



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Mapa de grados de desempeño para ligantes asfálticos según clasificación
Superpave, regiones Huancavelica, Ayacucho y Apurímac

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

AUTORES

Najar Alcantara, Arturo Valentin
ORCID: 0000-0001-6836-575X

Serrano Chávez, Claudia Valeria
ORCID: 0000-0003-2796-534X

ASESOR

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

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Najar Alcantara, Arturo Valentin

DNI: 46811629

Serrano Chávez, Claudia Valeria

DNI: 74891494

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: 0000-0002-6949-1317

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 02.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios que me dio la sabiduría para poder terminar esta tesis, a mis padres, que nada de esto hubiese sido posible sin ellos y a todos mis seres queridos que me apoyaron a lo largo de esta tesis.

Serrano Chávez, Claudia Valeria

Esta tesis está dedicada a todos mis seres amados; quienes, en conjunto, han sido el soporte perfecto para nunca decaer y siempre mantenerme firme en cada etapa del proceso del desarrollo de esta tesis.

Najar Alcantara, Arturo Valentin

AGRADECIMIENTO

Nuestro agradecimiento a nuestro asesor Néstor Huamán por habernos compartido su conocimiento y ayudado a lo largo de la investigación.

Najar Alcantara, Arturo Valentin

Serrano Chávez, Claudia Valeria

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCIÓN	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Formulación y delimitación del problema	5
1.1.1 Problema general	6
1.1.2 Problemas específicos	6
1.2 Objetivo general y específico	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivo específico.....	6
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática	7
1.3.1 Justificación teórica:	7
1.3.2 Justificación social:	7
1.3.3 Justificación académica:	7
1.3.4 Justificación practica:	7
1.3.5 Limitaciones	8
1.4 Importancia y Justificación del Estudio	8
1.4.1 Importancia del estudio.....	8
1.4.2 Justificación del estudio.....	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1 Antecedentes del estudio de investigación.	9
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.	10
2.2.1 Investigaciones internacionales.....	10
2.2.2 Investigaciones nacionales.....	13
2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	15
2.3.1 Pavimento Asfáltico.....	15
2.3.2 Ligante asfáltico.....	17
2.3.3 Método Superpave.....	26
2.3.4 Mapa de Grado de Desempeño (PG)	35
2.4 Definición de términos básicos	37

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	39
3.1 Hipótesis	39
3.1.1 Hipótesis general	39
3.1.2 Hipótesis específica	39
3.2 Identificación de variables	39
3.2.1 Definición conceptual de variables	39
3.2.2 Operacionalización de las variables	40
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
4.1 Tipo y método de investigación.....	41
4.1.1 Tipo de investigación	41
4.1.2 Método de investigación.....	41
4.2 Población de estudio	41
4.3 Diseño muestral	42
4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	42
4.5 Procedimientos para la recolección de datos	42
4.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	42
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.....	43
5.1 Desarrollo de la investigación.....	43
5.1.1 Datos geográficos de los distritos de las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.	43
5.1.2 Selección de estaciones meteorológicas	45
5.1.3 Recolección de datos geográficos para las estaciones seleccionadas para los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica.	46
5.1.4 Recolección de datos meteorológicos:	49
5.1.5 Temperaturas máximas y mínimas del aire:	49
5.1.6 Temperatura máxima y mínima al 98% y 50%	52
5.2 Obtención del grado de desempeño (PG)	55
5.2.1 Determinación y análisis del grado de desempeño (PG) por el método de SHRP original y canadiense.....	55
5.2.2 Determinación y análisis del grado de desempeño (PG) por el modelo LTPP.	59

5.2.3 Determinación y análisis del grado de desempeño (PG) en los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica.	68
5.3 Obtención mapa de Grado de Desempeño (PG).....	75
5.3.1 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Huancavelica para una confiabilidad del 50%.....	75
5.3.2 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Huancavelica para una confiabilidad del 98%.....	76
5.3.3 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Ayacucho para una confiabilidad del 50%.....	76
5.3.4 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Ayacucho para una confiabilidad del 98%.	77
5.3.5 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Apurímac para una confiabilidad del 50%.....	78
5.3.6 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Apurímac para una confiabilidad del 98%.	79
5.4 Corrección del Grado de Desempeño	79
5.5 Contrastación de Hipótesis	81
5.5.1 Hipótesis Especifica 1	81
5.5.2 Hipótesis Especifica 2.....	82
5.5.3. Hipótesis Especifica 3	82
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES	84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
ANEXOS	88
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG.....	36
Tabla 2. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG.....	37
Tabla 3. Matriz de Operacionalización de Variables.....	40
Tabla 4. Datos geográficos de las estaciones seleccionadas para el departamento de Ayacucho.	46
Tabla 5. Datos Geográficos de las estaciones seleccionadas para el departamento de Huancavelica.....	47
Tabla N° 6. Datos Geográficos de las estaciones seleccionadas para el departamento de Apurímac.	48
Tabla 7. Temperatura promedio en la estación Chipao.	49
Tabla 8. Temperaturas máximas y mínimas en el distrito de Acomayo en el departamento de Ayacucho.	50
Tabla 9. Temperaturas máximas y mínimas del departamento de Ayacucho.	51
Tabla 10. Temperaturas máximas y mínimas del departamento de Apurímac.....	52
Tabla 11. Temperatura máxima y mínima del aire con una confiabilidad del 98% y 50%, de las estaciones de Ayacucho.....	53
Tabla 12. Temperatura máxima y mínima del aire con una confiabilidad del 98% y 50%, de las estaciones de Apurímac.....	54
Tabla 13. Temperatura máximas y mínimas con confiabilidad al 98% y 50%.	55
Tabla 14. Temperatura máxima y mínima con el método de SHRP original y canadiense para las estaciones en el departamento de Ayacucho.	56
Tabla 15. Temperatura máxima y mínima con el método de SHRP original y canadiense para las estaciones en el departamento de Huancavelica.....	57
Tabla 16. Temperatura máxima y mínima con el método de SHRP original y canadiense para las estaciones en el departamento de Apurímac.	58
Tabla 17. Latitud, desviación estándar, temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50%.....	59
Tabla 18. Temperaturas máximas y mínimas para las estaciones en el departamento de Ayacucho.	60
Tabla 19. Temperaturas máximas y mínimas para las estaciones en el departamento de Apurímac.	61

Tabla 20. Temperaturas máximas y mínimas para las estaciones en el departamento de Huancavelica.....	62
Tabla 21. Características de la estación Ayna	64
Tabla 22. Temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50% de confiabilidad con el modelo LTPP 1998-200 y LTPP 2004 de las estaciones del departamento de Ayacucho.....	65
Tabla N° 23. Temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50% de confiabilidad con el modelo LTPP 1998-200 y LTPP 2004 de las estaciones del departamento de Apurímac.	66
Tabla N° 24. Temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50% de confiabilidad con el modelo LTPP 1998-200 y LTPP 2004 de las estaciones del departamento de Huancavelica.	67
Tabla 25. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Ayacucho con una confiabilidad al 98%.	68
Tabla 26. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Ayacucho con una confiabilidad al 50%.	69
Tabla 27. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Huancavelica con una confiabilidad al 98%.	70
Tabla 28. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Huancavelica con una confiabilidad al 50%.	71
Tabla 29. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Apurímac con una confiabilidad al 98%.....	72
Tabla 30. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Apurímac con una confiabilidad al 50%.....	73
Tabla 31. Velocidad de diseño de la vía de Evitamiento de la ciudad Abancay.	80
Tabla 32. Ejes equivalentes de la vía de Evitamiento de la ciudad Abancay.	80
Tabla 33. Grado de Desempeño corregido.	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de pavimento.	16
Figura 2. Ilustración del sistema de capas de un pavimento y tensiones solicitantes.	17
Figura 3. Composición del asfalto	18
Figura 4. Modelo de micelas de Yen.	19
Figura 5. Esquema de producción de asfalto en una etapa.	22
Figura 6. Esquema de producción de asfalto por mezcla de residuo de vacíos.	23
Figura 7. Comportamiento del ligante de acuerdo a la temperatura.	24
Figura 8. Comportamiento Visco-elástico del asfalto	25
Figura 9. Reómetro de corte dinámico.	28
Figura 10. Módulo complejo dinámico y ángulo de fase.	28
Figura 11. Elementos del viscosímetro rotacional	29
Figura 12. Gráfico viscosidad vs temperatura.	30
Figura 13. Partes del reómetro de viga a flexión.	30
Figura 14. Molde de la viga.	31
Figura 15. Deformación hasta la rotura	32
Figura 16. Muestras en la estufa precalentada a 163 °C.	33
Figura 17. Horno Rotatorio de película delgada.	34
Figura 18. Mapa de la región de Huancavelica	43
Figura 19. Mapa de la región de Ayacucho.	44
Figura 20. Mapa de la región de Apurímac.	45
Figura 21. Mapa de grado de desempeño al 50%.	75
Figura 22. Mapa de grado de desempeño al 98%.	76
Figura 23. Mapa de grado de desempeño al 98%.	76
Figura 24. Mapa de grado de desempeño al 98%.	77
Figura 25. Mapa de grado de desempeño para una confiabilidad del 50%.	78
Figura 26. Mapa de grado de desempeño al 98%.	79
Figura 27. Ajuste del PG de la carretera	80

RESUMEN

En la presente investigación titulada “Mapa de grados de desempeño para ligantes asfálticos según clasificación Superpave, regiones Huancavelica, Ayacucho Y Apurímac”, esta investigación fue desarrollada basada en la metodología Superpave para la elección del ligante asfáltico, considerando las propiedades reológicas de este. El desarrollo de la investigación se basó en recolectar datos de las estaciones seleccionadas estratégicamente a lo largo de la red vial nacional en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac. Los datos recolectados fueron las temperaturas máximas y mínimas con un periodo de 20 años en el programa MERRA 2- NASA, después de obtener los datos, se procedió a calcular dichas temperaturas con una confiabilidad del 50% y 98% utilizando los modelos matemáticos del SHRP (Strategic Highway Research Program) y LTPP (Long Term Pavement Performance). Para finalizar, con los datos obtenidos se procedió a calcular los grados de desempeño (PG) y después se elaboró el mapa de grado de desempeño para las zonas estudiadas. Además, se realizó la corrección por nivel de tráfico y velocidad de diseño de una determinada carretera de la zona.

Palabras claves: Grado de Desempeño (PG), SUPERPAVE, ligante asfáltico, Mapa de Grado de Desempeño.

ABSTRACT

In the present investigation entitled "Map of performance grades for asphalt binders according to Superpave classification, Huancavelica, Ayacucho and Apurímac regions", an investigation based on the Superpave methodology for the election of the asphalt binder is developed, considering its rheological properties. The development of the research was based on collecting data from strategically selected stations along the national road network in the regions of Huancavelica, Ayacucho and Apurímac. The data collected were the maximum and minimum temperatures with a period of 20 years in the MERRA 2-NASA program, after obtaining the data, these temperatures were calculated with a reliability of 50% and 98% using the SHRP mathematical models. (Strategic Highway Research Program) and LTPP (Long Term Pavement Performance). Finally, with the data obtained, the performance grades (PG) were calculated and then the performance grade map for the studied areas was elaborated. In addition, the correction was made for traffic level and design speed of a certain road in the zone.

Keywords: Performance Grade (PG), SUPERPAVE, asphalt binder, Performance Grade Map.

INTRODUCCIÓN

El diseño de los pavimentos en el Perú ha tomado importancia en los últimos años, sin embargo, el tipo de pavimento se obtiene por medio de ensayos tales como el de penetración y viscosidad, sin considerar el factor de la temperatura en el pavimento, dando así al lugar posibles fallas futuras en los diseños. Las propiedades reológicas son importantes para la vida del pavimento, ya que si estas son consideradas se puede tener un mejor comportamiento en el asfalto.

La metodología SUPERPAVE, considera el factor de la temperatura del pavimento, de acuerdo con el lugar en donde este se encuentre, es por eso que lo clasifica por el grado de desempeño. En donde cada lugar específico, obtiene un diferente grado de desempeño (PG). Por este motivo y estas condiciones de la metodología SUPERPAVE aseguran que el pavimento tenga un buen comportamiento.

