce cambios de volumen diarios en la estructura de la capa asfáltica, provocando esfuerzos cíclicos de compresión y tracción que luego se convierten en fallas por fatiga. Generalmente, los gradientes térmicos dependen de las condiciones de la zona donde en la que esta, al igual que el aumento y caída brusca de la temperatura en el suelo, los vientos fuertes y/o el movimiento de aire turbulento.

Fisuras y grietas

Es una serie de patrones de grietas irregulares interconectados, suele ubicarse en lugares con cargas repetidas. Las grietas tienden a ocurrir en la parte inferior de la capa de asfalto donde bajo la acción de carga, el esfuerzo de tracción es mayor.

Fallas funcionales

Estas son fallas donde la deformación de la superficie es mayor que la deformación permitida y causan algunas molestias en el transito estos incluyen: falla superficial, perdida de fricción y rugosidad (Leva,2020).

Fallas estructurales

Se crean estos tipos de fallas en todo el paquete del pavimento; existe una variedad de causas, pero el resultado que provoca es la de una capacidad reducida de cargas generadas por factores que se ven afectados negativamente, se vuelve tan difícil que se sale de control y se detiene el flujo de vehículos haciendo que se vuelva intransitables (Clemente,2019).

Patologías

Etimológicamente hablando esta palabra proviene de la raíz Phatos y Logos que pueden definirse ampliamente como la investigación de enfermedades, para esta investigación se menciona como el estudio de problemas constructivos y de las enfermedades que presenta en los pavimentos asfálticos.

Reología del asfalto

Describe y caracteriza completamente las propiedades viscoelásticas del asfalto en función de la temperatura y el tiempo de carga.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1.Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Las principales condiciones meteorológicas afectan las propiedades y generan fallas en las mezclas asfálticas.

3.1.2. Hipótesis específica

- a) Estudiando las condiciones meteorológicas se establece como afectan las propiedades de las mezclas asfálticas.
- b) Determinando las condiciones meteorológicas se establecen las fallas en las mezclas asfálticas.

3.2.Identificación de variables

3.2.1. Definición conceptual de las variables

- a) **Variable Independiente.**
Condiciones Meteorológicas.
- b) **Variable dependiente.**
Propiedades de las mezclas asfálticas.

3.3.Operacionalización de las variables

La operacionalización de variables mencionadas se presenta en la siguiente tabla 17

Tabla 17
Matriz de Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índice	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramientas
V.I. Condiciones meteorológicas.	Son factores climatológicos, como temperaturas bajas, gradiente térmico, radiación solar intensa, y, por los efectos de flujos de agua superficial y subterránea, que determinan su deterioro prematuro y acelerado en los pavimentos asfálticos.	Para el diseño de pavimentos flexibles se han incluido variables climáticas, pues se ha demostrado que es un factor que incide en el comportamiento estructural de las carreteras; siendo necesario incluir el efecto climático en el diseño de estructuras de pavimentos	Clima	Efecto climático	variación estacional	cuantitativa nominal	Información bibliográfica de tesis de investigaciones nacionales e internacionales	EG - 2013 Especificaciones generales para Carreteras
		Afirman que un pavimento ideal debe soportar el clima en sus variaciones estacionales; sin embargo, los rangos altos de variación de temperatura en el medio ambiente, sumadas a malos sistemas de bombeo y escaso mantenimiento del pavimento, provocan que en las infraestructuras viales se presenten fallas y deterioros acelerados	Temperatura	Variación térmica	°C	cuantitativa continua		
			Lluvia	Precipitación	mm/año	cuantitativa continua		
			Humedad Ambiental	Humedad relativa	%	cuantitativa continua		
			Radiación solar	Variación solar	W/m ²	cuantitativa continua		
		Oxidación						

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índice	Unidad de medida	Escala	Instrumento	Herramientas
VD Propiedades de la mezcla asfáltica.	Estas condiciones meteorológicas afectan las propiedades mecánicas de los materiales y, por sí mismos, originan esfuerzos de tensión-deformación que conducen a la falla del pavimento. Las temperaturas bajas afectan las propiedades reológicas del asfalto y en consecuencia las propiedades físicas de las mezclas, originando el fisuramiento de las capas asfálticas, por contracción térmica.	En altas temperaturas las mezclas asfálticas pueden acelerar el proceso de relajación de los componentes viscoelásticos de la mezcla, provocando exudación, mientras que a bajas temperatura el proceso de relajación puede tomar más tiempo, por lo que la tensión provocada a la carpeta puede inducir su agrietamiento.	Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas	Agrietamiento longitudinal y transversal.	mm	cuantitativa continua	Información bibliográfica de tesis de investigaciones nacionales e internacionales	Manual de Suelos MTC, Geología, Geotécnica y Pavimentos
		En cuanto a la lluvia, hacen que se eleve el nivel freático influyendo en la resistencia la compresibilidad y generando cambios volumétricos en los suelos. especialmente en la subrasante, con lo que se genera desprendimientos de las películas de asfalto.	Resistencia al deslizamiento	Desprendimientos	mm			
		La ondulación es una deformación plástica de la carpeta asfáltica debido a una pérdida de estabilidad en las mezclas en climas cálidos por la dosificación del asfalto deficiente.	Durabilidad	Envejecimiento de asfalto	mm			
		Los materiales asfálticos están sometidos frecuentemente a variaciones de temperatura que le provocan cambios dimensionales, para esto es necesario que el material asfáltico tenga suficiente ductilidad para alargarse sin que se produzcan grietas.	Estabilidad	Ondulaciones y Deformaciones	mm			
		Los fenómenos meteorológicos incrementan la humedad en los materiales en los pavimentos, provocando desprendimientos de agregados en la superficie que también son conocidos como pérdida de adhesión.	Impermeabilidad	Pérdida de adherencia	mm			

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Método de la investigación

Para la presente investigación se utilizó el método deductivo ya que partirá de lo general al particular, basándonos en información de investigaciones previas, estudiando y analizando sus resultados.

4.1.2. Tipo de investigación

La presente investigación fue del tipo aplicada, ya que en el desarrollo de esta se buscó identificar las principales variables para la mejora en el comportamiento de un pavimento asfáltico. Según su enfoque, la presente investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se establecen criterios de valoración al analizar las propiedades de las mezclas asfálticas según las condiciones meteorológicas en las cuales se encuentran sometidas.

4.1.3. Nivel de la Investigación

Este tipo de investigación fue de nivel descriptivo-correlacional. Descriptivo porque se realizó el análisis de las propiedades de las mezclas asfálticas y las condiciones meteorológicas. Así mismo, también se consideró de nivel correlacional porque se analizó la relación de interacción entre las propiedades de las mezclas asfálticas y las condiciones meteorológicas en un mismo contexto.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación que se utilizó es no experimental, de tipo transversal y retrospectivo; debido a que se utilizó información de investigaciones previas, sin considerar la evolución temporal-histórica de los efectos generados por las condiciones meteorológicas en las propiedades de la mezcla asfáltica.

4.3.Población y muestra.

4.3.1. Población

La población de estudio está constituida por investigaciones nacionales e internacionales las cuales tuvieron una relación con las condiciones meteorológicas y como afectan a las propiedades de las mezclas asfálticas presentando deterioros en las carreteras cuya estructura esté compuesta por pavimentos flexibles o asfálticos.

4.3.2. Muestra:

El diseño muestral de la presente investigación es del tipo no probabilístico, intencional por criterio, siendo este último, el deterioro de la carpeta asfáltica de las carreteras producido por las condiciones meteorológicas a las que se encuentran sometidas.

4.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

La técnica empleada en la presente investigación es del tipo documental, debido a que se obtiene la información de fuentes secundarias, las cuales son: libros, manuales, artículos científicos y repositorios de investigaciones.

Los instrumentos de recolección de información son las bases de datos de las instituciones vinculadas al estudio en mención, de nivel nacional e internacional.

4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

El análisis de las fuentes de información bibliográfica recopilada, tienen la aprobación, respaldo y el reconocimiento de instituciones reconocidas.

4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

En la recopilación de los datos se siguieron los siguientes pasos.

- Se averiguo información de estudios nacionales e internacionales sobre las propiedades de las mezclas asfálticas.
- Se averiguo información de estudios de investigación nacional e internacional sobre las condiciones meteorológicas que tienen influencia en las propiedades de las mezclas asfálticas.

- Se busco y selecciono las investigaciones que hablan sobre los efectos o deterioros en los pavimentos asfálticos, que se originan debido a que las condiciones meteorológicas afectan a las propiedades de las mezclas asfálticas.

4.5. Técnicas para el procedimiento y análisis de la información

Los datos recolectados como estudios e investigaciones realizados en distintos tramos de carreteras compuestas por pavimento asfáltico, en los cuales se evidencie alteración de las propiedades de las mezclas asfálticas debido a las condiciones meteorológicas de la zona en la que se encuentren, se clasificaron y procesaron empleando el uso de revistas, papers, páginas web y libros tanto nacionales como internacionales.

CAPITULO V: PRESENTACIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1. Diagnóstico y situación actual

Para mostrar el análisis e interpretación de los resultados de la presente investigación se realizó la búsqueda de investigaciones nacionales e internacionales de las cuales solo se tomaron 12 investigaciones más relevantes que tienen relación con nuestros indicadores.

5.1.1. Condiciones meteorológicas en el Perú

El ubicarse cerca de la línea ecuatorial nos permite indicar que el clima de nuestro Perú debería ser eminentemente tropical. Pero existen dos factores que varían sus condiciones climáticas. La primera de estas es la existencia de la “Cordillera de los Andes” la cual se ubica de forma paralela al océano pacifico en toda la extensión de América del Sur. El segundo factor es la convergencia entre la corriente de Humboldt o corriente fría del Perú, que fluye de sur a norte, y la corriente del niño que fluye en las costas de Piura y Tumbes. Estas condiciones generan menores temperaturas promedio anuales de 10°C en la costa, así como variación de climas en todo el país. Esto hace que el Perú se posicione como el país con mayor diversidad climática contando con un total de 38 climas. (Ver Anexo 2)

La coexistencia de estas variedades de climas en el Perú genera mayor complejidad en la aplicación de innovaciones tecnológicas en pavimentos asfálticos, estableciéndose un complejo desafío para los especialistas en la materia.

En la figura 28 se presenta las 8 regiones naturales que inciden en las zonas climáticas de nuestro territorio nacional

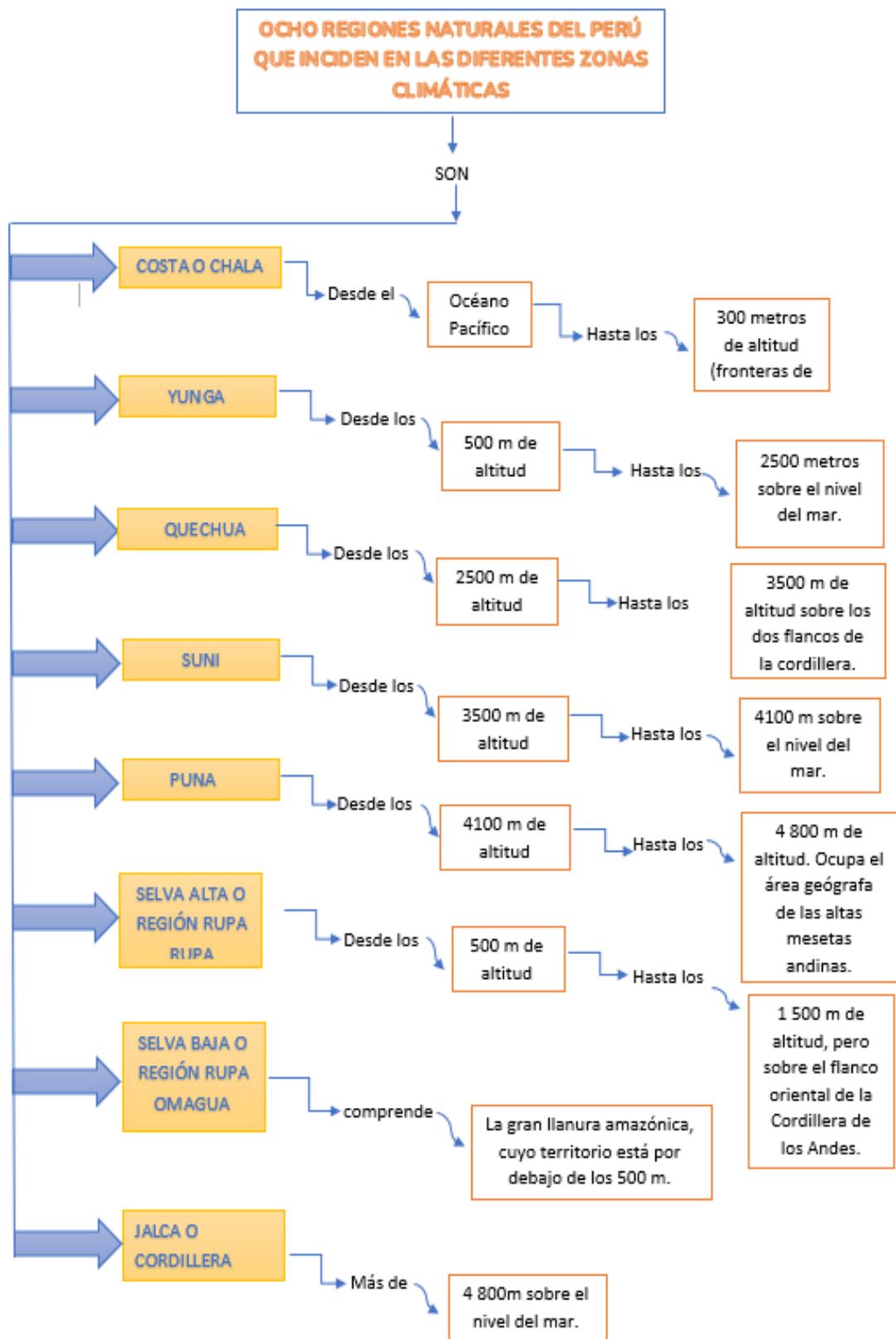


Figura 28. Ocho regiones que inciden en las zonas climáticas del Perú.
Fuente: Elaboración propia