Se presenta, la descripción de cada capítulo desarrollado en la tesis:

CAPITULO I. Se desarrolla el planteamiento del problema, así como el problema actual en el país, además los problemas generales y específicos, así como también los objetivos de esta investigación. También se desarrolla la delimitación, la importancia y justificación del estudio. **CAPITULO II.** Se desarrolla el marco teórico en el cual se explica ampliamente los antecedentes de la investigación, las investigaciones relacionadas al tema tanto las investigaciones internacionales como las nacionales, las bases teóricas vinculada a cada variable y las vinculadas a la variable de estudio, y para finalizar el capítulo el desarrollo de la definición de los términos básicos para esta investigación. **CAPITULO III.** Se desarrolla las tres hipótesis, en donde cada una se detalla cómo general y las específicas, además también se desarrolla la identificación de variables, en la definición conceptual de las variables y la operacionalización de las variables. **CAPITULO IV.** Se describe el tipo y método de la investigación, de acuerdo con eso el método de la investigación, la población de estudio, el diseño muestral, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y por ultimo las técnicas de procesamiento y análisis de datos. **CAPITULO V.** Se desarrolla la investigación, empezando con la selección de las estaciones meteorológicas, y después de seleccionar los datos geográficos de los distritos de las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac se procedió a la recolección de los datos meteorológicos de las temperaturas máximas y mínimas del aire, para cada estación seleccionada con un periodo de 20 años durante todos los días.

Además, después se aplicaron los modelos matemáticos del SHRP Y LTPP, con confiabilidad del 98% y 50%, para después poder obtener los mapas de grado de desempeño con confiabilidad del 98% y 50%.

Para finalizar, se desarrolló la contrastación de las hipótesis, las conclusiones, las referencias bibliográficas y los anexos con la operacionalización de variables.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Formulación y delimitación del problema

Durante los últimos años, en el Perú, el sector transporte ha tomado importancia en la infraestructura de la economía peruana debido su importante influencia en el desarrollo de otros sectores económicos. Debido a esto, se debe de contar con una buena infraestructura vial, es decir, un buen diseño y ejecución de carreteras. Sin embargo, el 80% de las carreteras del Perú se encuentran en mal estado, debido a las lluvias y el estrés térmico a las que están sometidas estas.

De acuerdo con la clasificación climática de Warren Thornthwaite, el Perú cuenta con 38 tipos de clima (SENAMHI, 2020), debido a que estos interactúan con los diferentes agentes climáticos que afectan a su posición geográfica en el trópico, es decir, dentro del límite de la cordillera de los andes. Por ende, el Perú tiene una diversidad climática que no es considerada dentro de los diseños de carreteras, generando así una línea de investigación poco abordada.

Además de los factores de carga, como el tráfico vial, que se deben tomar en consideración en la construcción de carreteras, el Perú cuenta con diversos tipos de clima durante el año, ya sea como lluvias intensas, humedad y fluctuaciones de temperatura que dañan directamente a los pavimentos.

Los requisitos de proyecto de mantenimiento de los pavimentos flexibles, dependen de la selección adecuada de los materiales para sus respectivas capas estructurales. En el Perú, el manual de pavimentos se utiliza en la especificación vigente de los ligantes asfálticos basadas en ensayos empíricos. Un claro ejemplo de ello lo podemos encontrar en el ensayo de grado de penetración.

Por esta razón, tradicionalmente, los proyectos de dosificación de mezclas asfálticas, en los cuales los ligantes asfálticos son escogidos conforme al estudio de tráfico, esto último se debe a que en el país, los ensayos para poder obtener la clasificación de los ligantes asfálticos dependerán de la prueba de grado de penetración, a diferencia de la metodología SUPERPAVE en el que el uso del ligante debe de ser definido en base al clima y al tráfico de donde se pretende aplicar (Faccin, 2021). Así es como sucede en el Perú, donde no se implementa la clasificación SUPERPAVE, debido a las diversas fallas y envejecimiento

premature de las vías en las diversas regiones, en especial en las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Apurímac.

1.1.1 Problema general

Por lo expuesto anteriormente se puede plantear la siguiente interrogante:

¿Cómo elaborar el Mapa de Grado de Desempeño empleando modelos matemáticos de la clasificación SUPERPAVE en ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo determinar los grados de desempeño (PG) al emplear los modelos matemáticos para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?
- b) ¿Cómo delimitar el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?
- c) ¿De qué manera las correcciones por velocidad y tráfico alteran el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?

1.2 Objetivo general y específico

1.2.1 Objetivo general

Determinar cómo se puede elaborar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) por zonas empleando modelos matemáticos de la clasificación SUPERPAVE en ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

1.2.2 Objetivo específico

- a) Determinar los grados de desempeño (PG) al emplear los modelos matemáticos para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.
- b) Delimitar el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la

clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

- c) Determinar de qué manera las correcciones por velocidad y tráfico alteran el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

1.3.1 Justificación teórica:

En esta investigación mediante la clasificación Superpave se elabora el mapa de grado de desempeño con la finalidad de poder determinar el ligante asfáltico adecuado a la zona estudiada (las regiones de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica). Debido a esto, el resultado podrá servir como referencia a futuras empresas que tengan la necesidad de diseñar en las zonas debidamente estudiadas para después, poder obtener el ligante asfáltico adecuado y de esta manera mejorar la precisión en el diseño vial de acuerdo con las necesidades.

1.3.2 Justificación social:

Esta investigación ayudará en su mayoría a personas que estén estudiando un pregrado y post grado. Además, también servirá como referencia a las personas que estén relacionadas al área de pavimentos.

1.3.3 Justificación académica:

El presente estudio servirá como guía en la elección del ligante asfáltico adecuado en las regiones de Apurímac, Ayacucho y Huancavelica. Además, con el desarrollo, resultado y análisis servirán como ejemplo y ayuda de estudio para profesores, alumnos y las personas interesadas en la clasificación Superpave.

1.3.4 Justificación práctica:

La justificación práctica se divide en dos puntos importantes en el cual el primero servirá como guía para la elección adecuada del ligante asfáltico. Segundo, la investigación servirá como referencia para futuros trabajos de investigación.

1.3.5 Limitaciones

Las limitaciones presentadas para la investigación son las faltas de datos meteorológicos con los que cuenta SENHAMI son limitadas y escasas, por lo cual se tuvo que utilizar el programa MERRA 2 de la NASA para la obtención de los datos. Además, en el Perú no se han realizado muchas investigaciones relacionadas con el tema, debido a esto se tuvo que recurrir a investigaciones extranjeras.

1.4 Importancia y Justificación del Estudio

1.4.1 Importancia del estudio

La importancia del estudio radica en la elección de un ligante asfáltico adecuado según la clasificación SUPERPAVE para las temperaturas máximas y mínimas a las que está sometida la carpeta asfáltica para de esta manera poder disminuir el deterioro de ésta en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac. Además, el desarrollo de la investigación brinda un aporte importante para los futuros proyectos de carretera en las zonas estudiadas. De esta manera brinda un aporte para las entidades del estado y privados.

1.4.2 Justificación del estudio

La justificación de esta investigación reside en que en nuestro país se utiliza para la elección del ligante asfáltico los ensayos de viscosidad y penetración y no una clasificación por grado de desempeño (PG) la cual nos permite elegir el ligante asfáltico óptimo para así evitar el envejecimiento prematuro debido a los cambios de temperatura a los que está sometido.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación.

A través de los años el ligante asfáltico no solo fue utilizado para la para la protección de los barcos en caso de tormenta, tuvo sus usos tempranos en las carreteras. Los historiadores establecieron a los inicios de 1500 D.C los Incas construyeron un sistema elaborado de carreteras, en muchos de ellos el pavimento con una composición similar al moderno macadán bituminoso. En los 1800s se encontraron grandes depósitos en Francia y Suiza, y los comerciantes de esos países comenzaron a vender el ligante asfáltico para varios usos. En 1829, el pavimento de masilla asfáltica, una composición de mezcla de 93 por ciento de asfalto de Seyssel y un 7 por ciento de agregado como pavimento para peatones en Pont Morand, Lyons, France y además se utilizó para las superficies de los escalones. En 1835, el primer pavimento de masilla asfáltica en Pont Royal, Paris estaba compuesto por asfalto de Seyssel. Mas adelante en 1836, el asfalto de Seyssel fue introducido para la construcción de caminos (Aphalt Institute, 2020).

Por consiguiente, durante la segunda guerra mundial, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU (USCOE) empezó a evaluar varios diseños de mezclas asfálticas en caliente para su uso en el diseño de pavimentos de aeródromos. El motivo de este estudio provino debido a que los aviones militares cada vez eran más pesados y estos generaban más presión al pavimento. En ese momento el método más prometedor fue el probar el método de estabilidad de Marshall desarrollado por Bruce G. En 1939 el ejército de EE. UU. agregó la medición de deformación usando un medidor de flujo que fue para ayudar a detectar el exceso de contenido de asfalto. El ejército de EE.UU. continuó mejorando el método Marshall durante los 1950s con varias pruebas en los materiales y la carga de tráfico. Sin embargo, con el paso de los años se vio que el método Marshall no tenia en consideración los cambios de temperatura a los que el pavimento está expuesto. (White, 1985)

Es así que, en 1987, el Strategic Highway Research Program (SHRP) empezó a desarrollar un nuevo sistema para la especificación de los materiales de asfalto. El producto final del SHRP que es el programa de investigación de asfalto es un nuevo sistema denominado Superpave en el cual significa el rendimiento superior del pavimento asfáltico. Lo más resaltante del término Superpave es que representa un

sistema de mejoramiento para la especificación de los componentes de los materiales, el diseño de la mezcla asfáltica, su análisis y la predicción de su desempeño. El sistema incluye pruebas de equipamiento, método y el criterio (U.S Department of Administration,1995).

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema.

El presente estudio toma como base de investigación diferentes antecedentes realizados a nivel nacional e internacional, entre los que se citan:

2.2.1 Investigaciones internacionales.

Rubio (2018) en su tesis “Metodología para la construcción de mapas de temperatura basada en la influencia termo-topográfica y el grado de desempeño (PG) aplicada en la selección de cementos asfálticos”, tiene por objetivo plantear una metodología para la elaboración de mapas de temperatura en función de la correlación geoespacial topografía-temperatura, para la elección del cemento asfáltico por grado de desempeño mediante el análisis de datos en función de las variables que se requieren para emplear la metodología SUPERPAVE en el estado de Michoacán, México.

De acuerdo al análisis realizado llegó a la conclusión de que la metodología usada para la elaboración del mapa de temperatura es confiable ya que se realizó la reconstrucción de datos faltantes de la información climática y se presentaron reglas para la calibración mediante curvas de nivel para determinar el grado de desempeño.

Gahsaw (2018) en su tesis “Mapa de temperatura de Etiopía para la clasificación por Grado de Desempeño para ligantes”, tiene por objetivo reducir las fallas por temperatura por medio de la selección del ligante asfáltico teniendo en cuenta la variación del clima en Etiopía y evaluando los ligantes asfálticos, estableciendo un mapa de grado de desempeño en basado en datos de clima.

De acuerdo con el análisis llegó a la conclusión que el mapa de grado de desempeño de Etiopía fue dividido en cinco áreas donde la mayor parte de áreas tienen un grado de desempeño (PG) de 58-16 y 64-16. Además, la recomendación de la corporación de obras viales de Etiopía la cual indica usar

un ligante asfáltico PEN 40/50 no cumplió con los criterios mínimos al ser evaluado de acuerdo a los criterios del AASHTO M320.

Bonilla (2013) en su tesis “Determinación del tipo de cemento asfáltico según el grado de desempeño, de acuerdo con la zonificación climática y las cargas de tránsito del país” para obtener el título de Ingeniero Civil, desarrolló la clasificación por grado de desempeño, en el cual estableció los tipos de cemento asfáltico que demandaba en Costa Rica. En Costa Rica solo se suministraba un tipo de ligante asfáltico en caliente el cual sirve para la construcción y conservación vial de pavimentos flexibles y se clasifica por el grado de viscosidad y es la que se emplea en dicho país. Por lo tanto, solo se toma sobre el comportamiento elástico a alta temperatura sin considerar el comportamiento en bajas temperaturas. Por lo cual permitió saber el tipo de asfalto, sus propiedades y su clasificación. Para después enfocarse en la predicción de modelos para la temperatura del pavimento, obteniendo los mapas en el cual se mostró la variación de la temperatura máxima y mínima, con la finalidad de generar el mapa de zonificación de grado de desempeño de Costa Rica. Se concluyó que el mapa delimitó las zonas debido a la temperatura del aire, pendientes del terreno, número de población y densidad vial y por zona se determinó un PG de 64-28. Para determinar la temperatura del pavimento fue desarrollada por LTPP debido a que es la más conservadora a comparación con SHRP. Por último, para que el cemento asfáltico pueda cumplir con el país se necesita agregar en las instalaciones de RECOPE una planta que modifica al asfalto.