a) Temperatura

En la selva alta y baja de acuerdo con la geografía del Perú se presentan temperaturas altas en épocas de estación de verano alcanzando temperaturas de hasta 40°C por ende dichas temperaturas hacen que la carpeta asfáltica también trabaje a temperaturas muy altas tendiendo a generar fallas por deformación permanente.

Sin embargo, en la región de la sierra la condición de temperatura y precipitación son distintas ya que se presentan dos estaciones climáticas (otoño e invierno) bien marcadas. También se presentan precipitaciones que son regulares debido al verano y las oscilaciones térmicas varían entre -3°C y 24°C.

En la costa de nuestro Perú se presentan temperaturas máximas y mínimas muy variadas un ejemplo de ello es la capital del país Lima, que tiene temperaturas entre 17°C a 25°C, también presentan precipitaciones muy variadas.

En las figuras 29 y 30 se presenta las variaciones de temperaturas mínimas y máximas en todo el territorio nacional.

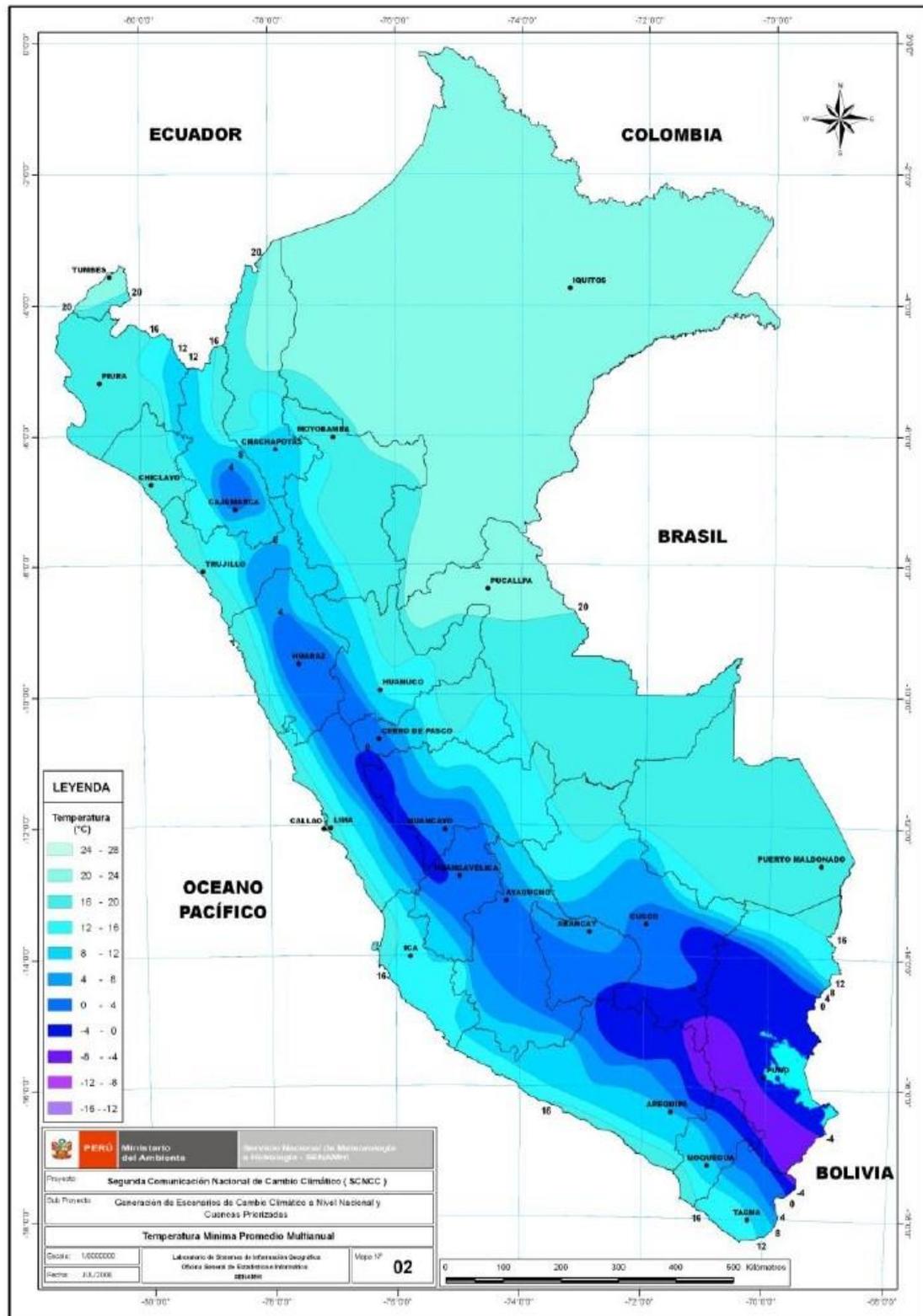


Figura 29. Mapa de temperatura mínima promedio multianual del Perú.
 Fuente: MTC-SENAMHI, 2014

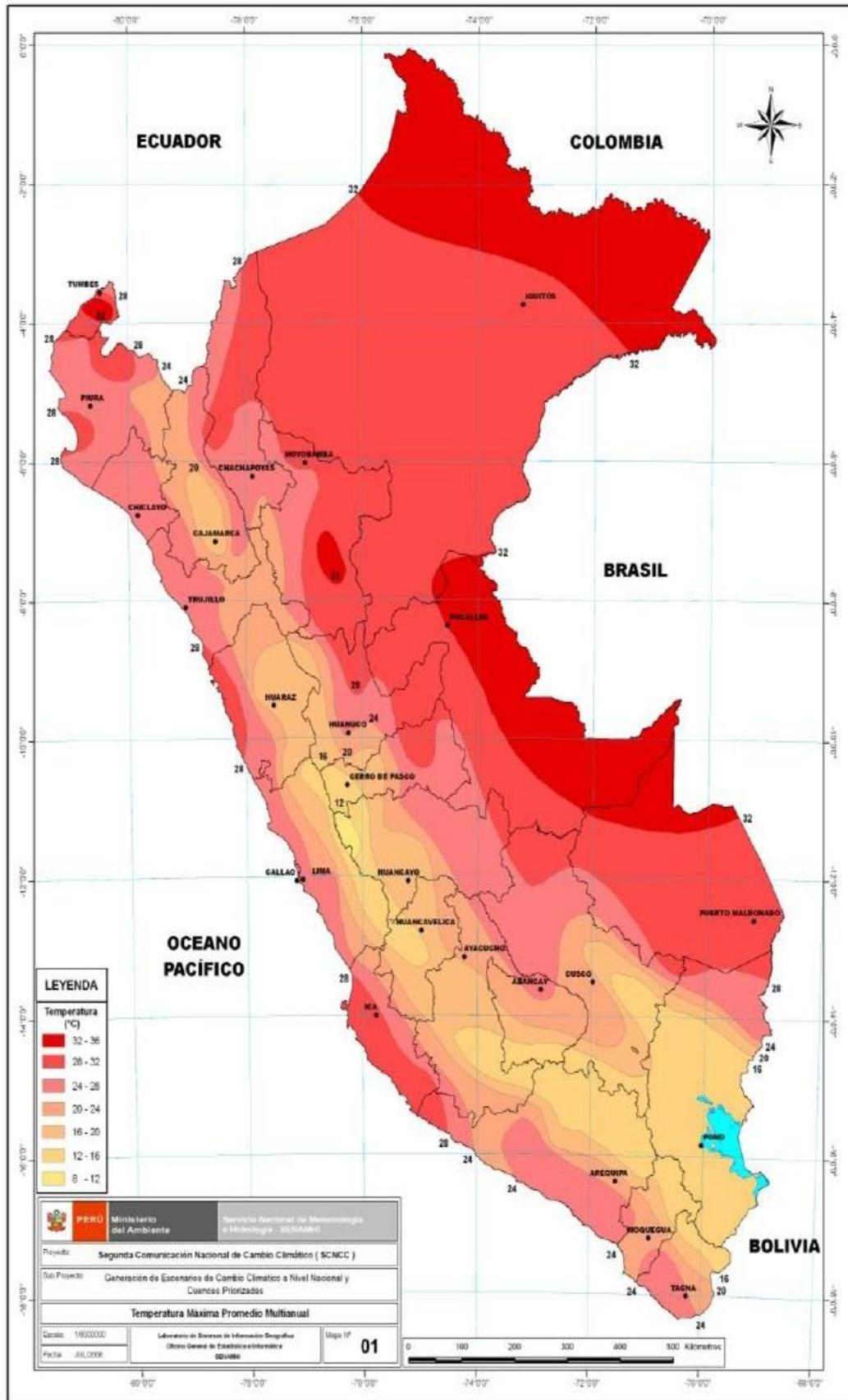


Figura 30. Mapa temperatura máxima promedio Anual de Perú.

Fuente: MTC-SENAMHI, 2014

b) Precipitación

Nuestra costa peruana tiene una característica principal que es la escasa precipitación que anualmente totaliza en promedio 50mm, teniendo como excepción al norte en donde se presenta precipitaciones intensas. En la sierra del Perú la temperatura depende de la altura del lugar y sus precipitaciones se dan de manera suficiente en el verano. La región selva presenta precipitaciones que superan los 1000 mm anuales o llegando en algunos casos hasta 3000 mm y predomina un clima tropical. (Ver figura 31).