Calderón (2015) en su tesis “Determinación del tipo de desempeño asfáltico según el grado de desempeño para el diseño de la carpeta de rodadura, de acuerdo a la zonificación climática del país de Guatemala”, al ver que en Guatemala la diferencia de temperatura afectaban la estructura del pavimento, se vio que se necesitaba clasificar según su grado de desempeño para cada zona en el país, así es como el objetivo fue establecer el tipo de cemento asfáltico para el desarrollo del diseño del pavimento, de acuerdo a los requisitos del factor clima para Guatemala. Por consiguiente, recolectó las temperaturas mínimas y máximas de cada zona para después predecir la temperatura del pavimento utilizando el método Superpave en el cual cuenta

con modelos, el SHRP y sus modelos para la predicción de la temperatura alta y baja fue uno de los que se utilizaron para desarrollar el proyecto. Se concluyó que el método LTPP fue el que más porcentaje de error contaba en comparación con el método SHRP, además los tipos de cementos asfálticos determinado por el grado de desempeño fueron clasificados como PG 58-34 Y PG 64-34. Sin embargo, no se tomó en consideración las cargas de tránsito porque no contaban con información en Guatemala. Se recomendó que al utilizar las estaciones meteorológicas sean la mayor cantidad posible para que se pueda obtener un resultado más eficaz. Además, en Guatemala no hubo estaciones meteorológicas menor a 5C por lo que no se recomienda un PG para temperaturas mínimas.

Para Morales (2013) en su tesis “Zonificación de temperaturas para la evaluación y aplicación de mezclas asfálticas diseñadas según la metodología Superpave para el uso en Chile”, explica que en Chile existen solo dos tipos de clasificación para los ligantes asfálticos en los cuales se rige en la penetración y la viscosidad, y va variando según los requisitos de la entidad que ejecute el proyecto. A estas metodologías son conocidas por ser empírica y tradicionales, sin embargo, estas ya han sido reemplazadas alrededor del mundo por metodologías que se basan por el desempeño (PG) es decir del sistema Superpave. Para el desarrollo de la investigación comprendió de 4 etapas, en la primera se vieron la selección de los materiales a partir del factor clima en donde se realizará el proyecto así mismo utilizando las temperaturas máximas y mínimas del lugar para que trabaje de una forma eficiente. La investigación tiene como objetivo ser un modelo a nivel nacional del análisis del sistema graduado por desempeño. El desarrollo del mapa del territorio nacional en donde se establecieron los grados en base cada sector. Además, los PG establecidos fueron evaluados para un periodo de 24 años con 109 estaciones hidrometeorológicas dentro de todo Chile. Como conclusión los datos utilizados se desarrollaron por 3 metodologías de obtención de temperaturas del pavimento, dos propias del SHRP y una de LTPP. Los resultados arrojaron que la mejor metodología es la del LTPP ya que sus datos eran muchos más homogéneos de acuerdo con los requerimientos de los

ligantes asfálticos de Chile, en el cual fueron los ligantes PG 64-10 y PG 58-10 son los que a nivel nacional se repitieron.

2.2.2 Investigaciones nacionales.

Orellano y Pilco (2021) en su tesis “Mapa de zonificación por grado de desempeño (PG) para cementos asfálticos de acuerdo a la clasificación Superpave”. En el estudio se desarrolló para llegar a cabo el mapa de zonificación por Grado de desempeño (PG) para así poder elegir el tipo de cemento asfáltico para las regiones de Cusco y Puno, teniendo en cuenta el factor clima que impacta directamente a el pavimento para poder así reducir costos de mantenimiento y reparación de estos. El objetivo general del estudio fue establecer un mapa de zonificación por los grados de desempeño, con los datos obtenidos con el proyecto MERRA-2 (NASA), para ello se obtuvieron los datos 20 años como mínimo para poder seguir con la investigación obteniendo las temperaturas máximas y mínimas de los modelos SHRP y LTPP para la confiabilidad y obtener el modelo óptimo para las regiones de Cuzco y Puno. Se hizo el mapa y se diferenció con diferentes valores por cada distrito con tu Grado de Desempeño (PG). Por último, se hizo la corrección por tráfico y velocidad del Grado de Desempeño dando los resultados óptimos y con menos porcentaje de error.

Alcalá y Delgado (2020) en su tesis titulada “ Mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos según la clasificación Superpave aplicado en las regiones Lima, Ancash e Ica”, recalcó que las principales causas que dañan a la carretera son al presentar máximas y mínimas muy variadas y los diseños más realizados hacen que estas se debiliten rápidamente causando así daños al pavimentos por lo que presentaron como solución elaborar el mapa de desempeño con la base de los datos de ANA para poder aplicar los modelos matemáticos SHRP y LTPP en las regiones mencionadas además de establecer las diferencias de cada región. Para el desarrollo de la tesis, obtuvieron los datos como mínimo 20 años en los cuales registraban las temperaturas máximas y mínimas cada una con sus respectivas estaciones meteorológicas de las zonas a estudiar. Además, se consideró el desarrollo en función al nivel de trafico y velocidad. Se tuvo como total de 37 estaciones ANA divididas entre las regiones mencionadas, con la dificultad que algunas

estaciones se encontraban incompletas y con ayuda de la estadística pudieron obtener el resultado. Los resultados finales son con la consideración de optar con una velocidad constante o mayor a 90 km/h, para después de eso modificarlos teniendo en consideración las cargas de tráfico a la misma velocidad.

Cusi y Duran (2021) en su tesis “Determinación del grado de desempeño - superpave de cementos asfálticos en control de fallas de pavimentos flexibles, carretera Huancavelica – Santa Inés” tiene por objetivo determinar el Grado de Desempeño - SUPERPAVE de ligantes asfálticos en el control de fallas de pavimentos flexibles influenciado por el nivel de temperaturas de ensayo y tipo de cemento asfáltico convencional en la carretera Huancavelica – Santa Inés, además de Evaluar y comparar el Grado de Desempeño – SUPERPAVE con ensayos de desempeño MSCR, SUPERPAVE con frecuencia modificada y LAS.

En esta tesis llegaron a la conclusión de que, para condiciones de clima caliente, intermedio y frío el factor que mayor influencia tiene sobre el grado de performance de un pavimento flexible es el tipo de ligante asfáltico convencional, seguidamente por la temperatura y finalmente por la interacción temperatura y tipo de asfalto. Para el ensayo MSCR bajo la normativa ASTM D 7405 (norteamericana) ningún asfalto considerado en la presente investigación cumple con los requerimientos exigidos de clima y tráfico expresados en ejes equivalente y bajo la normativa peruana (EG-2013/MTC) todos los asfaltos considerados (cumplen satisfactoriamente bajo las mismas solicitudes de clima y tráfico para todos los sub tramos considerados. El modelo implementado denominado "EGRA" basado en métodos numéricos en diferencias finitas (MDF), muestran valores de temperaturas máximas de pavimento inferior a las obtenidas por el modelo establecido por la Especificación Superpave a un nivel de confianza del 98 %, de la misma forma el grado de performance requerido por condiciones climáticas es inferior al protocolo Superpave.

Ortiz (2020) en su tesis “Análisis del clima para la predicción de grados de desempeño empleando el método superpave en la carretera – Tramo Chíncha Alta – Huancavelica” tiene por objetivo analizar los datos del SENAMHI, las

temperaturas máximas, las temperaturas mínimas para de esta manera determinar los grados de desempeño en la carretera PE – 26 del tramo Chíncha Alta – Huancavelica. Llego a la conclusión luego de comparar sus resultados con los del Ministerio de Transportes y los de la Universidad de Sao Paulo se tiene que realizar una corrección en ciertos tramos de la carretera, además de acuerdo a sus resultados indica que a mayor o menor temperatura el grado de desempeño varía sustancialmente.

Burgos (2019) en su tesis titulada “Correlación entre los factores climáticos provenientes de la base de datos del LTPP con el comportamiento del pavimento de la carretera Juliaca – Azángaro” tiene por objetivo establecer una correlación entre el comportamiento de la carretera Juliaca – Azángaro y los factores de clima proporcionados por la base de información del LTPP a través del InfoPave y MERRA y de esta manera dar a conocer el uso de la plataforma LTPP-InfoPave para la comprensión de los pavimentos en la región.

Se llegó a la conclusión que existe una correlación parcial entre los diferentes factores climáticos que brinda MERRA, siendo de manera específica la de temperatura y el desempeño del pavimento con referencia a fractura transversal y fractura longitudinal, las cuales fueron predominantes en la sección de evaluación.

2.3 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.3.1 Pavimento Asfáltico

El pavimento es una estructura de múltiples capas de grosor finito, construida sobre la superficie final del terraplén, destinada técnica y económicamente a resistir a los esfuerzos del tráfico de los vehículos y del clima, provee a los usuarios la mejora de las condiciones de la rodadura, con seguridad, comodidad y economía (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

El pavimento asfáltico se clasifica tradicionalmente en los tipos básicos: rígidos y flexibles. El más reciente tiene una tendencia de usarse la nomenclatura de los pavimentos de concreto de cemento Portland (o simplemente concreto-cimiento) y los pavimentos asfálticos,

respectivamente, para indicar el tipo de carpeta de rodadura del pavimento. (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

Los pavimentos asfálticos son aquellos en el que carpeta de rodadura está compuesto por una mezcla básicamente de agregados y ligantes asfálticos. Está formado por cuatro capas principales: carpeta de rodadura, base, subbase y refuerzo de la subrasante. La carpeta de rodadura puede estar compuesta por una capa de apoyo, en contacto directo con las ruedas del vehículo, y por capas intermediarias o de conexión. Dependiendo del tráfico de los materiales disponibles, se puede tener la ausencia de las capas. Las capas de la estructura descansan en la subrasante, es decir la plataforma de la carretera terminada después de la conclusión de los cortes y rellenos (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008).

La carpeta de rodadura es la capa superior destinada a resistir directamente las acciones del tráfico y transmitir las de forma atenuada a las capas inferiores, impermeabilizar el pavimento, además de mejorar las condiciones de la rodadura (comodidad y seguridad). Las tensiones y deformación inducidas en la capa asfáltica por las cargas del tráfico están asociadas al agrietamiento por fatiga de esa capa. Además, se puede presentar fisura por envejecimiento del ligante asfáltico, acción climática, etc. Parte de los problemas relacionados es la deformación permanente y otro defecto puede ser atribuidas a la carpeta de rodadura. En los pavimentos asfálticos, las capas de base, subbase y refuerzo de la subrasante son de gran importancia estructural. Limitar tensiones y deformaciones en la estructura del pavimento. Por medio de la combinación de los materiales y los espesores de las capas constituyentes, ese es el objetivo de la mecánica de los pavimentos (Medina, 1997).

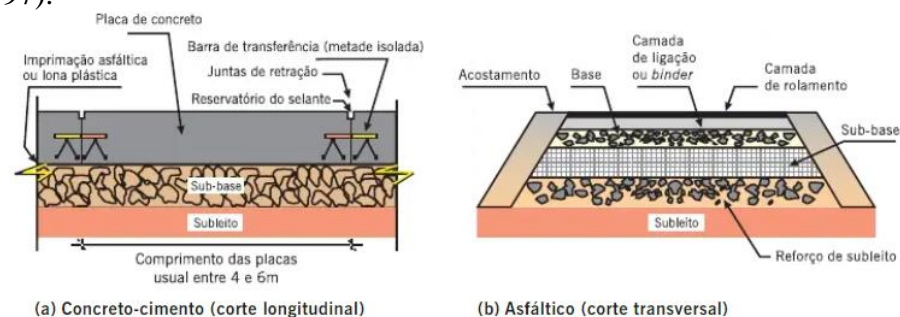


Figura 1. Estructura de pavimento.
Fuente. Ibracon 61° Congresso Brasileiro do Concreto 2019.

La carpeta de rodadura es constituida por agregados y materiales asfálticos, pudiendo ser de dos maneras principales, por penetración o por mezcla. Por penetración se refiere a los ejecutados a través de una o más aplicaciones de material asfáltico y de números idénticos de operaciones de esparcimiento y compresión de las capas de agregados con granulometrías apropiadas. En la carpeta por mezcla, el agregado es premezclado con material asfáltico, antes de compresión. Cuando el premezclado es hecho en la planta se llama premezclado en sí. Cuando el ajuste previo se realiza en la pista, se denomina premezclado en la pista.

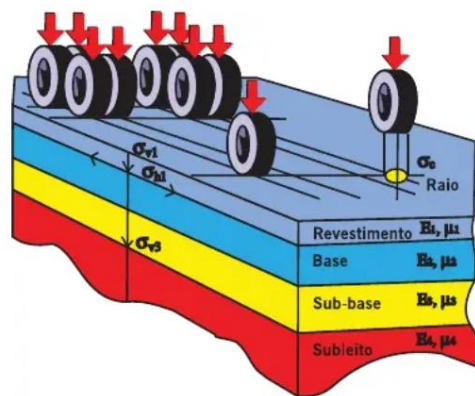


Figura 2. Ilustración del sistema de capas de un pavimento y tensiones solicitantes.

Fuente. Albernaz, 1997.

2.3.2 Ligante asfáltico

Definición.

El ligante asfáltico utilizado en el pavimento es un material bituminoso que proviene de la destilación del petróleo que tiene la propiedad de ser un adhesivo termoviscoplastico, impermeable al agua y poco reactivo. La baja actividad química a muchos agentes no evita que este material pueda sufrir, sin embargo, se genera un proceso de envejecimiento por oxidación lenta por el contacto como el aire o agua. La característica de termo viscoelasticidad del material se manifiesta en el comportamiento mecánico, siendo susceptible a la velocidad, tiempo, a la intensidad de la carga y a la temperatura en la que se encuentra. El comportamiento termo viscoelástico es más común que el termoplástico, con suficiente aproximación del comportamiento real del material. El asfalto que es un material casi soluble en benceno, tricloroetileno

o en disulfuro de carbono, propiedad que se serán utilizadas como uno de los requisitos de especificación.

Composición del ligante asfáltico.

Los asfáltenos son grupos de compuestos polares y polarizables formados por asociaciones intermoleculares, constituidos de hidrocarbonatos naftenos condensados e de cadenas saturadas cortas siendo solidos amorfos negros o marrones. La cantidad de asfalto tiene un efecto en las características reológicas del CAP: cuando mayor sea el porcentaje, más duro y viscoso será el ligante asfáltico, aunque todavía hay que considerar la forma de los asfáltenos, siendo mayor el efecto sobre la reología en cuanto más esférica fuera la partícula. En general los asfáltenos constituyen de 5 a 25% del CAP (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

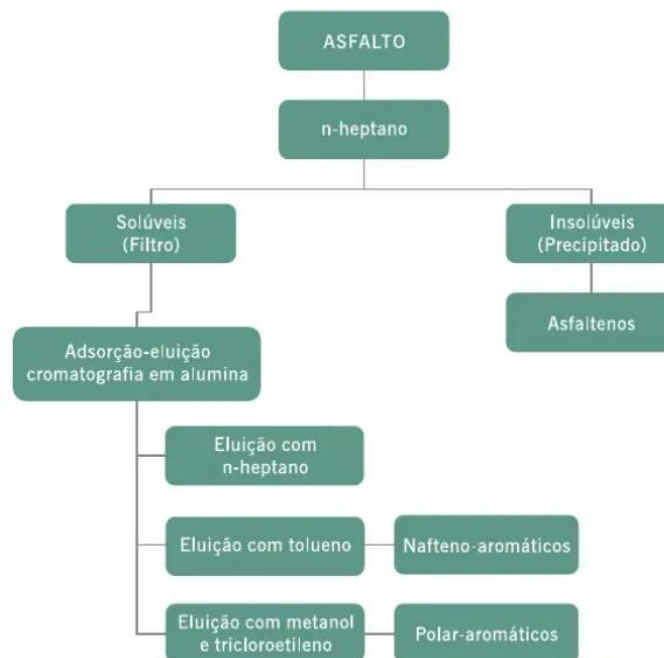


Figura 3. Composición del asfalto

Fuente: Pavimentación Asfáltica

Las resinas son solubles en n-heptano. Son compuestos de hidrogeno y carbono, como una pequeña proporción de oxígeno, azufre y nitrógeno. Son sólidos o semi solidos marrones oscuros, siendo de naturales polar y fuertemente adhesiva. Las proporciones de resinas y asfáltenos tienen como

comportamiento la solución (Sol) o como gelatina (Gel) del CAP. (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

Los componentes aromáticos son de baja masa molecular en mayor proporción en el asfalto, siendo como medio de dispersión y peptización de los asfaltenos. Estos componentes forman un líquido viscoso amarillo polar, con cadenas saturadas de carbono, constituyendo de 40 a 65% del total del asfalto. Estos elementos saturados son cadenas rectas y ramificadas de hidrocarbonatos, siendo aceites viscosos no polares transparentes, compuesto de 5 a 20% de los asfaltos. El CAP es tradicionalmente considerado una dispersión coloidal de asfaltenos saturados y aromáticos, conocidos generalmente por maltenos, inmersos en resinas, que son como micelas directas o reversas, quiere decir, grupos polares orientados para fuera o para el centro (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008).

Una micela es grupo de moléculas simples solución coloidal. Un coloide es una mezcla en la cual consiste de grandes moléculas simples, dispersas en una segunda sustancia (Leite,1999).

En presencia de cantidad suficiente de resinas y aromáticos, los asfaltenos forman micelas con buena movilidad y resultan en ligantes conocidos como Sol. Sin embargo, si las fracciones no están bien balanceadas, hay formación de estructuras de paquetes de micelas vacías internas que resultan en ligantes de comportamiento conocido como Gel, siendo un ejemplo de ese tipo de los asfaltos oxidas utilizados en impermeabilizaciones. Este comportamiento Gel puede ser minimizado con un aumento de temperatura. (Shell, 2003)

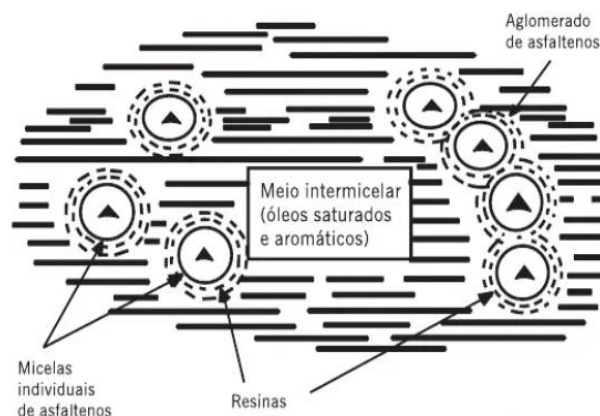


Figura 4. Modelo de micelas de Yen.
Fuente: Pavimentación Asfáltica

Los asfaltos tipo Sol presentan mayor susceptibilidad térmica por tener aceites Inter micelares muy aromáticos, lo que los vuelve más suave, menos resistentes a la aplicación directa de las cargas, por eso más susceptibles un pleno retorno a la posición original después de la aplicación de la carga. Los asfaltos tipo Gel son más resistentes a la aplicación de las cargas y menos susceptibles al retorno. (Ramos et al. 1995).

Obtención del ligante asfáltico

Hoy en día casi todo el asfalto en uso es obtenido por el procesamiento del petróleo crudo en plantas especiales denominadas refinerías. Muchas de las refinerías son localizadas cerca a locales con transporte por agua, o son suministradas por ductos a partir de terminales marítimos.

La elección del petróleo que puede resultar en un asfalto dentro de las especificaciones para el uso en la pavimentación es hecha a través de la evaluación de residuos de vacío del petróleo. En esa evaluación por los menos cinco residuos de los vacíos correspondientes a diferentes temperaturas de corte son obtenidos en unidades en punto de ebullición verdaderos en el laboratorio para cada tipo de petróleo. Los residuos son caracterizados químicamente en cuanto a los requisitos de las especificaciones peruanas. En función de los resultados obtenidos, se puede estimar las características de residuos intermedarios, más leves o pesados, aun con esos resultados se pueden construir curvas de propiedades versus temperaturas de corte, gráficos de penetración versus punto de ablandamiento y penetración versus viscosidad a 60 °C. La comparación de los resultados con las especificaciones y los criterios internos la refinería indica si el petróleo es adecuado para la producción de cementos asfálticos de petróleo y la selección de las temperaturas de corte apropiadas para la obtención de los diversos tipos de CAP. (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

El contenido de las parafinas es uno de los criterios adecuados que es determinado por medio de la calorimetría diferencial de barrido, hecha, por ejemplo, como el uso del equipamiento Sistema Mettler DSC-30/TA 4000. La calorimetría con el DSC es una técnica rápida y precisa, que consume una pequeña cantidad de muestra (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008).

La refinación es un conjunto de procesos de separación y/o transformación de los constituyentes del petróleo. Existen diferentes procesos de la refinación del petróleo que producen los ligantes asfálticos. El más antiguo es el de la destilación directa, que puede ser realizada en uno o dos etapas. Cuando el petróleo es de base asfáltica, designado por el petróleo pesado (esto es si tienen mucho asfalto, proporcionalmente a otras fracciones de petróleos). (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

Si el petróleo no es de base asfáltica, como por ejemplo los leves, son necesarios dos etapas más de destilación: la atmosférica y al vacío. Los petróleos llamados intermedios son procesados en dos etapas, resultando el llamado de residuo vacío, cuyas condiciones de presión y temperatura definen las especificaciones para uso en pavimentación. Puede emplearse la separación del asfalto por solvente cuando el petróleo procesado es leve o intermedio, el cual consiste en un proceso de extracción con alcalinos de baja masa molecular de los residuos del vacío. (Leite, 1999; Shell, 2003).

La figura 4, elaboradas originalmente por Tonial y Bastos (1995) de Petrobras, muestran los posibles procesos utilizados para la producción de ligantes asfálticos, por los métodos ya mencionados. Las refinerías tienen columnas o torres de destilación que son divididas en intervalos obteniendo el rango de temperatura de los varios cortes del petróleo (nafta, kerosene y Diesel) antes de ser obtenido el ligante asfáltico. De ahí, muchas veces el ligante asfáltico puede ser “residuo” del petróleo, aunque este término no se asocia de algún modo con el material sin características aptas para su uso, sino con el proceso de refinación. (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008)

Cuando se almacena de manera apropiada, lo que sucede de una forma general en los tanques de las refinerías, los asfaltos pueden ser mantenidos a elevadas temperaturas por un tiempo considerable sin que sea afectados adversamente (Tolonial, 2001; Shell, 2003). Sin embargo, el calentamiento a temperaturas elevadas (mayores a 150 °C), por tiempos relativamente cortos (menor de un minuto, como ocurre mecanizado) puede causar un envejecimiento elevado del ligante.

Para poder evitar un posible endurecimiento y envejecimiento del ligante durante el almacenamiento, los tanques deben estar equipados con sensores de temperatura, posicionadas en la parte de los calentadores y ser removibles para la mantenimiento frecuente. La oxidación y la pérdida de las fracciones volátiles pueden ocurrir por la superficie expuesta siendo proporcional a la área y temperatura del tanque, por lo tanto, los tanques verticalmente más altos son preferibles a los más bajos, la relación altura/ radio del tanque circular debe ser la mayor posible, teniendo en cuando la relación área/ volumen de almacenamiento. (Shell, 2003). La recirculación del material, cuando el tiempo de almacenamiento es elevado, también debe ser hecho considerando estos factores, o sea la entrada del tanque no puede ser fuente de aire para el sistema, y debe ser utilizada solamente de forma intermitente (Barani, Goretti, Pereira, & Barbosa, 2008).