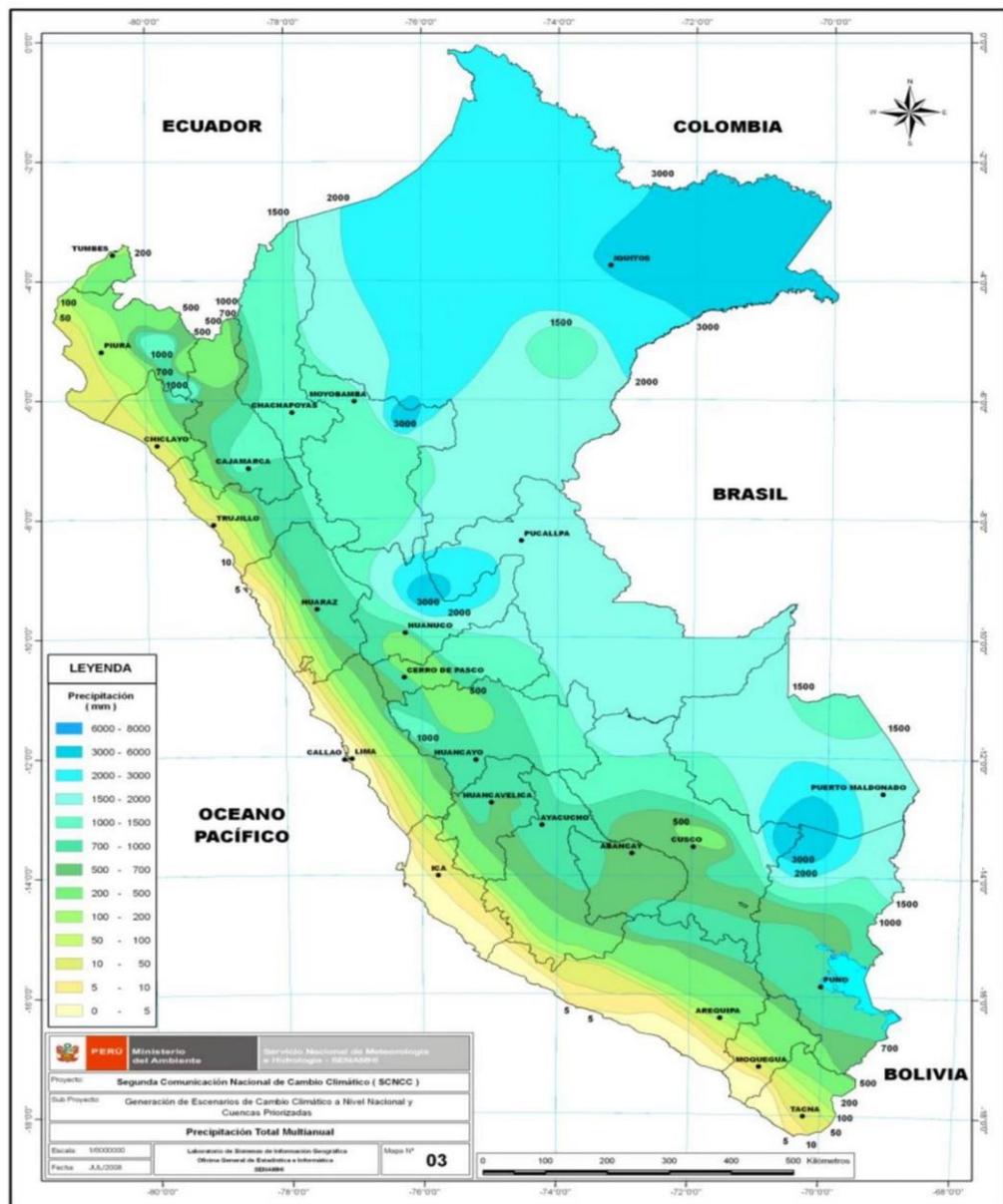


Figura 31. Mapa de Precipitación Total Multianual de Perú.
Fuente: MTC-SENAMHI (2014)

c) Radiación solar

La ubicación del Perú se encuentra en una zona de altitud baja, próxima al Ecuador es por ello por lo que los rayos solares llegan de una manera directa y hacen elevar la temperatura. En el caso de la cordillera de los Andes posee una gran altitud y esto hace que esta actúe como una barrera para impedir el paso de las corrientes de aire que vienen de la Amazonía haciendo que estas se conviertan en lluvias.

En la figura 32 se presenta el mapa temático de radiación anual.

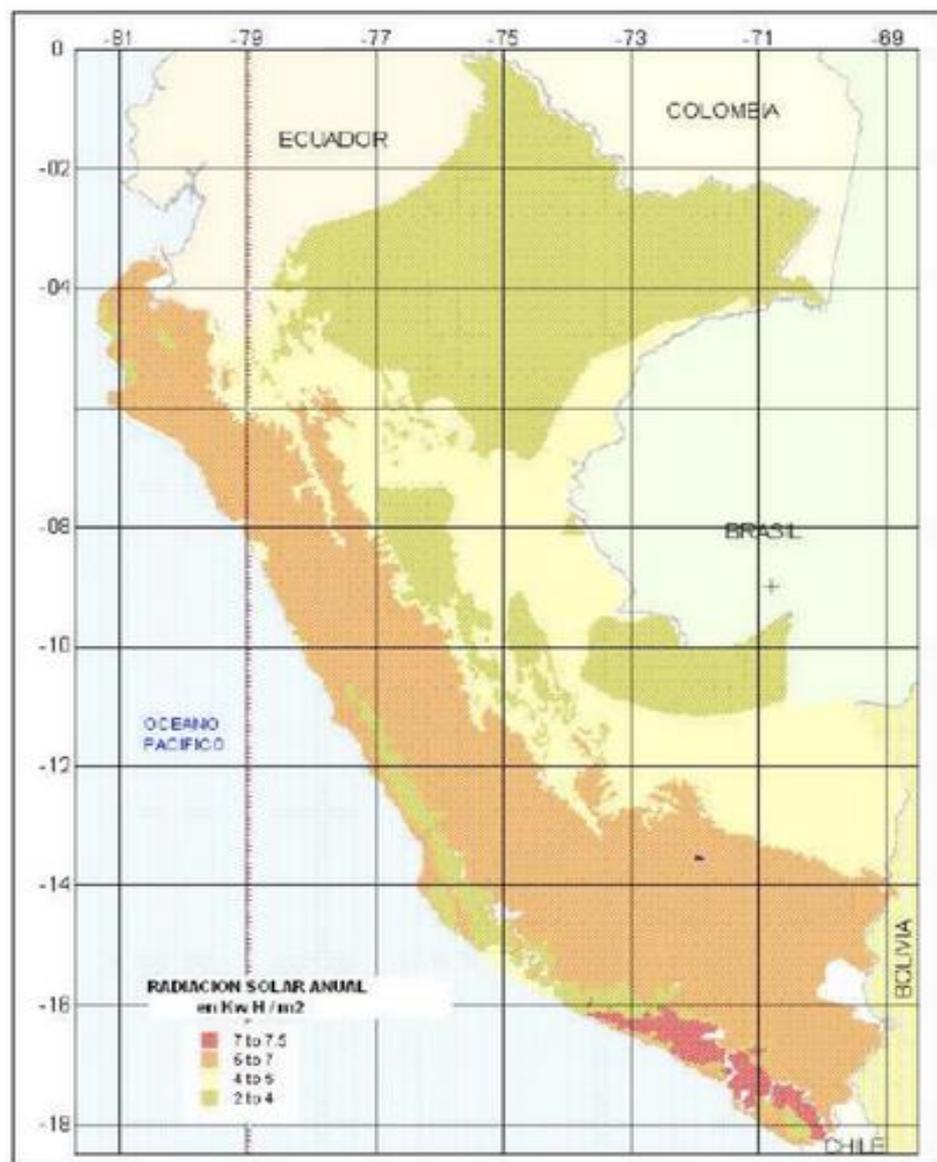


Figura 32. Mapa temático de radiación anual del Perú.
Fuente: Silva (2021)

Los vientos del pacífico sur fríos y secos condensan el vapor de agua sobre el litoral ello hace que formen un techo de nube que ayuda a disminuir la radiación solar. Todos estos y muchos otros factores hacen que nuestro país posea una gran variedad de climas (cálido, tropical y húmedo).

5.2.Presentación de resultados

5.2.1. Propiedades de las mezclas asfálticas afectadas.

Se presentarán cuadros comparativos de las opiniones de distintos autores que describen a aquellas propiedades de las mezclas asfálticas que se ven afectadas por las condiciones meteorológicas.

d) Durabilidad

En la tabla 18 y tabla 19 se presenta las opiniones de distintos autores que describen como las condiciones meteorológicas afectan a la propiedad de la durabilidad de la mezcla asfáltica.

Tabla 18
Cuadro comparativo de la propiedad de la durabilidad (Parte I).

PROPIEDAD: DURABILIDAD				
N°	Autor	Año	Título de investigación	Opinión del autor
1	Paez I.	2001	"Evaluación de mezclas asfálticas en zonas de altura aplicación a la carretera Cusco -Abancay Tramo IV"	En zonas de altura, los pavimentos están expuestos a factores ambientales como temperatura baja, gradiente térmico y la radiación solar, las cuales provocan el deterioro prematuro y acelerado del pavimento por consiguiente afectan su durabilidad.
2	Albeño H. , Molina V. , Reynoza S.	2012	"Susceptibilidad térmica de los pavimentos asfálticos utilizados en El Salvador".	Los cambios de temperatura provoca la disminución de la durabilidad de las capas del paquete asfáltico, siendo esta una de las principales razones que más influyen en el deterioro y de las buenas condiciones de servicio de los pavimentos.
3	Romero I.	2017	"Determinación y evaluación de las patologías de la capa de rodadura del pavimento flexible de la avenida Marcavelica cuadras 01 a la cuadra 09, del distrito de Veintiséis de Octubre, provincia de Piura, región Piura 2017"	Las fallas en los pavimentos flexibles son la consecuencia de varios factores que interactúan de forma compleja como por ejemplo: el diseño inicial, calidad de los materiales, operaciones de construcción, factores climáticos que producen una elevación del nivel freático, inundaciones y lluvias prolongadas.
4	Marcos O, Mendoza J.	2018	El efecto del cambio climático en los pavimentos carreteros.	La presencia de diferentes fenómenos climáticos contribuyen significativamente al deterioro de los pavimentos carreteros. Es por ello que para minimizar los costos del mantenimiento y conservación de los pavimentos, será necesario identificar las variables climáticas que están acelerando su deterioro.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19
Cuadro comparativo de la propiedad de la durabilidad (Parte II).

PROPIEDAD: DURABILIDAD				
N°	Autor	Año	Titulo de investigación	Opinión del autor
5	Anne MK Stoner, Jo Sias Daniel, Jennifer M. Jacobs, Katherine Hayhoe y Ian Scott- Fleming	2019	Cuantificación del impacto del cambio climático en el rendimiento y la vida útil de los pavimentos flexibles en los Estados Unidos	Los pavimentos flexibles están diseñados para funcionar de manera óptima en ciertos rangos de temperatura y condiciones ambientales, y el grado de rendimiento, entre otros factores, determina la durabilidad del pavimento en estas condiciones variables. Por lo tanto, el grado de desempeño del diseño de la mezcla asfáltica depende del clima en el área donde se está construyendo la carretera.
6	Sierra C.	2020	Impacto del envejecimiento en la susceptibilidad al daño por humedad en mezclas asfálticas	La disminución en la durabilidad de las mezclas asfálticas asociada al deterioro por exposición a condiciones ambientales está relacionada con diferentes procesos, entre los más destacados son el envejecimiento por oxidación y el daño por humedad
7	Yanhai Yang,Baitongqian, Qicheng Xu,Ye yang	2020	Regionalización climática del pavimento asfáltico basada en el algoritmo de agrupamiento de K-Means	La infiltración de agua debido a la precipitación es otra causa de daños tempranos en pavimentos asfálticos, El agua penetra primero en la mezcla asfáltica haciendo que la adherencia entre el asfalto y el agregado disminuya provocando que la durabilidad de la mezcla se reduzca y el pavimento se deteriore.
8	Gándara L.	2020	Efecto del cloruro sódico en las propiedades mecánicas, módulos, ciclos hielo-deshielo y durabilidad de las mezclas bituminosas.	La precipitación y la temperatura son los factores meteorológicos más importantes que afectan el estado del pavimento y por ende a las propiedades de la mezcla asfáltica, favoreciendo un repentino y más agresivo proceso de deterioro del pavimento.

Fuente: Elaboración propia

e) Estabilidad

A continuación se presenta las opiniones de autores que describen como las condiciones meteorológicas afecta a la propiedad de la estabilidad de la mezcla asfáltica. (Ver tabla 20)

Tabla 20
Cuadro comparativo de la propiedad de la estabilidad.

PROPIEDAD: ESTABILIDAD				
Nº	Autor	Año	Título de investigación	Opinión del autor
1	Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles	2006	Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras	En zonas de climas cálidos generalmente, la pérdida de estabilidad en la mezcla asfáltica se da por una mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados causando fallas en el pavimento.
2	Ramos C.	2014	Efectos de la temperatura en el módulo resiliente en mezclas asfálticas diseñadas por el método Marshall en la ciudad de Arequipa	Las temperaturas extremas afectan los materiales asfálticos de la carpeta de rodadura, reduciendo la estabilidad. Mediante ensayos realizados a muestras de la carpeta asfáltica sometidas a una temperatura de 70°C la estabilidad disminuye en 11.34%, mientras que al ser sometidas a 75°C la disminución de la estabilidad alcanza 39.70%. Demostrando que la temperatura influye en la estabilidad y debilita a la mezcla asfáltica.
3	López N.	2015	Evaluación del estado de la mezcla asfáltica en servicio de un pavimento rehabilitado que presentó afectaciones de tipo deformación rehabilitado.	En mezclas asfálticas que se encuentran en servicio, se espera que el valor de estabilidad aumente con el tiempo, dado que están sometidas a la acción del tráfico y expuestas a los agentes ambientales, con el consecuente envejecimiento y rigidización del ligante asfáltico. Un valor de estabilidad que resulta inferior durante el periodo de servicio de un pavimento rehabilitado constituye una demostración de problemas de calidad de la mezcla asfáltica colocada.
4	Yanhai Yang, Baitongqian, Qicheng Xu, Ye Yang	2018	Regionalización climática del pavimento asfáltico basada en el algoritmo de agrupamiento de K-Means	Las altas temperaturas, poca precipitación y altos niveles de radiación generan que la estabilidad sea una de las propiedades de la mezcla asfáltica más afectadas evidenciándose fallas en la mezcla.