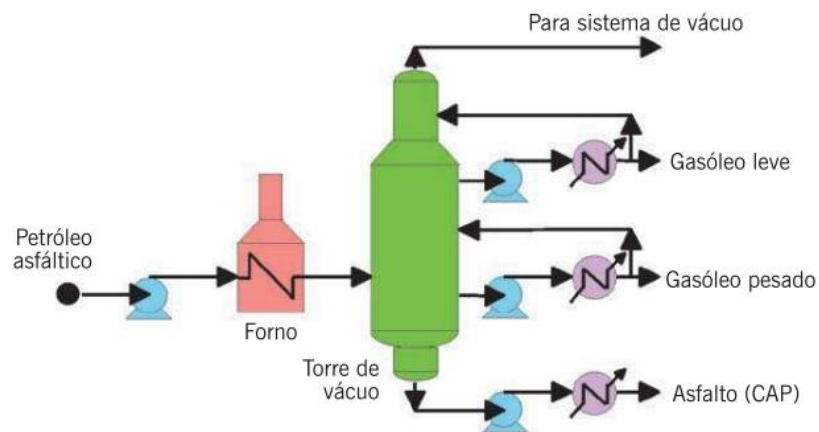


Figura 5. Esquema de producción de asfalto en una etapa.

Fuente: Manual de pavimentación Nacional Estradas rodagens (DNER).

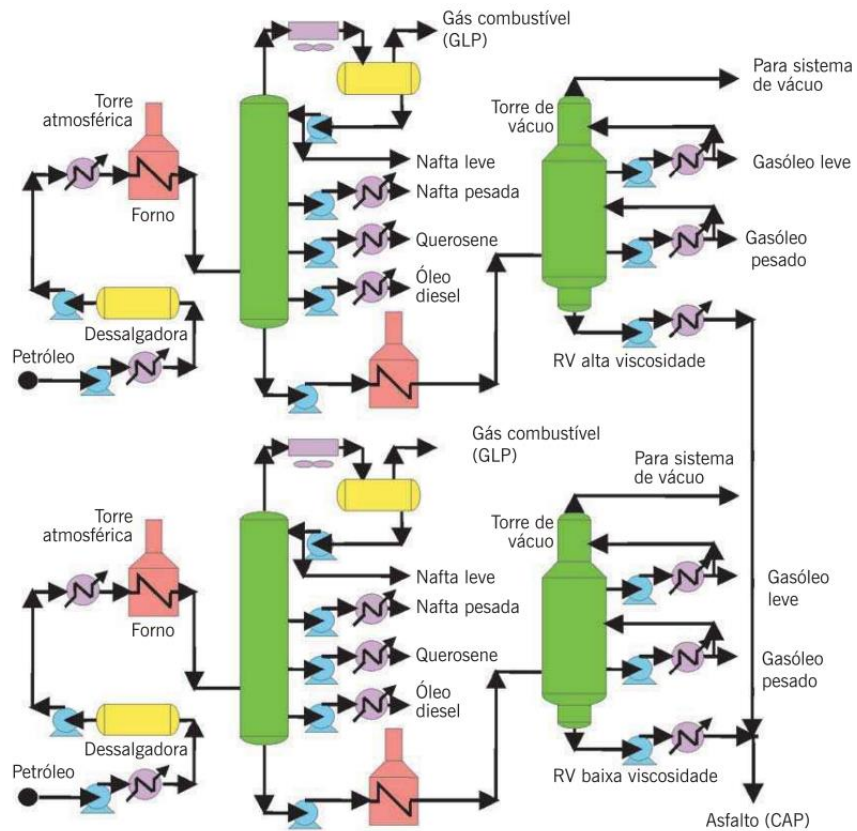


Figura 6. Esquema de producción de asfalto por mezcla de residuo de vacíos.

Fuente: Manual de pavimentación Nacional Estradas rodagens (DNER).

Comportamiento del ligante asfáltico

El ligante asfáltico como material por sí solo es interesante y desafiante cuando se trata como material de construcción. Una de sus importantes características, la cual es su fortaleza y a veces una debilidad, es la susceptibilidad térmica. Sus propiedades son muy dependientes en su temperatura. Es por eso por lo que casi todos los cementos asfálticos y las pruebas de las mezclas tienen que ser acompañadas con una prueba específica de temperatura. Sin una prueba específica de temperatura, el resultado de la prueba no puede ser efectivamente interpretada. El comportamiento del cemento asfáltico también depende del tiempo de carga. La misma carga aplicada para diferentes duraciones causa diferentes propiedades. Con la temperatura, las pruebas de cemento asfálticos tienen que especificar una tasa de carga.

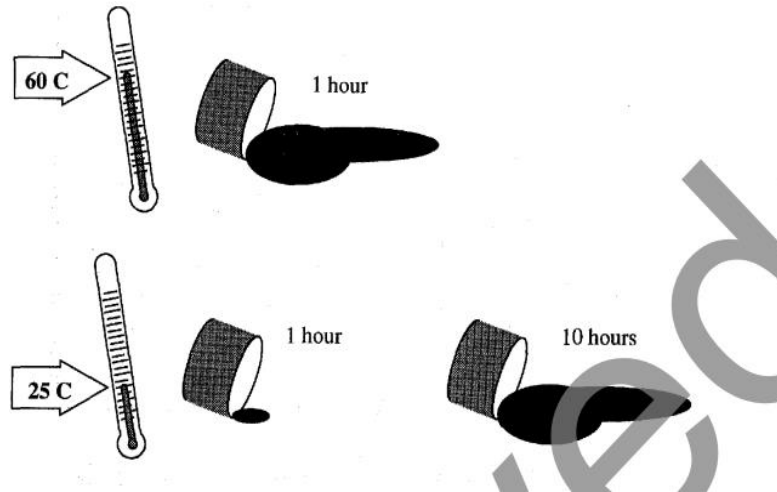


Figura 7. Comportamiento del ligante de acuerdo a la temperatura.
 Fuente: Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis.

Debido a que el comportamiento del cemento asfáltico depende de la temperatura y duración de la carga, estos dos factores pueden ser usados indistintamente. (Figura 8) Es decir, una velocidad de carga lenta puede ser simulado por altas temperaturas y una alta velocidad de carga puede ser simulada con bajas temperaturas. (Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis,1966).

El cemento asfáltico se refiere a un material viscoelástico porque muestra simultáneamente las características viscosas y elásticas. Para altas temperaturas, el cemento asfáltico actúa mayormente en un fluido viscoso. En otras palabras, cuando es sometido a una temperatura alta (ej, > 100 C), muestra la consistencia del fluido de lubricación como aceite de motor. Para temperaturas muy bajas (ej, < 0 C), el cemento asfáltico mayormente se comporta como un sólido elástico, como banda de goma cuando el material cargado se estira a una forma diferente. Cuando no está sometido a carga regresa a su forma con facilidad. Para temperaturas intermedias, en la cual también resultan ser aquellos en los que pavimentos esperan que funcionen, el cemento asfáltico tiene la viscosidad elástica y sólido elástico como características. (Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis,1966).

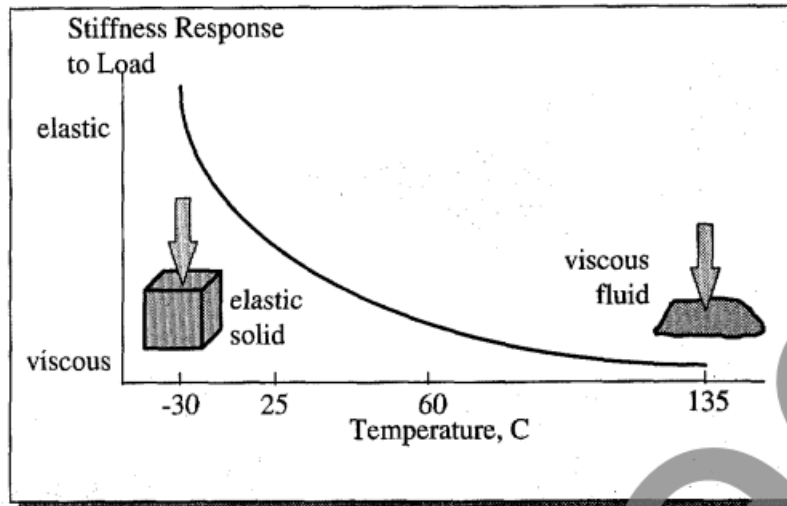


Figura 8. Comportamiento Visco-elástico del asfalto

Fuente: Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis.

Además, hay otra importante característica a cerca del cemento asfáltico, este compuesto de moléculas orgánicas reacciona con oxígeno del ambiente. Esta reacción es llamada oxidación y cambia la estructura y composición de las moléculas de asfalto. Cuando el asfalto reacciona con el oxígeno, siempre resulta una estructura más dura y quebradiza, así da lugar a los términos “endurecimiento oxidativo” o “endurecimiento del envejecimiento”. La oxidación ocurre rápidamente a altas temperaturas. Es por eso que una parte significativa del endurecimiento se produce durante la producción del MAC, cuando el cemento asfáltico es necesariamente calentado para facilitar la mezcla y compactación. Por lo que la oxidación es una preocupación cuando el cemento asfáltico es usado en pavimentos en un clima desértico (Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis,1966).

El ligante asfáltico modificado es producido de alterar y modificar las propiedades del asfalto para mejorar el rendimiento a largo plazo de los pavimentos. Mientras que el modificador afecta algunas propiedades la mayoría de modificantes trata de reducir la dependencia y el endurecimiento oxidativo del cemento asfáltico y la susceptibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas (Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis,1966).

Comportamiento de la mezcla asfáltica

El concreto asfáltico (se refiere a “mezcla asfáltica en caliente” o simplemente MAC) es un material de pavimentación que consiste en el ligante asfáltico y el mineral del agregado. El ligante asfáltico, el cual puede ser cemento asfáltico o cemento asfáltico modificado, actúa como un agente aglutinante para las partículas del agregado en una masa cohesiva. Debido que es impermeable al agua, el ligante asfáltico también funciona para impermeabilizar la mezcla. Cuando este está enlazado por el ligante asfáltico, el agregado actúa como un marco de piedra para impartir fuerza y dureza al sistema. La mezcla asfáltica en caliente contiene el ligante asfáltico y agregado, el comportamiento de la mezcla es afectada por las propiedades de los componentes individuales y como ellos actúan entre ellos en el sistema. (Background of Superpave Asphalt Mixture Design and Analysis,1966).

2.3.3 Método Superpave

Definición

El método Superpave es un método comprensivo de diseño de pavimentación de mezclas que se adaptan a los requisitos del tráfico, el clima y la sección estructural en un lugar establecido. Además, facilita la selección y la combinación de los ligantes asfálticos, agregados y cualquier necesidad de modificar para llegar mejorar los requerimientos del rendimiento del pavimento.

El sistema Superpave es aplicable para mezclas asfálticas calientes (HMA) sin ningún uso como recicladas, con o sin modificaciones. Adicionalmente, la prueba de desempeño Superpave es aplicable para la caracterización de variedades de específicas mezclas asfálticas como Stone Mastic Asphalt (SMA). Puede usarse cuando se construye una nueva superficie, carpeta y capa de base, así como superposiciones sobre pavimentos existentes. A través de la selección y diseño de la mezcla de materiales, se reduce y controla directamente la deformación permanente, el agrietamiento por fatiga y el agrietamiento por baja temperatura. Además, explícitamente considera los efectos de envejecimiento y la sensibilidad a la humedad en promover o detener el desarrollo de estas tres causas.

El objetivo del diseño de mezcla Superpave es para definir mezcla económica del ligante asfáltico y el agregado que produce en la mezcla del pavimento que se tiene: suficiente ligante asfáltico, vacíos suficientes en el agregado mineral (VMA) y vacíos de aire, suficiente trabajabilidad y unas características en el servicio de la vida del pavimento.

Si la demanda de tráfico y del clima van creciendo, el diseño de la mezcla se basa en más de las propiedades en base al desempeño para seleccionar el mejor diseño para la mezcla. La máxima contribución de los materiales en las mezclas de pavimentos para el rendimiento puede ser lograda independientemente de la estructura.

El Superpave específicamente basado en el desempeño por el agregado de las mezclas asfálticas es basada en el desempeño previsto del pavimento construido con la mezcla asfáltica bajo el diseño. El sistema Superpave provee únicamente una especificación adaptada, expresada en términos de la ruptura sin profundidad, y el área de ruptura por fatiga y el espaciamiento por la baja temperatura esperada durante una vida útil seleccionada.

Ensayos de laboratorio

Reómetro de corte dinámico (DSR)

El reómetro de corte Dinámico es un instrumento en el cual se hacen ensayos que permiten determinar los parámetros reológicos del asfalto temperaturas y niveles de esfuerzos definidos, estos son el alguno de fase y el módulo complejo en corte (G^*) y el ángulo de fase (δ) (McGennis,1994). Para el ensayo el reómetro aplicara la fuerza a temperatura constante y en dos niveles de esfuerzo, durante un segundo (fluencia) seguido por una fase de recuperación de 9 segundos en el cual no se le aplicara ningún esfuerzo

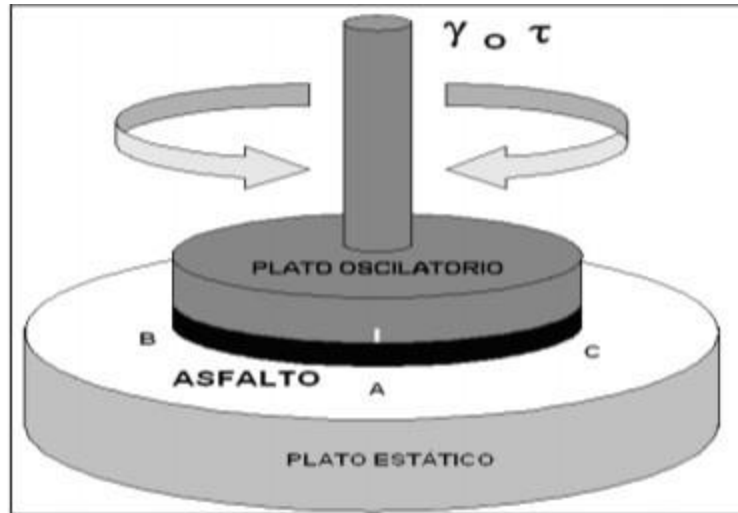


Figura 9. Reómetro de corte dinámico.

Fuente: Scielo (2015).

Para medir su deformación, el reómetro aplica un patrón senoidal. En el caso de muestras totalmente elásticas, no existe una demora entre la tensión de corte y la deformación de la muestra. En algunos casos como las muestras que son elásticas su ángulo de fase es igual a 90° . Depende de la temperatura en un material viscoelástico como el cemento asfáltico su ángulo varía desde 0 a 90° , es decir si el material está sometido a temperaturas altas el ángulo se aproximará 90° , y para temperaturas bajas se aproximará a los 0° . (SUPERPAVE, 2010).

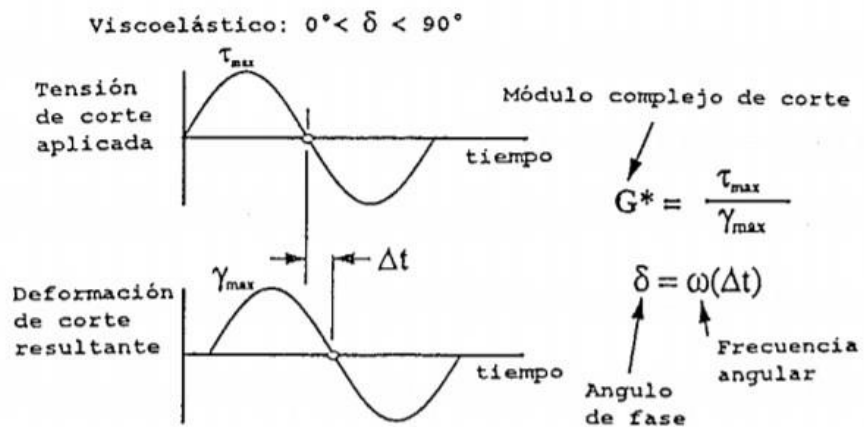


Figura 10. Módulo complejo dinámico y ángulo de fase.

Fuente: SUPERPAVE (2010).

Como se muestra en la figura, al aplicar ciclos de carga a la muestra, se generan tensiones y deformaciones, para determinar el módulo complejo

dinámico y ángulo de fase, se toman las tensiones y deformaciones máximas. En ensayo esta normado por ASTM D7175-15.

Viscosímetro rotacional (RV)

El viscosímetro rotacional es un instrumento que determina la viscosidad de un líquido. Este equipo determina la viscosidad que desarrolla una resistencia mecánica en sentido contrario al movimiento de rotación del tornillo mecánico. El viscosímetro trabaja en un rango de 1 a 100000cp. Además, el viscosímetro tiene una precisión de $<+-2\%$.

La especificación para el cemento asfáltico menciona que se requiere una viscosidad menor a 3 p.a.s.

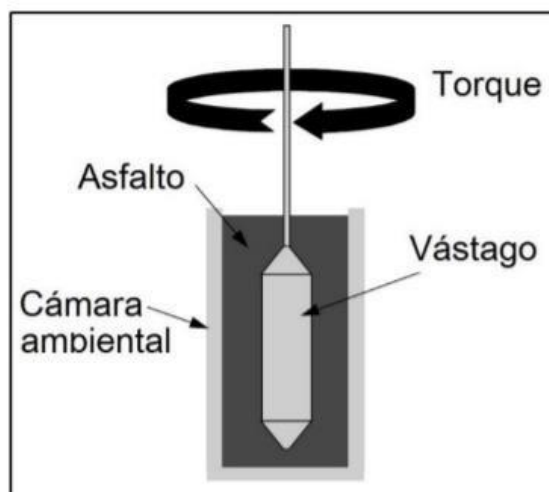


Figura 11. Elementos del viscosímetro rotacional

Fuente: SUPERPAVE (2010)

El viscosímetro rotacional mide las propiedades de consistencia del cemento asfáltico, y también se puede graficar temperatura vs viscosidad. El viscosímetro esta normado por ASTM D4402M -15 (Zambrano, 2017).

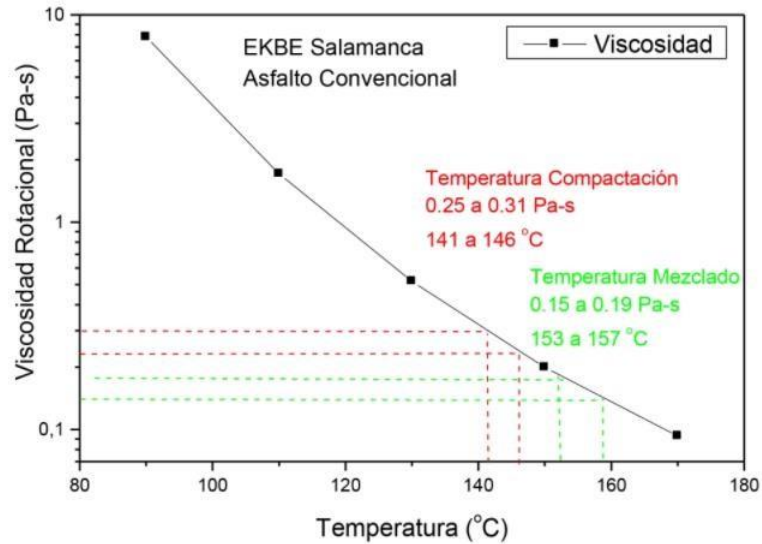


Figura 12. Gráfico viscosidad vs temperatura.

Fuente: Zambrano (2017).

Reómetro de viga a flexión (BBR)

El ensayo se aplica para poder determinar el módulo de rigidez a flexión de los ligantes asfálticos para diferentes temperaturas específica en cada ensayo. En este ensayo se trata de medir la rigidez en fluencia cuando el material en una carga constante en un ensayo de flexión de tres puntos para después medir la deflexión en función del tiempo (Eurobitume, 2015). Para el módulo de rigidez a flexión para poder determinar el comportamiento del asfalto y los ligantes asfálticos, estos estarán a una temperatura constante o a la temperatura a la que el módulo de rigidez alcance un valor dado.

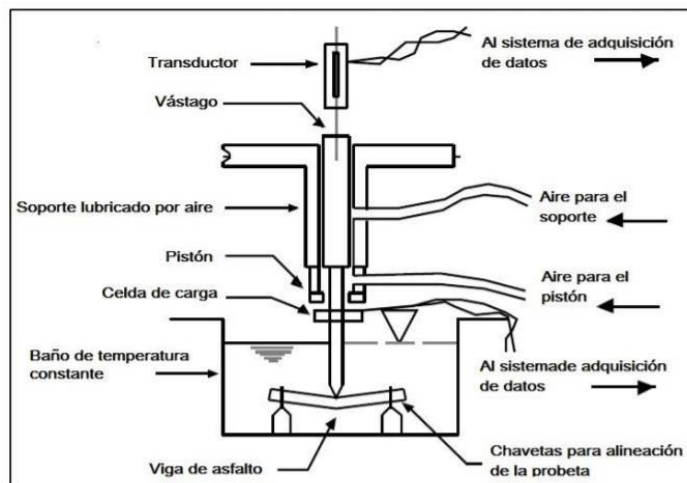


Figura 13. Partes del reómetro de viga a flexión.

Fuente: Bulnes (2017).



Figura 14. Molde de la viga.

Fuente. Bulnes (2017).

Ensayo de tracción directa (DTT)

El equipo de prueba de tensión directa, en la cual puede evaluar la propiedad mecánica como la rigidez estática y también las propiedades de falla, es por es que puede determinar estas propiedades a temperaturas muy bajas de servicio. Según la norma AASHTO T 314 desde 6° hasta los -36° , para obtener una resistencia a la tracción. En el caso de los cementos es un material en el cual se pueden estirar ampliamente antes de fallar como también pueden lograr a ser materiales rígidos.

Debido a que el SHRP derivó al ensayo de tracción directa en donde este ensayo permite medir la deformación a lo a bajas temperaturas, ya que el ensayo BBR no permite caracterizar el asfalto cuando se alarga hasta la rotura (Bulnes, 2017).

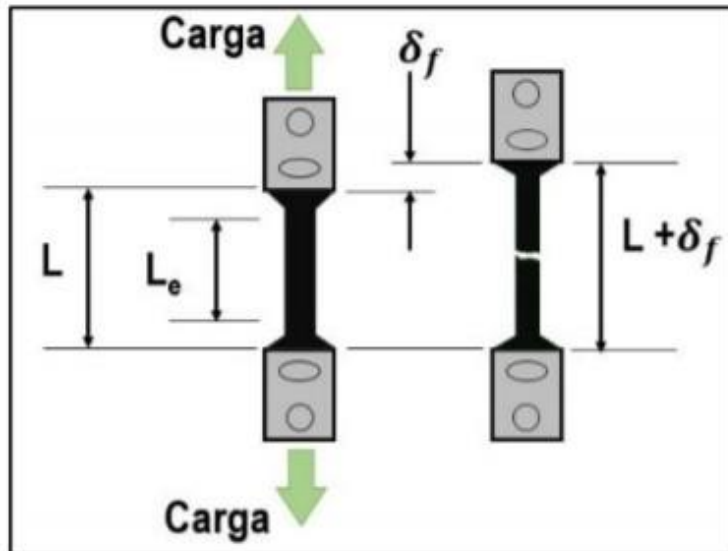


Figura 15. Deformación hasta la rotura

Fuente: Bulnes (2017)

Ensayo en estufa de película delgada (TFOT)

Este ensayo es un ensayo en el cual permite envejecer el ligante asfáltico. Este ensayo da la simulación del comportamiento del ligante al envejecimiento a corto plazo. Este ensayo se encuentra en la norma EN 12607-2 el cual simula el efecto del calor y el aire. Además, representa el envejecimiento al cual está expuesto durante el almacenamiento, manipulación y mezclado de las mezclas asfálticas. Para ligantes de mezclas asfálticas en caliente (MAC) se llevaría a cabo siempre y cuando hayan sido previamente acondicionados mediante el envejecimiento, el ensayo esta normalizado por ASTM D-1754. (Eurobitume, 2021).