Fuente: Elaboración propia

f) **Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad**

Se presenta como las condiciones meteorológicas afecta a la propiedad de la resistencia al daño por humedad o impermeabilidad de la mezcla asfáltica. (Ver tabla 21)

Tabla 21

Propiedad resistencia al daño por humedad o impermeabilidad.

PROPIEDAD: RESISTENCIA AL DAÑO POR HUMEDAD O IMPERMEABILIDAD				
Nº	Autor	Año	Título de investigación	Opinión del autor
1	Paez I.	2001	"Evaluación de mezclas asfálticas en zonas de altura aplicación a la carretera Cusco -Abancay Tramo IV"	Las precipitaciones contribuyen a la oxidación del asfalto, al ingresar a los vacíos de la mezcla y liberando el oxígeno. Siendo su mayor efecto en forma combinada con las cargas de tráfico superando a la resistencia al daño por impermeabilidad, debido a que el agua alojada en las fisuras del pavimento, por efecto de la presión de los neumáticos, genera una presión de poros que gradualmente destruye el pavimento asfáltico.
2	Ramos C.	2014	"Efectos de la temperatura en el módulo resiliente en mezclas asfálticas diseñadas por el método Marshall en la ciudad de Arequipa"	La humedad, otra variable fundamental que afecta la estructura del asfalto introduciendo partículas de agua, produciendo un factor erosivo que afecta de 20 a 50 veces el deterioro de la capa siendo un factor peligroso para las mezclas asfálticas y en su deterioro del pavimento.
3	Arellano I., Cáceres C.	2018	"Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente a más de 3000 msnm para el proyecto carretera desvío Imperial-Pampas"	Un alto porcentaje de vacíos sería desfavorable para un pavimento a más de 3000 msnm ya que esto genera envejecimiento prematuro de la carpeta seguido de agrietamiento o desintegración de la misma. Así mismo, el agua y aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
4	Yanhai Yang, Baitongqian, Qicheng Xu, Ye Yang	2020	"Regionalización climática del pavimento asfáltico basada en el algoritmo de agrupamiento de K-Means"	La infiltración de agua debido a la precipitación es otra causa de daños tempranos en pavimentos asfálticos, el agua penetra primero en la mezcla asfáltica haciendo que la adherencia entre el asfalto y el agregado disminuya.
5	Cobo L.	2020	"Isla de calor por la incidencia de los fenómenos de transferencia en pavimentos flexibles en la ciudad de Riobamba"	El fenómeno de daño por humedad provoca una disminución de la resistencia de las mezclas asfálticas, lo cual puede llevar al fallo del material, reduciendo así su vida de servicio. Para que exista daño por humedad, el agua debe llegar hasta el interior de la mezcla.
6	Silva J., Sosa E.	2021	"Determinación de espectros térmicos y condiciones de humedad en mezclas asfálticas abiertas y cerradas, mediante sensores y control operativo con software de asistencia remota."	Hay que considerar que la exposición del ligante al oxígeno y la presencia de agua provocan el envejecimiento por oxidación que aumenta la rigidez y la disminución de la tenacidad de las mezclas asfálticas lo que conduce al aumento de la fragilidad lo que aumenta la formación de grietas

Fuente: Elaboración propia.

g) Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas

En la tabla 22 se muestran a distintos autores que dan su opinion de como la propiedad al fracturamiento por bajas temperaturas se ve afectado por las condiciones meteorologicas.

Tabla 22
Propiedad resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas.

PROPIEDAD: RESISTENCIA AL FRACTURAMIENTO POR BAJAS TEMPERATURAS				
N°	Autor	Año	Titulo de investigación	Opinión del autor
1	Garnica P, Flores M, Gómez J, Delgado H	2005	Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas	El fracturamiento por baja temperatura se atribuye a la deformación por tensión inducida en la mezcla asfáltica, a medida que la temperatura desciende hasta un nivel crítico. El agrietamiento por baja temperatura es un deterioro, debido más a condiciones adversas del medio ambiente que a las aplicaciones de carga. De esta manera, las fisuras por baja temperatura ocurren principalmente por efecto acumulativo de varios ciclos climáticos fríos
2	Goetendia F, Perez V.	2015	Influencia de la temperatura en el deterioro de la ,carpeta asfáltica en la carretera nacional tramo: Rumichaca - los libertadores (Huaytará) (PE-28A)	El agrietamiento térmico se debe a los cambios de volumen en la mezcla asfáltica debido a los altos gradientes de temperatura que ocasiona esfuerzos de tensión y deformaciones que se traducen en grietas produciendo una distorsión permanente en la superficie del pavimento a ellos se debe añadir el efecto de ingreso de precipitaciones donde la actuación combinada incide en el deterioro prematuro y acelerado del pavimento.
3	Yanhai Yang,Baitongqian, Qicheng Xu,Ye Yang	2020	Regionalización climática del pavimento asfáltico basada en el algoritmo de agrupamiento de K-Means	Las altas temperaturas, bajas temperaturas y precipitaciones generan agrietamientos en el pavimento. Por lo que se recomienda mejorar la resistencia al agrietamiento por baja temperatura de las mezclas asfálticas y prevenir la aparición de estas.
4	Cobo L.	2020	Isla de calor por la incidencia de los fenómenos de transferencia en pavimentos flexibles en la ciudad de Riobamba	Cuando los esfuerzos producidos por los ciclos de expansión y contracción por variaciones de temperatura son mayores a la resistencia por fracturamiento a bajas temperaturas, generan un tipo de agrietamiento que se conocen como fisuras térmicas. El agrietamiento por temperatura se manifiesta con fisuras transversales al eje de la vía, que con el tiempo evolucionan a fisuras en bloque.

Fuente: Elaboración propia.

h) Resistencia al deslizamiento

Se muestran a distintos autores que dan su opinion de como la propiedad resistencia al deslizamiento se ve afectado por las condiciones meteorologicas (Ver tabla 23)

Tabla 23
Propiedad resistencia al deslizamiento.

PROPIEDAD: RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO				
Nº	Autor	Año	Titulo de investigación	Opinión del autor
1	Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles	2006	Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras	La exudación este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento de ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante resbaladiza y usualmente pegajosa es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia del deslizamiento las causas de esta falla se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacios con aire de la mezcla sea bajo sucede especialmente durante épocas en zonas calurosas.
2	Marcos O.,Mendoza J.	2018	El efecto del cambio climático en los pavimentos carreteros.	La resistencia al deslizamiento está en la textura de la superficie del pavimento, la cual es alterada por la temperatura y las precipitaciones intensas. La capa de rodadura de la superficie depende del tránsito y del tipo de agregado, sin embargo, las altas temperaturas expanden la carpeta asfáltica disminuyendo la resistencia al deslizamiento. Las altas temperaturas reducen la resistencia de la mezcla asfáltica haciéndola más deformable.

Fuente: Elaboración propia

5.3.Fallas que se ocasionan debido a las condiciones meteorológicas

Se muestra los resultados obtenidos acerca de las fallas encontradas en toda la vía del pavimento flexible ubicada en el distrito de Trujillo la cual se estudió a la Av. Prolongación Unión que tiene una longitud de 1.3 kilómetros.

A continuación, en la figura 33 las siguientes fallas más comunes que se evidenciaron.

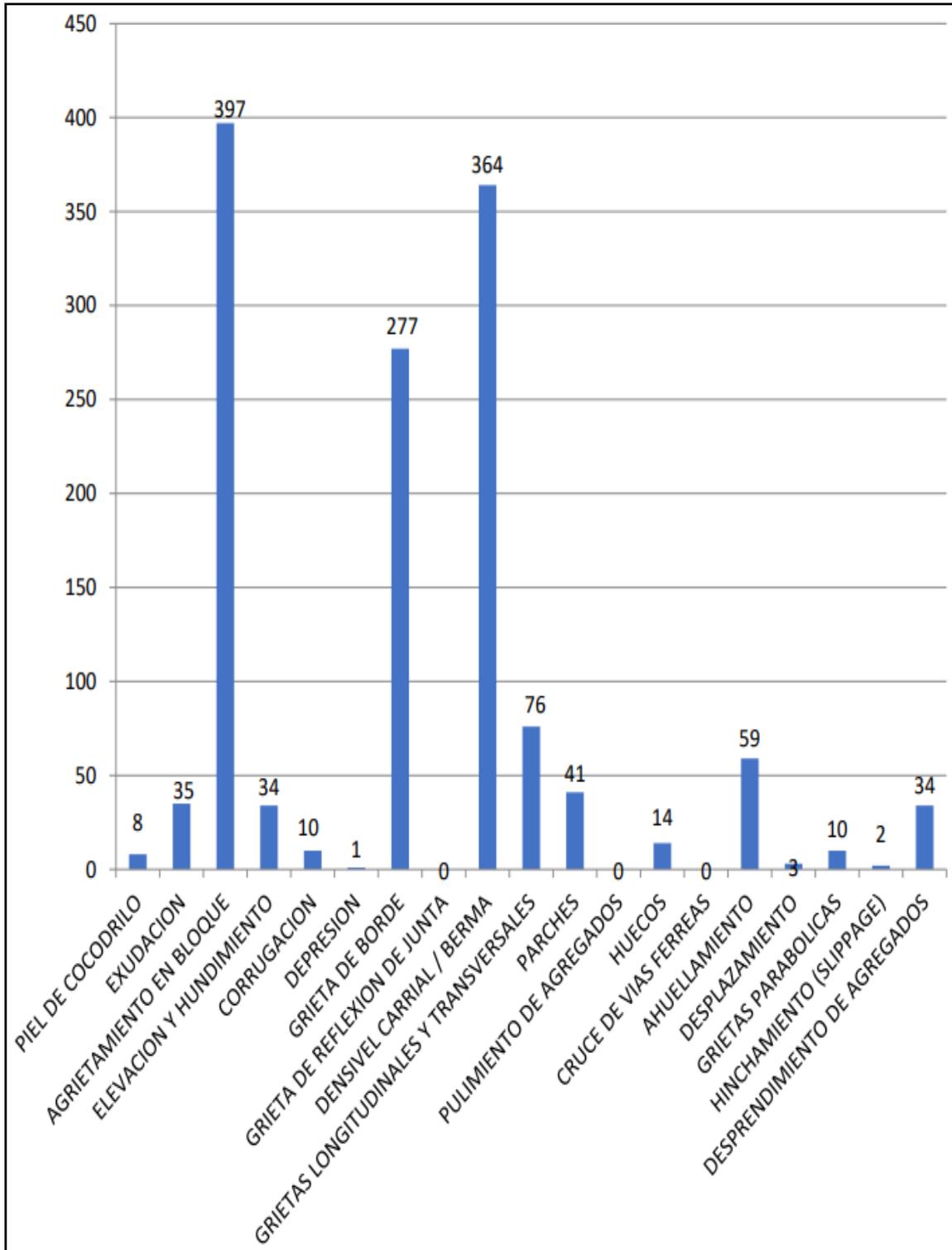


Figura 33. Fallas encontradas en la Av. Prolongación Unión-Trujillo
Fuente: Sac, Sac (2019).

Por otro lado, en base a los puntos principales discutidos a lo largo de este tema de investigación, en las carreteras asfaltadas que se encuentran en las zonas selváticas las cuales presentan características de altas temperaturas, presentan fallas como deformación, y ahuellamiento, sin embargo, existe otra falla que se considera típica de esta zona por la frecuencia de su ocurrencia la cual es la falla por exudación (Meza & Palomino, 2021).



Figura 34. Exudación y ahuellamiento fallas comunes en la zona selva
Fuente: Meza, Palomino (2021)

En la siguiente tabla 24 se puede ver el caso de 5 carreteras, que cumplen con las variables en la que se basa esta investigación.