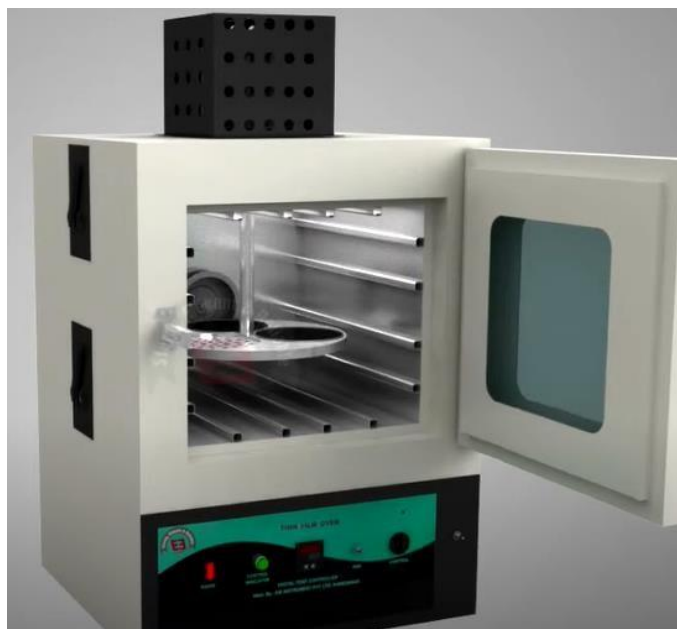


Figura 16. Muestras en la estufa precalentada a 163 °C.

Fuente: Instruments PVT (2014).

Ensayo de película delgada en horno rotatorio (TFROT)

El ensayo de película delgada en horno rotatorio es un ensayo modificado proveniente del TFOT. El desarrollo del ensayo se basa en colocar frascos en los cuales se encuentra el ligante para después ponerlo al horno de forma horizontal, debido a esto los frascos son sometidos a una temperatura de 163°C con rotación y giro. Esta rotación hace que la temperatura del frasco conserve una temperatura constante. Una vez terminada la rotación, se adiciona una cierta cantidad de aire a la muestra para que este puede retirar el vapor acumulado dentro de él. Este ensayo esta normalizado por ASTM D-2872 (Corredor, 2004)



Figura 17. Horno Rotatorio de película delgada

Fuente: Gilson Company (2013)

Cámara de envejecimiento a presión (PAV)

El ensayo de cámara de envejecimiento a presión es un ensayo en el cual permite simular el envejecimiento para un periodo de servicio entre 7 o 10 años. El prerequisite para el ensayo PAV es que se necesita que ya la muestra del ligante asfáltico este tenga un envejecimiento a corto plazo en el ensayo RTFO. El procedimiento del ensayo se trata de poner la muestra en un horno precalentado. La temperatura variará de acuerdo a las especificaciones que estará sometido el ligante asfáltico, al momento que la temperatura este de diferencia de 2°C de la temperatura deseada será sometida a presión, pasada las 20 horas, se retiran las muestras para pasarlas al horno a una temperatura de 160°C durante 30 minutos, de esta manera se elimina el aire que está atrapado en la muestra (Gilson Company, 2017).

Grado de desempeño

El Grado de Desempeño (PG) para cementos asfálticos es una clasificación que consta de la siguiente nomenclatura: PG = XX – YY, en donde el valor de XX es un valor que indica la máxima temperatura del pavimento y el valor de YY es el valor de la mínima temperatura que estará sometido el pavimento (SUPERPAVE, 2015).

Modelos matemáticos

La modelización matemática es un proceso racional por el cual se puede establecer modelos matemáticos para expresar fenómenos reales. Es tratar de comprender los fenómenos que ocurren la realidad. Para poder realizar una modelización, se requiera etapas, las cuales son: - Estudio de la situación real - Elaboración de un modelo matemático - Solución del modelo - Validar el modelo. Cervantes (2015)

Ajustes del grado de desempeño

El Grado de Desempeño obtenido aplicando los modelos matemáticos debe corregirse de acuerdo a la velocidad de diseño y el nivel de tráfico (una menor velocidad y mayor nivel de tráfico generan mayores esfuerzos en el pavimento asfáltico, por lo que se debe realizar una corrección).

2.3.4 Mapa de Grado de Desempeño (PG)

Definición

El mapa de Grado de Desempeño (PG) tiene por objetivo clasificar los ligantes asfálticos según su Grado de Desempeño (PG), la delimitación de zonas se realiza en función de las curvas de nivel y tipo de clima, para poder elaborar este Mapa es necesaria la ayuda de softwares como ArcGIS, AutoCAD, etc. Para poder realizar la edición y superposición de los datos de entrada como son las curvas de nivel y los tipos de clima. (Alcalá y Delgado, 2020).

Contar con este tipo de mapa es importante debido a que la clasificación SUPERPAVE clasifica el ligante asfáltico según sus propiedades reológicas y las relaciona con el desempeño que muestran frente a las fallas más comunes que presenta durante su vida útil (ahuellamiento, agrietamiento por fatiga, fisuramiento por contracción térmica) y al momento de desarrollar un proyecto vial se podría contar con la información del ligante asfáltico adecuado.

Clasificación climática según Thornthwaite

La clasificación de Thornthwaite (1950) fue adoptada desde un punto de vista geográfico, basándose en considerar la eficiencia térmica dada por la

Evapotranspiración potencial del mismo autor y la humedad disponible expresada como humedad y sequedad, índices del balance hídrico. Esta clasificación define el clima según la eficiencia térmica y su concentración estival, según la humedad y sus fluctuaciones estacionales, El tipo de humedad se basa en un índice de humedad global que combina dos índices: uno para la humedad y otro para la sequedad. El sistema climático según Thornthwaite, Se basa en el concepto de evapotranspiración potencial y en el balance de vapor de agua, y contiene cuatro criterios básicos: índice global de humedad, variación estacional de la humedad efectiva, índice de eficiencia térmica.

El Perú cuenta con 38 tipos climáticos según el método de clasificación climática de Warren Thornthwaite SENAMHI (2020), esto debido a su ubicación geográfica, la presencia de la cordillera de los Andes, la corriente fría marítima peruana, la corriente del niño, la latitud, la altitud, dando zonas de clima que más abundan en la costa como secas y templadas, frías y lluviosas en la sierra, cálidas y muy lluviosas en la selva.

Tabla 1. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG.

	PG 46			PG 52							PG 58				PG 64						
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento (promedio de 2 días, °C)	<46			<52							<58				<64						
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: máximo 3 Pa.s temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: G*senS, mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52							58				64						
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa, máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*senS, mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52							58				64						
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
Temperatura de curado PAV, °C	90			90							100				100						
Esfuerzo cortante dinámico G*senS, máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313 **S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión Directa, T 314:† Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013).

Tabla 2. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG.

	PG 70						PG 76						PG 82					
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34		
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C	<70						<76						<82					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34		
Asfalto original																		
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																	
Viscosidad, T 316, máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																	
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 313, °C/PaenS, mínimo 1.00 MPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
Película delgada en horno rotativo (T 246)																		
Cambio de masa, máximo, %	1.00																	
Esfuerzo cortante dinámico, T 313, °C/PaenS, mínimo 2.20 MPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
Residuo en cámara de presión (R 25)																		
Temperatura de curado PAV, °C	100 (110)						100(110)						100 (110)					
Esfuerzo cortante dinámico, °C/PaenS, máximo 3000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28		
Resistencia al desplazamiento, T 313 °F 5, máximo 300 MPa valor en, mínimo 0.100 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		
Tensión Directa, T 314, Def. unitaria de la muestra, mínimo 1.0% temp de prueba @ 1.0 minutos, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

Fuente. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013).

2.4 Definición de términos básicos

SUPERPAVE

El Superior Performance Asphalt Pavements (SUPERPAVE) es un método de diseño en el que se predice el comportamiento del pavimento e incluye nuevas especificaciones para la elección del asfalto y el agregado.

Grado de desempeño (PG)

Es el límite de temperatura máxima y mínima a la que puede estar sometida el ligante asfáltico en el cual tiene un comportamiento satisfactorio.

Zonas de grado de desempeño

Es un mapa que nos delimita de manera visual las áreas de influencia de los grados de desempeño según las condiciones climatológicas.

Modelos matemáticos

Un modelo matemático es una representación de una relación entre 2 o más variables las cuales describen un fenómeno. Esto nos permite poder evaluar, analizar y concluir los fenómenos naturales, físicos entre otros.

Susceptibilidad térmica

La susceptibilidad térmica es la propiedad que presentan algunos materiales, los cuales cambian de consistencia frente a diferentes temperaturas.

POWER DATA NASA

El proyecto Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) se inició para mejorar el actual conjunto de datos de energía renovable y crear nuevos conjuntos de datos a partir de nuevos sistemas satelitales.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Empleando modelos matemáticos de la clasificación SUPERPAVE en ligantes asfálticos se puede elaborar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) por zonas en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

3.1.2 Hipótesis específica

- a) Mediante la utilización de los modelos matemáticos se determina los grados de desempeño (PG) para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.
- b) Usando el software ArcMap se delimita el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.
- c) Las correcciones por velocidad y tráfico modifican el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

3.2 Identificación de variables

3.2.1 Definición conceptual de variables

Variable Independiente

Clasificación SUPERPAVE

Variable Dependiente

Mapa de grados de desempeño (PG)

3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla 3. Matriz de Operacionalización de Variables.

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Instrumentos	Herramienta
Clasificación SUPERPAVE	La precisión por grado de desempeño (PG) divide al ligante asfáltico en una serie de grados que indican la temperatura máxima y mínima a usar en el diseño del pavimento para un comportamiento adecuado de este.	Los grados de desempeño (PG) se obtienen en función de modelos matemáticos los cuales se basan a distintos parámetros.	Modelos Matemáticos para la determinación de los grados de desempeño (PG)	SHRP	Temperatura	Hoja cálculo	de SHRP-A-648
				LTPP	Temperatura	Hoja cálculo	LTPP de Seasonal Asphalt Concrete
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Instrumentos	Herramienta
Mapa de grados de desempeño (PG)	Es un mapa en el que se indica los grados de desempeño a ser utilizados según la ubicación del proyecto.	El mapa de grados de desempeño se zonificará de acuerdo a las temperaturas máximas y mínimas tomadas de cada estación meteorológica y se realizará los ajustes de acuerdo al tráfico y a la velocidad.	Delimitación de zonas de los grados de desempeño (PG)	Clima	Temperatura	MERRA-2 (NASA)	
				Parámetro de diseño del pavimento flexible	Tráfico	Expediente Técnico	Software ArcMap
				Parámetro de diseño geométrico	Velocidad	Expediente Técnico	

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y método de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

Tipo de investigación es básica no experimental.

El enfoque: Cuantitativo

Diseño general: Descriptivo

Diseño específico: Por el tipo de investigación es descriptivo, porque describe paso a paso la forma en que se llegó a realizar la selección del ligante asfáltico adecuado según la clasificación SUPERPAVE.

4.1.2 Método de investigación

Método: El método es deductivo porque a través del uso de los modelos matemáticos aplicados a la zona de estudio se determinarán los grados de desempeño de los ligantes asfálticos para de esta manera elaborar un mapa de grado de desempeño que permita la elección. Según Gómez (2004) el método deductivo consiste en la totalidad de reglas y procesos, con cuya ayuda es posible deducir conclusiones finales a partir de enunciados supuestos llamados premisas si de una hipótesis se sigue una consecuencia y esa hipótesis se da, entonces, necesariamente, se da la consecuencia.

Orientación: La orientación de la investigación es aplicada porque a partir de investigaciones pasadas se elaborará el mapa de grado de desempeño para ligantes asfálticos.

Enfoque: El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que, a través de la recopilación de datos, analiza los datos para dar respuesta a las preguntas de investigación.

Por la recolección de datos: Retroproyectivo.

4.2 Población de estudio

La población de estudio son los datos de temperaturas máximas y mínimas de los últimos veinte años del proyecto MERRA-2(NASA), de los distritos a realizar la investigación.

4.3 Diseño muestral

El diseño muestral es no probabilístico debido a que se tomará como dato todas las temperaturas máximas y mínimas de los últimos veinte años de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Apurímac.

4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos estará basada en la recolección de los datos de temperaturas máximas y mínimas registradas en los últimos veinte años de los distritos de las regiones de Ayacucho, Huancavelica y Apurímac con ayuda del programa MERRA-2(NASA). Se usará una hoja de cálculo para el registro de los datos de temperaturas.

Técnica: Revisión documental

Instrumentos: Los programas que se usaron para la recolección de los datos de temperatura máximas y mínimas son la hoja de cálculo y el programa MERRA 2.