Tabla 24

Fallas que se evidencian en pavimentos asfálticos de la zona selva del Perú

CARRETERA	UBICACIÓN	FALLAS SUPERFICIALES	CAUSAS	CARACTERÍSTICAS
Corral Quemado - Chachapoyas	Amazonas	Ahuellamiento y fisura	Fallas geológicas y factores climáticos	Altitud: 26 msnm
				Clima: cálido y lluvioso
				Temperatura: 28 ° C
Tramo 5 - Emp-PE35 Concepción-Comas-Satipo	Satipo	Ahuellamiento severo	Factores climáticos (alta temperatura)- tránsito pesado	Altitud: 628 msnm
				Clima: tropical
				Temperatura: 23 ° C
Carretera Huánuco – Tingo María	Tingo María	Ahuellamiento moderado	Tránsito pesado	Altitud: 64 msnm
				Clima: cálido y tropical
				Temperatura: 26 ° C
Corredor 16 tramo 2 Iquitos - Nauta	Iquitos	Ahuellamiento, exudación y fisura	factores climáticos (alta temperatura)	Altitud: 105 msnm
				Clima: cálido y lluvioso
				Temperatura: 34 ° C
Tramo 6 Carretera Paita - Piura y Piura - Olmos	Piura - Lambayeque	Ahuellamiento moderado y severo	Factores climáticos (alta temperatura)	Altitud: 35msnm
				Clima: tropical
				Temperatura: 30 ° C

Fuente: Meza, Palomino (2021)

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, presentando las fallas principales correspondientes a tres tramos analizados del pavimento flexible de la vía Nasca-Cusco. El primer tramo (Tramo 1) corresponde al distrito de Puquio, segundo tramo (Tramo 2) al distrito Abancay y por último tenemos al tercer tramo (Tramo 3) que pertenece al distrito Cusco (Ver Figura 35 y Figura 36)

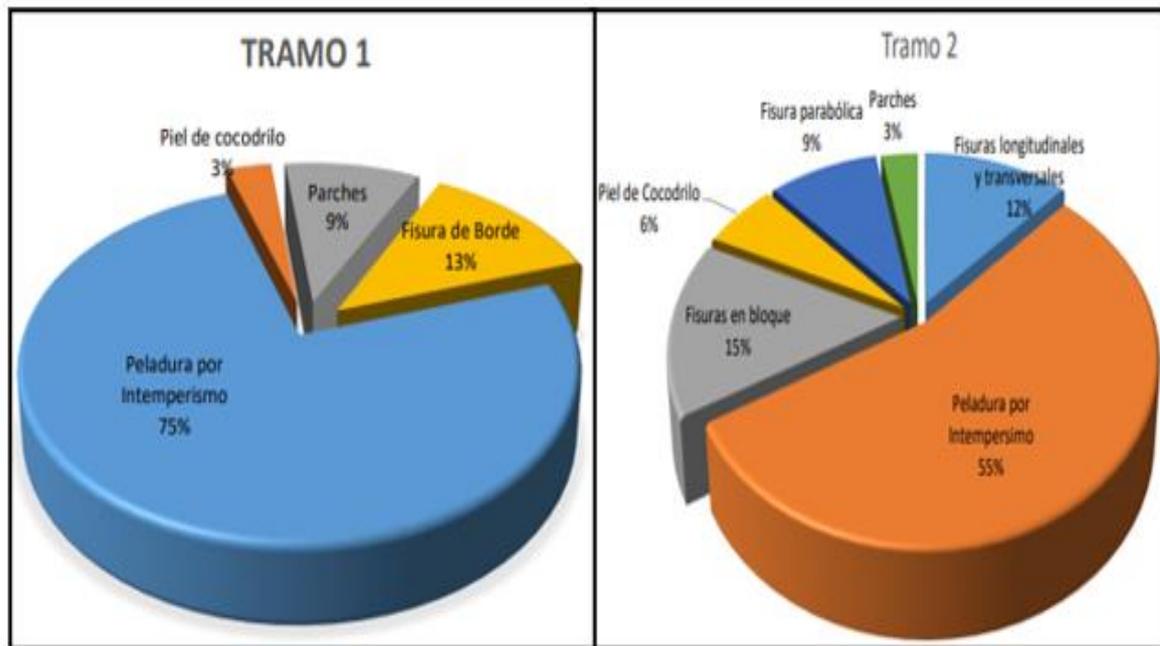


Figura 35. Tramo 1-Puquio y Tramo 2-Abancay, porcentaje de fallas presentadas.
Fuente: Leva (2020).

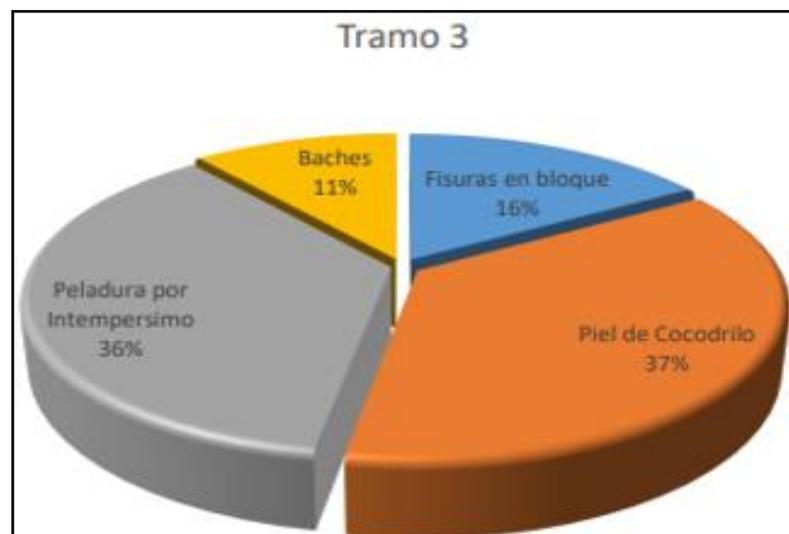


Figura 36. Tramo 3- Cusco, porcentaje de fallas más presentadas.
Fuente: Leva, (2020).

Noruega (2021) presento un prototipo de modelo climático para el diseño de pavimentos flexibles, en la ciudad de Arequipa; se analizó el proyecto Virgen de Chapi en el distrito de Cerro Colorado donde se estimó la influencia de los factores climáticos en este estudio.

En la Tabla 25 tenemos a los parámetros climáticos humedad y precipitación

Tabla 25
Influencia de los parámetros climáticos humedad y precipitación.

Parámetro climático	Parámetros de análisis	Desempeño – Diseño final	Sin P. Climático	Influencia (%)
Humedad relativa	IRI Final in/mi (m/km)	172.96 (2.77)	172.96 (2.77)	0.00%
	Agrietamiento longitudinal ft/mi (m/km)	566.17 (107.57)	566.17 (107.57)	0.00%
	Agrietamiento por fatiga (%)	16.5	16.32	-1.09%
	Agrietamiento transversal ft/mi (m/km)	14.6 (2.77)	14.6 (2.77)	0.00%
	Deformación permanente in (mm)	0.5643 (14.33)	0.5639 (14.32)	-0.07%
	Deformación permanente capa asfáltica in (mm)	0.1236 (3.14)	0.1235 (3.14)	-0.08%
Precipitación	IRI Final in/mi (m/km)	172.96 (2.77)	172.96 (2.77)	0.00%
	Agrietamiento longitudinal ft/mi (m/km)	566.17 (107.57)	566.17 (107.57)	0.00%
	Agrietamiento por fatiga (%)	16.5	16.02	-2.91%
	Agrietamiento transversal ft/mi (m/km)	14.6 (2.77)	14.6 (2.77)	0.00%
	Deformación permanente in (mm)	0.5643 (14.33)	0.5598 (14.22)	-0.80%
	Deformación permanente capa asfáltica in (mm)	0.1236 (3.14)	0.1234 (3.13)	-0.16%

Fuente: Noruega (2021)

En la siguiente tenemos a los parámetros climáticos temperatura y la velocidad del viento. (Ver Tabla 26).

Tabla 26
Influencia de la temperatura y velocidad de viento en el proyecto.

Temperatura	IRI Final in/mi (m/km)	172.96 (2.77)	168.43 (2.69)	-2.62%
	Agrietamiento longitudinal ft/mi (m/km)	566.17 (107.57)	356.46 (67.73)	-37.04%
	Agrietamiento por fatiga (%)	16.5	10.63	-35.58%
	Agrietamiento transversal ft/mi (m/km)	14.6 (2.77)	14.6 (2.77)	0.00%
	Deformación permanente in (mm)	0.5643 (14.33)	0.5086 (12.92)	-9.87%
	Deformación permanente capa asfáltica in (mm)	0.1236 (3.14)	0.0946 (2.40)	-23.46%
Velocidad del viento	IRI Final in/mi (m/km)	172.96 (2.77)	173.46 (2.78)	0.29%
	Agrietamiento longitudinal ft/mi (m/km)	566.17 (107.57)	784.46 (149.05)	38.91%
	Agrietamiento por fatiga (%)	16.5	24.63	49.27%
	Agrietamiento transversal ft/mi (m/km)	14.6 (2.77)	14.6 (2.77)	0.00%
	Deformación permanente in (mm)	0.5643 (14.33)	0.8632 (21.93)	52.97%
	Deformación permanente capa asfáltica in (mm)	0.1236 (3.14)	0.1586 (4.03)	28.32%

Fuente: Noruega (2021)

En la tabla 27 se encuentran los parámetros climáticos radiación solar y porcentaje de día claro.

Tabla 27
Influencia de los parámetros climáticos en el proyecto.

Radiación solar	IRI Final in/mi (m/km)	172.96 (2.77)	170.96 (2.74)	-1.16%
	Agrietamiento longitudinal ft/mi (m/km)	566.17 (107.57)	498.63 (94.74)	-11.93%
	Agrietamiento por fatiga (%)	16.5	13.98	-15.27%
	Agrietamiento transversal ft/mi (m/km)	14.6 (2.77)	14.6 (2.77)	0.00%
	Deformación permanente in (mm)	0.5643 (14.33)	0.5249 (13.33)	-6.98%
	Deformación permanente capa asfáltica in (mm)	0.1236 (3.14)	0.1069 (2.72)	-13.51%
Porcentaje de día claro.	IRI Final in/mi (m/km)	172.96 (2.77)	170.63 (2.73)	-1.35%
	Agrietamiento longitudinal ft/mi (m/km)	566.17 (107.57)	482.17 (91.61)	-14.84%
	Agrietamiento por fatiga (%)	16.5	14.63	-11.33%
	Agrietamiento transversal ft/mi (m/km)	14.6 (2.77)	14.6 (2.77)	0.00%
	Deformación permanente in (mm)	0.5643 (14.33)	0.4036 (10.25)	-28.48%
	Deformación permanente capa asfáltica in (mm)	0.1236 (3.14)	0.1123 (2.85)	-9.14%

Fuente: Noruega (2021)

Los parámetros climáticos que se tomaran en cuenta de estos resultados presentados de las tablas anteriormente y que están relacionados con nuestros indicadores son: temperatura, precipitación, humedad y radiación solar.

A continuación, se presentan las fallas que se ocasionan debido a las condiciones meteorológicas.

a) Fisura por contracción térmica

Para Higuera (2016) afirma que “los cambios de temperatura ocasionan modificaciones sustanciales en los módulos de elasticidad de las capas asfálticas, originando deformaciones o agrietamiento” y que “el agrietamiento longitudinal se da en la base y en la subbase y con regularidad en la subrasante, el fenómeno se da por congelamiento, deshielo o por cambios volumétricos en la variación de agua en la subrasante” (p.60). (Ver figura 37)



Figura 37. Fisura por contracción térmica de un pavimento asfáltico.
Fuente: Huamán (2009)

b) Exudación asfáltica

La exudación ocurre en periodos o zonas calurosas o, cuando el asfalto llena el porcentaje de vacíos y luego sube a la superficie del pavimento haciendo que esta adquiera un aspecto brillante, con una textura resbaladiza en donde la mayoría resulta ser pegajosa en estas temperaturas altas. Debido a que el proceso de exudación no es reversible durante el tiempo frío, el asfalto queda acumulado en la superficie. (Ver Figura 38)



Figura 38. Exudación del asfalto
Fuente: Romero (2017)

c) Fisuras longitudinales y transversales.

“Una de las causas por la que se llega a presentar este tipo de fallas es por la rigidez de la mezcla asfáltica o envejecimiento del asfalto, ante bajas temperaturas o gradientes térmicos superiores a 30°C” (Higuera ,2016, p.23).



Figura 39. Fisuración longitudinal y transversal.
Fuente: Juli (2020)

Se puede visualizar en la figura 40, el nivel de severidad en la que se encuentra el pavimento, en la primera imagen se encuentra en un nivel bajo, en la imagen del centro se encuentra a un nivel medio y la última imagen a un nivel alto.

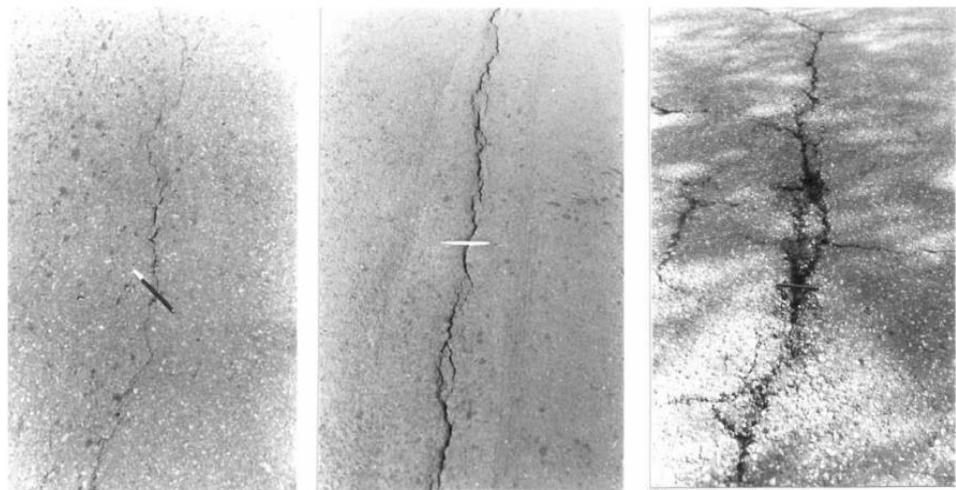


Figura 40. Fisuración longitudinal y transversal.
Fuente: Juli (2020)

d) Ondulación

“Es una deformación plástica de la carpeta asfáltica debido a una pérdida de estabilidad en la mezcla en climas cálidos por la dosificación de asfalto deficiente, el uso de agregados redondeados o ligantes blandos” (Silva & Sosa, 2021). Ver figura 41.



Figura 41. Ondulación del pavimento asfáltico.

Fuente: “Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles” (2006)

e) Hinchamiento

Según Juli (2020) refiere que el suelo debajo de las capas de mezcla asfáltica se puede saturar con el agua que procede del deshielo. Esta saturación de agua debilita la capacidad de soporte que genera la aparición de hundimientos que se ven reflejados en deformaciones en las capas superficiales del pavimento. (Ver figura 42)



Figura 42. Hinchamiento por deshielo

Fuente: (Juli ,2020).

f) Fisuras en bloque

La fisuras y grietas en bloque aparecen usualmente en áreas que no están sometidas a cargas por lo que es causada principalmente por la contracción de la carpeta asfáltica debido a la variación de la temperatura durante el día. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona.



Figura 43. Fisura en bloque debido a la variación de temperatura.
Fuente: MTC Colombia (20169)

g) Desprendimientos

La exposición a una radiación solar intensa y prolongada favorece la oxidación del ligante y el descubrimiento de los agregados. El agua de la lluvia puede saturar la superficie del pavimento y combinada con la presión de las ruedas de los vehículos produce esta falla como se puede visualizar en la figura 44.



Figura 44. Desprendimiento con severidad alta.
Fuente: MOPC (2016)

5.4. Análisis de resultados

5.4.1. Resultados con los objetivos planteados

En esta parte se va a explicar o detallar los resultados obtenidos en la etapa de presentación de resultados.

De la tabla 18 y tabla 19, se obtiene que la durabilidad es una propiedad de la mezcla asfáltica en la cual las condiciones meteorológicas influyen sobre ellas, siendo el más relevante el cambio de temperatura y la precipitación, provocando el deterioro prematuro para el cual han sido diseñada.

Según la tabla 20 podemos decir que la estabilidad se reduce debido a que el material asfáltico de la carpeta de rodadura se ve afectado por altas y bajas temperaturas, así como también por la radiación solar evidenciándose fallas en el pavimento asfáltico.

Con la tabla 21 se concluye que la impermeabilidad de las mezclas asfálticas es fundamental para evitar la oxidación y su envejecimiento prematuro, sin esta propiedad las altas precipitaciones ocasionan que el agua se infiltre en el asfalto haciendo que estas puedan congelarse y/o expandirse, aumentando la presión en los poros, modificando el contenido de vacíos provocando que evidencien fallas en el pavimento asfáltico

De la tabla 22 se concluye que las bajas temperaturas generan agrietamientos en el pavimento causando su deterioro. El agrietamiento a baja temperatura es el principal problema que causa la degradación de los materiales de las mezclas asfálticas y por consiguiente la falla del pavimento asfáltico.

Según Sac & Sac (2020) con los resultados obtenidos nos muestran que el pavimento asfáltico estudiado, las fallas más comunes que se presentan es el agrietamiento en bloque, el desnivel de berna, grietas de borde y grietas longitudinales y transversales, sin embargo, solo rescataremos a las fallas que se han visto influenciadas con los factores climáticos en esta zona, las cuales serían agrietamiento en bloque, grietas longitudinales y transversales, hinchamiento y exudación. (Ver Figura 33).

Con la tabla 24 se determina que los tipos de fallas más comunes en esta zona son ahuellamiento y exudación que se han visto afectados por los factores climáticos.

De acuerdo con la figura 35, se identifica en el tramo 1 a la falla por peladura por intemperismo en un mayor porcentaje, mientras que para el tramo 2 estas mismas fallas tuvieron mayor porcentaje seguido de las fisuras en bloque y de las fisuras longitudinales y transversales. La figura 36 nos muestra los porcentajes de fallas más presentes en el tramo 3, teniendo a la peladura por intemperismo y a las fisuras en bloque. Las fallas mencionadas anteriormente tienen relación con factores que perjudican a las propiedades de las mezclas asfálticas y por consiguiente a todo el pavimento.

Según Noruega (2021) en el proyecto Virgen de Chapi la temperatura muestra gran influencia en su desempeño evidenciándose la falla por agrietamiento longitudinal debido a los cambios bruscos de temperatura que ocurre en esta ciudad. Con respecto al factor viento tuvo una influencia muy importante en el agrietamiento longitudinal y en la falla de la deformación permanente. La radiación solar tuvo influencia parecida a la temperatura solo que un poco menor (Ver Tabla 25,26 y 27).

5.5. Contratación de hipótesis

Al haber concluido con el desarrollo de esta investigación de como las condiciones meteorológicas afectan las propiedades de las mezclas asfálticas se puede realizar la verificación de las hipótesis específicas

5.5.1. Hipótesis específica 1

Hipótesis secundaria 1: “Estudiando las condiciones meteorológicas se estable como afectan las propiedades de las mezclas asfálticas.”

Para la contratación de hipótesis se plantea

- Hipótesis Alternativa (Hi1): Estudiando las condiciones meteorológicas se estable como afectan las propiedades de las mezclas asfálticas
- Hipótesis nula (H01): Estudiando las condiciones meteorológicas no se estable como afectan las propiedades de las mezclas asfálticas

Luego de analizar los resultados, se puede visualizar que las propiedades de las mezclas asfálticas como: la estabilidad, impermeabilidad, resistencia al fracturamiento son propiedades importantes debido a que estas deben soportar los cambios de temperatura y las precipitaciones, para garantizar que por estas condiciones genere el deterioro prematuro del pavimento asfáltico. (Ver tabla 21,22 y 23).

Huamán (2016) menciona que las altas temperaturas nos pueden generar exudación que es cuando el asfalto aflora en la parte superior de la carpeta asfáltica por eso es importante tener en cuenta la zona donde se pondrá en servicio el pavimento, utilizando asfalto adecuado para dichas zonas y así aseguremos la durabilidad en los pavimentos asfálticos.

De acuerdo con lo investigado las condiciones meteorológicas es una de las causas principales por las que sus propiedades de las mezclas asfálticas se ven afectadas; por lo tanto, se rechaza la hipótesis H01 y se acepta la hipótesis alterna Hi1.

5.5.2. Hipótesis específica 2

Hipótesis secundaria 2: “Determinando las condiciones meteorológicas se establece las fallas en las mezclas asfálticas”

Para la contrastación de hipótesis se plantea

- Hipótesis Alterna (Hi2): Determinando las condiciones meteorológicas se establece las fallas en las mezclas asfálticas
- Hipótesis Nula (H02): Determinando las condiciones meteorológicas no se establece las fallas en las mezclas asfálticas.

Según Leva (2020) nos indica que las fisuras y grietas en bloque generalmente se ven afectadas principalmente por los cambios de temperatura durante el día. La existencia de tales grietas es indicativa a que el asfalto debido a que se ha envejecido la mezcla asfáltica o también debido al tipo de asfalto que no es adecuado para el clima de la zona.

De los resultados mostrados en la figura 24 y 25 se puede observar que las fallas que se presentan en estos tres tramos del pavimento analizado y que tienen relación con nuestras variables, son las fisuras longitudinales y transversales en un porcentaje menor, las fisuras en bloque que es la segunda falla más importante y por último se encuentra a la falla por peladura por intemperismo que es la que presenta mayor porcentaje y se encuentra en los tres tramos analizados.

Los resultados presentados sobre las fallas que se muestran en los pavimentos asfálticos debido a las condiciones meteorológicas anteriormente nos indican que las fisuras y grietas en bloque aparecen usualmente en áreas que no están sometidas a cargas por lo que es causada principalmente por la contracción de la carpeta asfáltica debido a la variación de la temperatura durante el día. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inapropiado para el clima de la zona. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_{02} , y se acepta la hipótesis alterna H_{i2} .

CONCLUSIONES

1. De acuerdo con lo establecido existen condiciones meteorológicas que deterioran prematuramente los pavimentos asfálticos, tales como: clima, temperatura, radiación solar, humedad, lluvias, oxígeno entre otras.
2. Las propiedades de las mezclas asfálticas que más se ven afectadas por las condiciones meteorológicas son: la estabilidad, durabilidad, resistencia al daño por impermeabilidad y resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas.
3. Como resultado de la investigación realizada, se concluye que las condiciones meteorológicas del medio ambiente tienen influencia dañina en el comportamiento de las mezclas asfálticas, originando deterioros prematuros y consecuentes daños principalmente en la carpeta de rodadura que también inciden en la durabilidad del pavimento asfáltico, generando deterioro de estos tales como: fisura por contracción térmica, exudación, ondulación, hinchamiento, desprendimiento de agregados, entre otras.

RECOMENDACIONES

1. Cuando se realicen construcciones de pavimentos asfálticos en zonas donde existen bajas temperaturas, se recomienda no utilizar las mezclas asfálticas convencionales porque con este tipo de condiciones climáticas la carpeta de rodadura del pavimento se pone rígida y frágil haciendo que se fisure o agriete conociéndose a este tipo de efecto como fisura por contracción térmica. Para evitar este deterioro en la carpeta asfáltica se recomienda el uso de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, los mismos que flexibilizan a la carpeta evitando el deterioro de esta.
2. Como nuestro país está conformado por 8 regiones naturales todas ellas tienen características climáticas distintas, presentando diferentes temperaturas y humedades. El estudio de las condiciones climáticas es necesario tomarlo en consideración para los problemas que presenten a fin de utilizar soluciones como los asfaltos modificados, drenajes adecuados y el mejoramiento del suelo de fundación de la zona de trabajo para poder evitar los posibles deterioros al pavimento.
3. Se recomienda tener en consideración la recolección de datos referente a las condiciones meteorológicas durante la evaluación situacional de nuestras carreteras para evidenciar las condiciones reales en las cuales estas se encuentran. Debido a que, durante esta investigación, se ha evidenciado el deterioro prematuro de las carreteras al no haberse considerado los distintos efectos de dichas condiciones en su diseño, generándose sobre costos por servicios de mantenimiento y/o rehabilitación.
4. Se recomienda la instalación de estaciones meteorológicas en toda la extensión del territorio peruano a fin de poder obtener la información necesaria para el mejor diseño de las mezclas asfálticas.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, A., & Infanzón, R. (2020). *vechamiento de material de pavimento asfáltico envejecido para reciclaje en caliente y reutilización en mezcla asfáltica en caliente*. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Perú.
- Albeño, H., Molina, V., & Reynoza, S. (2012). *Susceptibilidad termica de los pavimentos asfálticos utilizados en El Salvador*. Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Arellano, L., & Caceres, C. (2018). *Importancia de la evaluación a las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente a más de 3000 msnm para el proyecto carretera desvío Imperial-Pampas*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima, Perú.
- Arenas, H. (2006). *Tecnología del cemento asfáltico*. (5 ed)., Colombia: Faid Editores.
- Balarezo, F., & Tenaka, R. (2022). *ANÁLISIS DEL USO DE RESIDUOS PLÁSTICOS RECICLADOS EN LA ESTABILIDAD, DURABILIDAD E IMPERMEABILIDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA*. Tesis de pregrado, Universidad Privada Del Norte, Lima,Perú.
- Bejarano, J., & Caicedo, C. (2017). *ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO FISICO-MECANICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA TIPO MDC.19 CON FIBRA NATURAL DE CAÑA DE AZUCAR*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Colombia.
- Betancourt, F. (2018). *Evaluación de los cambios químicos que experimenta el asfalto durante el proceso de envejecimiento a corto plazo y su relación con algunas propiedades físico-mecánicas*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,Colombia.
- Bolaños, J. (2015). *Identificación, diagnóstico y remediación de las patologías del pavimento flexible del Jr. Amalia Puga y la Av. de los Héroes - ciudad de Cajamarca - departamento de Cajamarca*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Carahuatay, R. (2015). *Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera San Miguel-Pablo,Tramo San Miguel-Sunuden;mediante el análisis deflectométrico*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca,Perú.

- Casanova, W. (2017). *Determinación de una metodología para caracterizar asfaltos modificados con polímero usado en pavimentos flexibles*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Clemente, P. (2019). *Influencia de los factores climáticos en el comportamiento estructural de pavimentos flexibles en el Distrito de Chilca*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Cobo, L. (2020). *Isla de calor por la incidencia de los fenómenos de transferencia en pavimentos flexibles en la ciudad de Riobamba*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador.
- Conza, D. (2016). *Evaluación de las fallas de la carpeta asfáltica mediante el método PCI en la Av. Circunvalación Oeste de Juliaca*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión, Perú.
- Gándara, L. (2020). *Efecto del cloruro sódico en las propiedades mecánicas, módulos, ciclos hielo-deshielo y durabilidad de las mezclas bituminosas*. Tesis doctoral, Universidad de Cantabria, España.
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). *Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas*. Secretaría de Comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Geotendia, J., & Perez, V. (2015). *Influencia de la temperatura en el deterioro de la Carpeta Asfáltica en la carretera nacional tramo: Rumichaca-Los Libertadores (Huaytará) (PE-28)*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.
- Granados, J. (2017). *Comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica en caliente modificada con caucho mediante proceso por vía seca respecto a la mezcla asfáltica convencional*. Tesis de maestría, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Guerrero, E. (2019). *Influencia de la temperatura y el tiempo de mezclado en la modificación de un cemento asfáltico*. Tesis de maestría, Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia.
- Higuera, M. (2016). *Comparativa patológica de pavimentos flexibles en climas extremos y la toma de decisiones asociadas*. Tesis de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

- Hiliquín, M. (2016). *Evaluación del Estado de Conservación del Pavimento, utilizando el método PCI, en la Av. Jorge Chavez del distrito de Pocollay en el año 2016*. Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna, Perú.
- Huamán, N., & Chang, A. (2016). *La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú*. Perfiles de Ingeniería (Vol 11,11), Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, Perú.
- Jimenez, J., & Cutipa, G. (2022). *Evaluación funcional y la transitabilidad vehicular en el pavimento asfáltico de la carretera Tacna – Los Palos, Tramo: Emp. PE-1SD – Los Palos, Tacna - 2022*. Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna, Perú.
- Juli.L. (2020). *Efecto del cloruro sódico en las propiedades mecánicas, módulos, ciclos hielo-deshielo y durabilidad de las mezclas bituminosas*. Tesis de doctorado, Universidad de Cantabria, España.
- Kraemer, C., Pardillo, J., Rocci, S., & Blanco, V. (2004). *Ingeniería de carreteras*. 2nd ed., S.A. McGraw Hill/Interamericana de España, España.
- Leva, K. (2020). *“Determinación del estado de conservación del pavimento flexible aplicando la metodología índice de condición del pavimento (PCI) en la Vía Nazca - Cusco en tramos con climas diferentes en el año 2019”*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.
- López, N. (2015). *Evaluación del estado de la mezcla asfáltica en servicio de un pavimento rehabilitado que presentó afectaciones de tipo deformación rehabilitado*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- López, T., & Miró, J. (2017). *El daño por humedad en las mezclas asfálticas*. Plataforma Tecnológica Española de la Carretera, Universidad de Cataluña.
- Maxil, R., & Salinas, M. (2006). *Ventajas y desventajas del uso de Polímeros en el Asfalto*. Tesis de Pregrado, Universidad de las Américas Puebla, Mexico.
- Medina, A., & De la Cruz, M. (2015). *Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI*. Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú.

- Meléndez, J. (2000). *Influencia de la Temperatura en el Deterioro de las carpetas asfálticas en zonas de altura*. Tesis de Postgrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Mena, W. (2013). *Implementación del modelo climático de la MEPDG "AASHTO 2008" en Colombia para tres condiciones climáticas*. Tesis de maestría, Universidad EAFIT, Antioquia, Colombia.
- Mendoza, J., & Marcos, O. (2018). *El efecto del cambio climático en los pavimentos carreteros*. Expo-Asfalto 2017 del Congreso Mexicanos Asfalto, Instituto Mexicano de Transporte., Recuperado: https://www.researchgate.net/publication/344891476_EL_EFECTO_DEL_CAMBIO_CLIMATICO_EN_LOS_PAVIMENTOS_CARRETEROS.
- Menéndez, J., & Barreda, J. (2015). *Incorporación del Efecto del Clima en el Procedimiento de Diseño de Pavimentos Asfálticos del MTC y AASHTO 93*. Ponencia, Instituto de la Construcción y Gerencia, Perú.
- Meza, L., & Palomino, K. (2021). *MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN ZONA DE SELVA*. Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Miranda, R. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile, Chile.
- Mohi, I., Shafi, M., & Adnan, M. (2019). *Effect of Freeze-Thaw Cycles on the Properties of Asphalt Pavements in Cold Regions: A Review*. Artículo World Conference on Transport Research - WCTR 2019 Mumbai 26-31 May 2019, Department of Civil Engineering, National Institute of Technology, Srinagar, J&K, India, India.
- MOPC. (2016). Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. *Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación*. Republica Dominicana, Recuperado: <https://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>.
- MT. (2006). Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles ,INVIAS. *Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras*. Bogotá, Colombia.
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y Pavimentos*. Perú.
- Noguera, B. (2020). *Prototipo de modelo Climático (Integrated Climate Model-MEPDG AASHTO 2008) para el diseño de pavimentos flexibles en la ciudad de Arequipa*. Tesis de grado, Universidad Católica San Pablo, Arequipa, Perú.

- Padilla, A. (2004). *Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista*. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña.
- Paez, I. (2001). *EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN ZONAS DE ALTURA APLICACIÓN A LA CARRETERA CUSCO -ABANCA Y TRAMO IV*. Tesis de pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, Lima, Perú.
- Panibra, K., & Peralta, C. (2019). *REDISEÑO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL AREQUIPA-MOQUEGUA KM 197+500 - KM 205+126 USANDO LOS MÉTODOS AASTHO 1993 Y MECANÍSTICO CALIBRADO*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Panta, G. (2017). *DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PATOLOGÍAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA AV. CHULUCANAS ENTRE LAS PROGRESIVAS KM. 0+000 AL KM. 0+670 DEL DISTRITO VEINTISÉIS DE OCTUBRE, PROVINCIA DE PIURA Y DEPARTAMENTO DE PIURA, OCTUBRE 2017*. Tesis de pregrado, Universidad Católica los Ángeles Chimbote, Piura, Perú.
- Perez, J., & Ramírez, J. (2018). *Evaluación y determinación de las patologías del pavimento asfáltico en la Av. los Tréboles – distrito de Chiclayo – provincia de Chiclayo - departamento Lambayeque*. Tesis de pregrado, Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú.
- Pilares, C. (2018). *Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente con fibras de polipropileno incorporada para condiciones de zonas de altura*. Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú.
- Pinchi, L. (2017). *Diseño de pavimento flexible con carpeta asfáltica en caliente tramo banda de Shilcayo – Las Palmas*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, Perú.
- Ramos, C. (2014). *Efectos de la temperatura en el módulo resiliente en mezclas asfálticas diseñadas por el método Marshall en la ciudad de Arequipa*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

- Rojas, A., Torres, Y., Parejas, M., & Hinojosa, R. (2021). *Acción del agua y la temperatura ambiental extrema sobre pavimento flexible*. Artículo, Revista de investigación e innovación científica y tecnológica, Huancayo, Perú.
- Romero, D. (2017). *Cualificación cuantitativa de las patologías en el pavimento flexible para la Vía Siberia – Tenjo en la sabana de Bogotá*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Sierra, C. (2020). *Impacto del envejecimiento en la susceptibilidad al daño por humedad en mezclas asfálticas*. Tesis de maestría, Universidad de los Andes, Colombia.
- Silva, J., & Sosa, C. (2021). *Determinación de espectros térmicos y condiciones de humedad en mezclas asfálticas abiertas y cerradas, mediante sensores y control operativo con software de asistencia remota*. Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador.
- Stoner, A., Sias Daniel, J., Jacobs, J., Hayhoe, K., & Scott-Fleming, I. (2019). *Quantifying the Impact of Climate Change on Flexible Pavement Performance and Lifetime in the United States*. Transportation Research Record 2019, Vol. 2673(1) 110–122, Estados Unidos, Recuperado: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0361198118821877>.
- Valdés, G., Pérez-Jimenez, F., & Martínez, A. (2012). *Influencia de la temperatura y tipo de mezcla asfáltica en el comportamiento a fatiga de los pavimentos flexibles*. Revista de la Construcción (11,1), Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- Yang, Y., Qian, B., Xu, Q., & Yang, Y. (2020). *Regionalización climática del pavimento asfáltico basada en el algoritmo de agrupamiento de K-Means*. Artículo: Advances in Civil Engineering, China, Recuperado: <https://doi.org/10.1155/2020/6917243>.
- Yufra, J. (2018). *Implementación del modelo climático del método AASHTO 2008 (MEPDG) para el diseño de pavimentos flexibles en la ciudad de Tacna*. Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú.

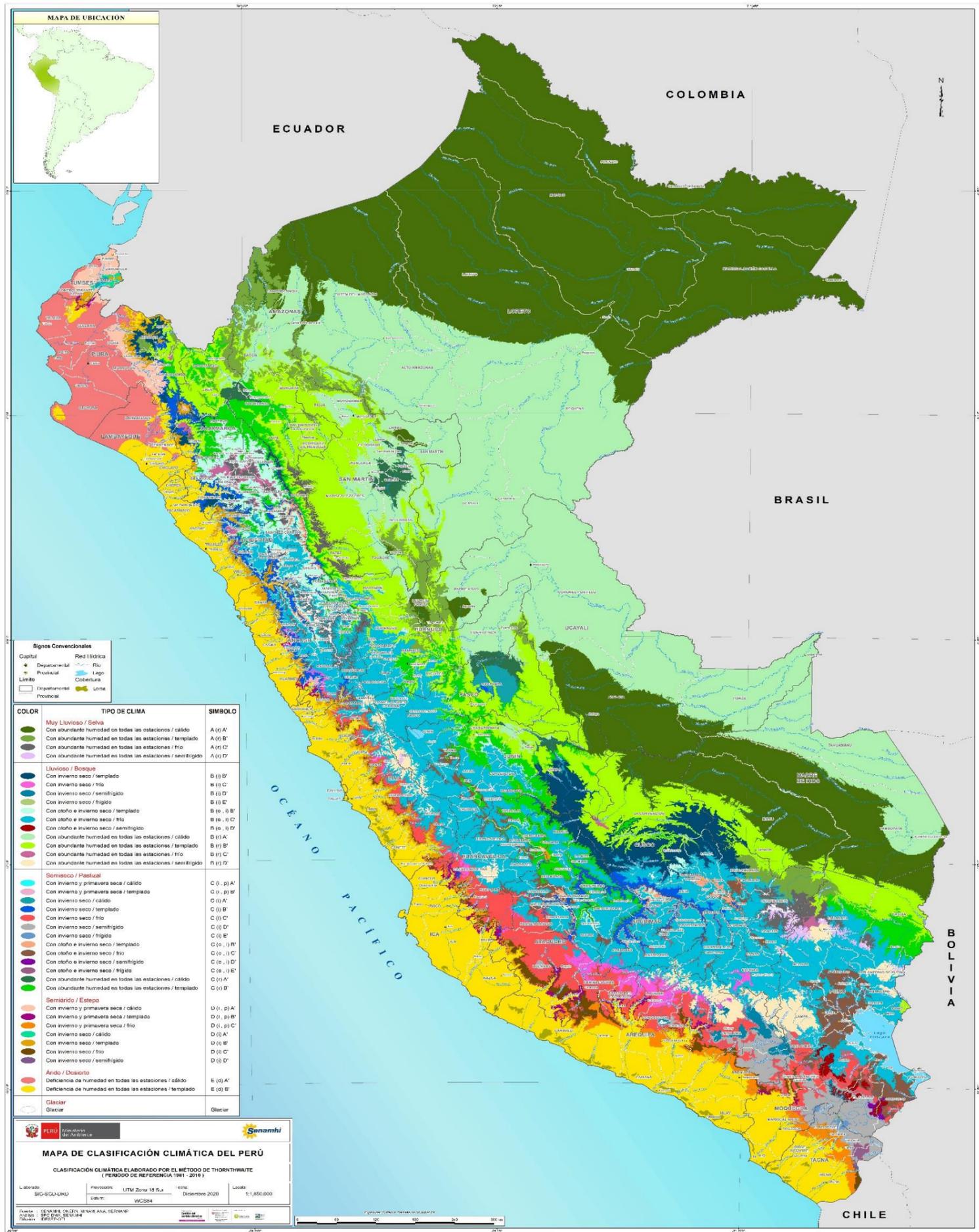
ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

TITULO: Condiciones meteorológicas que afectan a las propiedades de las mezclas asfálticas.

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Indicadores	Índice	Metodología
¿En qué medida las condiciones meteorológicas, afectan las propiedades y generan fallas en las mezclas asfálticas?	Determinar las principales condiciones meteorológicas que afectan las propiedades y generan fallas en las mezclas asfálticas.	Las principales condiciones meteorológicas afectan las propiedades y generan fallas en las mezclas asfálticas.	VI: Condiciones meteorológicas	Clima Temperatura Lluvia Humedad Ambiental Radiación solar	Efecto climático Variación térmica Precipitación Humedad relativa Variación solar	METODO DE INVESTIGACIÓN Método: Deductivo Orientación: aplicada enfoque: cuantitativo Recolección de datos: Retroactivo Tipo: Descriptivo-correlacional. Nivel: Descriptivo-Explicativo.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas				
a) ¿En qué medida las condiciones meteorológicas afectan las propiedades de las mezclas asfálticas?	a) Estudiar en qué medida las condiciones meteorológicas afectan las propiedades de las mezclas asfálticas.	a) Estudiando las condiciones meteorológicas se establece como afectan las propiedades de las mezclas asfálticas.	VD: Propiedades de la mezcla asfáltica.	Resistencia al fracturamiento por baja temperatura Impermeabilidad Durabilidad	Agrietamiento Longitudinal y trasversal Desprendimientos Envejecimiento de asfalto	Diseño: No experimental, transversal; retrospectivo Población y muestra: Es única Todas las vías asfálticas. en donde las condiciones climáticas afectan a las propiedades de las mezclas asfálticas a nivel nacional.
b) ¿En qué medida las condiciones meteorológicas generan fallas en las mezclas asfálticas?	b) Establecer en qué medida las condiciones meteorológicas generan fallas en las mezclas asfálticas.	b) Determinando las condiciones meteorológicas se establecen las fallas en las mezclas asfálticas.		Estabilidad	Ondulaciones y deformaciones	Técnicas e instrumentos. Información bibliográfica de tesis de investigaciones nacionales e internacionales.

Anexo 2: Mapa climático 38 climas



Anexo 3: Climas tropicales

GRUPO A CLIMAS TROPICALES		
Húmedos, ningún mes con temperaturas medias inferiores a 18°C		
Af: Ecuatorial	Cálido y lluvioso todo el año, sin estaciones. Es el clima de la selva lluviosa.	Se da en el ecuador hasta los 10° de latitud, hasta los 25° en algunas costas orientales. Es el clima de la cuenca Amazónica, cuenca del Congo o parte de la zona Indo-Malaya en Asia.
Am: Monzónico	Cálido todo el año, con una estación seca corta seguida por una húmeda con fuertes lluvias. Es el clima de los bosques monzónicos.	En el oeste de África y sobre todo en el sudeste asiático es donde mejor está representado este clima: Tailandia, Indonesia.
Aw: Sabana	Cálido todo el año, con estación seca. Es el clima propio de la sabana.	Este clima aparece conforme nos alejamos del ecuador, a continuación de la zona Af: Es el clima de Cuba, de amplias zonas de Brasil, del África tropical y de gran parte de la India.

Anexo 4: Climas secos

GRUPO B		CLIMAS SECOS	
Precipitaciones anuales inferiores a la evapotranspiración potencial anual			
Bsh: Estepario cálido	<p>Los inviernos son suaves y los veranos cálidos o muy cálidos. Las precipitaciones son escasas.</p> <p>La vegetación natural es la estepa.</p>	<p>Se da en los trópicos y subtropicos, en el límite de los desiertos subtropicales: Extremo sudeste de la península ibérica, Marruecos, costa del sur de California, Kalahari, zonas del interior de Australia.</p>	
Bsk: Estepario frío	<p>Los inviernos son fríos o muy fríos, y los veranos pueden ser templados o cálidos. Las precipitaciones son escasas.</p> <p>La vegetación natural es la estepa.</p>	<p>Tiende a localizarse en latitudes templadas y lejos del mar. Zonas del interior de Norteamérica, interior del valle del Ebro, interior de Irán, estepas del centro de Asia.</p>	
Bwh: Desértico cálido	<p>Los inviernos son suaves aunque en zonas del interior las temperaturas pueden acercarse por la noche a los cero grados. Los veranos son cálidos o muy cálidos. En algunas zonas con este clima las temperaturas en verano son extremadamente altas, y se han registrado las máximas del planeta. Las precipitaciones son muy escasas.</p> <p>Plantas del desierto, o sin vegetación.</p>	<p>Se da en las franjas subtropicales de ambos hemisferios: Desiertos del suroeste de Estados Unidos, Sahara, desierto de la península arábiga, costa del Perú y norte de Chile, desierto del Namib, desiertos de Australia.</p>	
Bwk: Desértico frío	<p>Los inviernos son muy fríos y los veranos templados o cálidos. Las precipitaciones son muy escasas.</p> <p>La vegetación es la propia del desierto, o inexistente.</p>	<p>Se encuentra en latitudes templadas: la Patagonia Argentina, desiertos del oeste de Estados Unidos o del interior de Asia.</p>	

Anexo 5: Climas templados

GRUPO C		CLIMAS TEMPLADOS
Húmedos con temperatura media del mes más frío entre -3°C (o 0°C) y 18°C, y temperatura media del mes más cálido superior a 10°C		
Cfb: Marítimo de costa occidental (oceánico)	<p>Inviernos fríos o templados y veranos frescos. Las precipitaciones están bien distribuidas a lo largo del año.</p> <p>La vegetación natural son los bosques de frondosas.</p>	Se da en la costa occidental de los continentes, entre los 45° y 55° de latitud, normalmente a continuación del clima mediterráneo. Es el clima de la fachada atlántica europea desde el sur de Noruega hasta el norte de la península ibérica, de la costa noroeste de Estados Unidos, sur de Chile, Nueva Zelanda.
Cfc: Marítimo subártico (oceánico frío)	<p>Inviernos fríos y sin un verdadero verano. Con lluvias todo el año.</p> <p>En algunos lugares los fuertes vientos hacen que la vegetación sea escasa.</p>	Se da a continuación del clima Cfb, conforme nos acercamos a los polos. Es el clima de la costa de Islandia, de la costa noroccidental de Noruega o del extremo sur de Chile y Argentina.
Csa: Mediterráneo	<p>Inviernos templados y veranos secos y cálidos. La mayor parte de las lluvias caen en invierno o en las estaciones intermedias.</p> <p>La vegetación natural es el bosque mediterráneo.</p>	Se da en la costa occidental de los continentes, entre las latitudes 30° y 40°, hasta 45° en Europa: cuenca mediterránea, zonas del interior de California y zonas del sur de Australia.
Csb: Mediterráneo de veranos frescos	<p>Inviernos fríos o templados y veranos secos y frescos. La mayor parte de las lluvias caen en invierno o en las estaciones intermedias.</p> <p>La vegetación natural es el bosque mediterráneo.</p>	Se da en las mismas latitudes que el Csa. Es el clima del centro de Chile, de la costa central de California, de la región del Cabo en Sudáfrica, y de las tierras altas del interior de la península ibérica, a partir de los 900 o 1.000 metros.
Cfa: Subtropical húmedo	<p>Inviernos fríos o templados y veranos húmedos y cálidos. Precipitaciones bien repartidas a lo largo del año.</p> <p>Se da el bosque</p>	Este clima se da en el interior y costa este de los continentes, entre los 20° y 30° de latitud y hasta los 48° en Europa. En Europa el clima Cfa aparece en el límite del clima oceánico, cuando la distancia al mar hace que los veranos comiencen a ser calurosos. Es el clima del

Anexo 6: Climas continentales o de inviernos muy fríos.

GRUPO D		
CLIMAS CONTINENTALES O DE INVIERNOS MUY FRÍOS		
Húmedos con temperatura media del mes más frío inferior a -3°C (o 0°C), y temperatura media del mes más cálido superior a 10°C.		
Dfa, Dwa, Dsa: Climas continentales de verano cálido	Inviernos muy fríos y con nieve, veranos cálidos. La vegetación natural son los bosques caducifolios.	Se dan en el interior y costa este de los continentes, Dfa y Dwa entre las latitudes 30° y 40° (Dwa se da en el este de Asia y se extiende más al sur). Dsa se da en el interior, a latitudes más bajas, en zonas altas. Estos climas se dan en el nordeste de Estados Unidos, nordeste de China, península de Corea, norte de Japón.
Dfb, Dwb, Dsb: Climas continentales de verano fresco	Inviernos muy fríos y con nieve, y veranos frescos. La vegetación es el bosque mixto de coníferas y planifolias.	Dfb y Dwb se dan al norte de los anteriores, entre las latitudes 40° y 50°, como el este de Canadá y el extremo norte de Japón. También se dan en el centro y este de Europa y en Rusia entre el clima marítimo y el continental subártico. Dsb se da en zonas parecidas a Dsa pero a mayor altitud o a mayor latitud.
Dfc, Dwc: Continental subártico o boreal	Inviernos muy fríos y largos, con nieve, veranos fríos y muy cortos. Es el clima de la taiga, o bosque frío de coníferas.	Se dan entre los 50° y 60° de latitud norte, en algunos lugares hasta los 70°. Es el clima del interior de Canadá, Alaska y de gran parte de Siberia, en una franja entre el clima estepario frío y la tundra.
Dfd, Dwd: Climas continentales subárticos con inviernos extremadamente fríos	Con inviernos extremadamente fríos, los más fríos del hemisferio norte, que duran hasta nueve meses. En mayo y en septiembre se da una transición muy rápida al verano, que es muy corto aunque relativamente cálido.	Estos climas sólo se dan en el nordeste de Siberia.

Anexo 7: Climas polares

GRUPO E		CLIMAS POLARES
Ningún mes con temperatura media superior a 10°C.		
Et: Tundra	<p>La temperatura media del mes más cálido está entre 0°C y 10°C.</p> <p>Sólo hay musgos y hierbas cuando la temperatura media supera los 0°C.</p>	Se da en el extremo norte de Norteamérica y Eurasia, así como en las islas cercanas, y comienza a partir del límite norte de la taiga.
Ef: Hielos perpetuos	<p>La temperatura media del mes más cálido es inferior a 0°C.</p> <p>No existe ningún tipo de vegetación. Es el clima de los hielos permanentes.</p>	Es el clima de la Antártida, del interior de Groenlandia y de las mayores alturas del Himalaya.