4.5 Procedimientos para la recolección de datos

1. Se descargó el programa MERRA 2 de la NASA.
2. Se abrió el programa y se descargaron los datos de la temperatura mínima y máxima por día de los últimos 20 años de las estaciones meteorológicas de las regiones de Apurímac.
3. Con los datos obtenidos, se colocó en una hoja de cálculo, en este caso se utilizó el programa Excel.
4. A partir de ello, se pudo desarrollar con los datos obtenidos.

4.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos serán los modelos matemáticos SHRP y LTPP para calcular las temperaturas máximas y mínimas de las regiones a estudiar y de esta manera determinar los grados de desempeño a usar y poder elaborar el mapa de grado de desempeño.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

5.1 Desarrollo de la investigación

5.1.1 Datos geográficos de los distritos de las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

Huancavelica

El departamento de Huancavelica se encuentra ubicado en la sierra sur del territorio peruano, tiene una superficie de 22 131 km² . Limita por el norte con Junín, por el este con Ayacucho, por el sur con Ica y Ayacucho. Huancavelica políticamente se encuentra dividido en 7 provincias y 100 distritos, siendo su capital Huancavelica. Huancavelica está ubicada desde los 1 139 m.s.n.m. y los 5 298 m.s.n.m. (Banco Central de Reserva del Perú, 2021). Tiene una latitud y longitud de -12.78261 y -74,97266 respectivamente.



Figura 18. Mapa de la región de Huancavelica
Fuente: Gobierno Regional de Huancavelica.

Ayacucho

El departamento de Ayacucho se encuentra ubicado en la zona sur – central del territorio peruano, con un área total de 43 821 km² . Limita por el norte con Junín, por el noreste con Huancavelica por el oeste con Ica, por el sur con Arequipa, por el este con Apurímac, y con el Cusco por el nor-este. Tiene una latitud y longitud de -13.15878 y -74.22321 respectivamente. (Banco Central de Reserva del Perú, 2021)

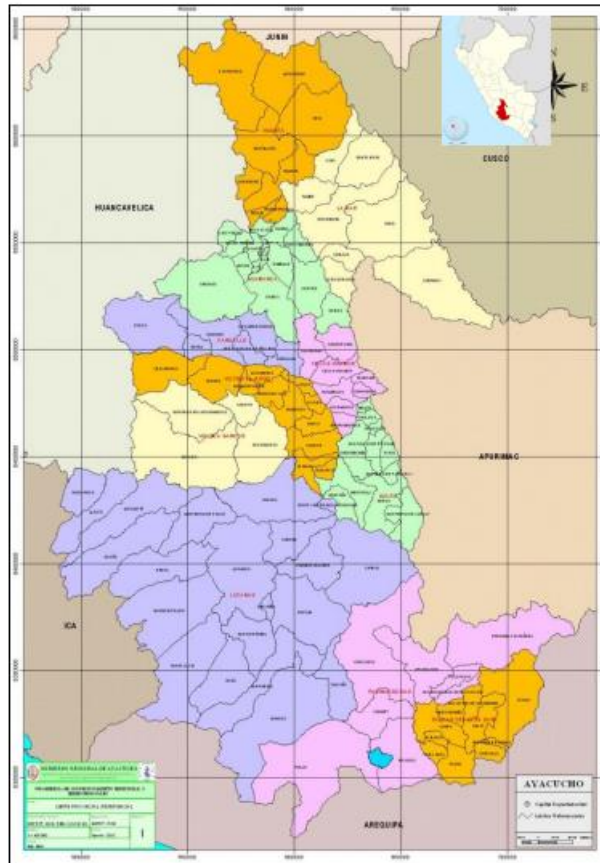


Figura 19. Mapa de la región de Ayacucho.

Fuente: Gobierno Regional de Ayacucho.

Apurímac

Apurímac tiene una superficie territorial de 20 896 km² El Departamento de Apurímac se encuentra ubicado en el sur este de los andes centrales del Perú, limita por el norte con los departamentos de Ayacucho y Cusco, por el nor-oeste, oeste y el sur-oeste con el departamento de Ayacucho, por el nor-este, este y sur-este con el departamento de cusco y por el sur con Arequipa. Tiene una latitud y longitud de -14,07223 y -7247652 respectivamente. (Banco Central de Reserva del Perú, 2021)



Figura 20. Mapa de la región de Apurímac.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

5.1.2 Selección de estaciones meteorológicas

Para la presente investigación se ubicaron las Estaciones Climatológicas (EC) a lo largo de la red vial nacional que atraviesa los departamentos de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

De estas estaciones se tomaron los registros climatológicos de los últimos 20 años utilizando la base de datos del programa MERRA 2 debido a que SENAMHI no cuenta con la información requerida. Se obtuvo información desde enero del año 2001 hasta diciembre del 2021.

Se colocaron estaciones climatológicas ubicadas estratégicamente a lo largo de la red vial nacional en cada departamento, en los cuales 63 estaciones para el departamento de Huancavelica, 52 estaciones para el departamento de Ayacucho y 46 estaciones para el departamento de Apurímac.

5.1.3 Recolección de datos geográficos para las estaciones seleccionadas para los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica.

Tabla 4. Datos geográficos de las estaciones seleccionadas para el departamento de Ayacucho.

ESTACIONES	COORDENADAS		Altitud(m)
	LAT(°)	LONG(°)	
KIMBIRI	-12.62319	-73.791863	619
AYNA	-12.722327	-73.885804	1295
E5A	-12.743803	-73.973628	2152
E6A	-12.885145	-74.014881	3259
E7	-12.986114	-74.082308	4212
LA QUINUA	-13.066921	-74.150923	3052
HUANTA	-12.936688	-74.250833	2640
E8	-12.852828	-74.331059	2180
E9	-13.026865	-74.346161	2592
AYACUCHO	-13.134289	-74.204745	2600
E10	-13.254014	-74.234936	3444
E11	-13.318205	-74.348529	3269
E12	-13.349068	-74.457241	3541
E13	-13.341873	-74.631619	4124
PTE PAMPAS	-13.435448	-73.828581	1963
E1	-13.381745	-74.189567	3951
CONDORCCOCHA	-13.445368	-74.194118	3617
PAMPA CANGALLO	-13.528896	-74.191427	3453
HUAHUAPUQUIO	-13.596864	-74.155810	2973
CANGALLLO	-13.63657	-74.137080	2550
HUANCAPI	-13.747658	-74.067494	3100
ATAHUI	-13.775141	-74.019573	3566
CAYARA	-13.796538	-73.986521	3219
HUALLA	-13.844289	-73.951740	3385
CANARIA	-13.917629	-73.903935	3161
TACA	-13.958845	-73.913851	3090
HUATANOSA	-14.033836	-73.838729	3577
MORCOLLA	-14.115642	-73.872144	3624
E2	-14.151275	-73.849620	3931
HUACAÑA	-14.172718	-73.884787	3134
CHIPAO	-14.246192	-73.952479	2973
CABANA	-14.294971	-73.969393	3320
ANDAMARCA	-14.382663	-73.958712	3445
E3	-14.529727	-73.999134	4354
PUQUIO	-14.687964	-74.116431	3201
YAURIVIRI	-14.635577	-73.971709	4403
NEGROMAYO	-14.64349	-73.756059	4461
PAMPAMARCA	-14.562812	-73.552196	4268
SANTIAGO DE VADO	-14.605412	-74.272504	3248
E4	-14.666046	-74.445724	3978
PARAISO	-14.827057	-74.688675	2578
COCHALLA	-14.722733	-74.068457	3235
CAPILLYOC	-14.837686	-73.964702	3914
CHAVIÑA	-14.975863	-73.835132	3328
CORACORA	-15.025461	-73.782955	3242
CARHUANILLA	-15.13775	-73.740831	3414
INCAHUASI	-15.239444	-73.733595	3292
COLLONI	-15.263316	-73.629198	3305
INCUYO	-15.246159	-73.569221	3295
E5	-15.343098	-73.601180	3362
E6	-15.406538	-73.558884	3520

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la aplicación de Google Earth se marcaron estaciones a lo largo de la red vial en el departamento de Huancavelica se obtuvieron los datos de las coordenadas en cada estación.

Tabla 5. Datos Geográficos de las estaciones seleccionadas para el departamento de Huancavelica.

ESTACIONES	LAT (°)	LONG(°)	Altitud(m)
PAZOS	-12.25909	-75.069902	3804
MULLAMPA	-12.30105	-75.032450	3913
TACLLACURI	-12.35506	-74.805747	3450
CARPAPATA	-12.38131	-74.770767	3852
HUAMANJASA	-12.58808	-74.532481	4248
LOCROJA	-12.75225	-74.389043	3046
MAYOCC	-12.80616	-74.390600	2212
ALCCOMACHAY	-12.84092	-74.338789	2190
ACOSTAMBO	-12.36319	-75.056097	3609
CUENCA	-12.43248	-75.030783	2953
IZCUCHACA	-12.51062	-74.974518	3045
CHUPACA	-12.51202	-74.852232	2779
QUICHUAS	-12.47152	-74.766908	2704
VILLENE	-12.52125	-74.691864	2601
PALLALLA	-12.55959	-74.710177	2578
PORURO	-12.59218	-74.670581	2572
LA ESMERALDA	-12.65006	-74.625483	2582
VILLA RICA	-12.78829	-74.498752	2331
HUANDO	-12.56847	-74.949184	3612
PALCA	-12.64514	-74.956301	3533
SACHAPITE	-12.75616	-74.907613	4028
CUNYAC	-12.86444	-74.845980	4304
CCOCHACCASA	-12.93311	-74.781508	4296
LIRCAY	-13.00305	-74.722794	3304
PAGUANA	-13.03923	-74.704375	3444
JOCHATAY	-13.09347	-74.479632	3772
SECCLLA	-13.08263	-74.432909	3565
JULCAMARCA	-13.02569	-74.372210	2633
PLAZAPATA	-12.84618	-75.095564	4184
HUARACOPATA	-12.9183	-75.209739	4683
ALLJAHUASI	-12.99844	-75.350514	4817
SAN PABLO	-13.02538	-75.452094	4647
ARMA	-13.14034	-75.547566	3234
HUANCHO CHICO	-13.3357	-75.686232	1140
HUACHOS	-13.22738	-75.531176	2784
CAPILLAS	-13.33668	-75.517269	3583
CHULLASUYO	-13.38478	-75.514086	3455
MOLLEPAMPA	-13.33463	-75.429803	2313
COCAS	-13.28281	-75.362870	3472
SUYTUPAMPA	-13.23159	-75.342107	4314
CASTROVIRREYNA	-13.27509	-75.319503	4036
PUENTE INFIERNILLO	-13.33752	-75.320978	3588
CRUZCASA	-13.38679	-75.356043	3205
TICRAPO	-13.38869	-75.434517	2195
HUACHACC	-13.43051	-75.464306	1765
PAMPA BLANCA	-13.50048	-75.481988	1506
SAN JUAN DE	-12.95024	-75.097734	4496
PUCAPAMPA	-13.13192	-75.080648	4665
SANTA INES	-13.22083	-75.103578	4628
HUARAJO	-13.25494	-75.087432	4525
PILPICHACA	-13.33506	-74.983722	4069
RUMICHACA	-13.37592	-74.939524	3958

ESTACIONES	LAT (°)	LONG(°)	Altitud(m)
JACCAPAQUI	-13.35562	-74.724581	4637
TABLACOCHA	-13.48008	-75.086349	4493
MIRACALLA	-13.53122	-75.173232	4395
HUAYTARA	-13.59729	-75.313588	3316
TULLPA	-13.61557	-75.426036	2120
PUENTE HUAYTARA	-13.58784	-75.514857	1450
AYAVI	-13.65884	-75.398020	3727
TAMBILLOS	-13.76285	-75.489546	1725
RAMADILLAS	-13.70722	-75.412786	2711

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6. Datos Geográficos de las estaciones seleccionadas para el departamento de Apurímac.

ESTACIONES	COORDENADAS		Altitud(m)
	LAT (°)	LONG(°)	
CHINCHEROS	-13.515713	-73.717775	2853
URIPA	-13.535657	-73.673678	3256
E14	-13.602507	-73.595085	4229
ALEJOPATA	-13.650911	-73.520433	3449
ANDAHUAYLAS	-13.663175	-73.394078	2884
E15	-13.644799	-73.33206	3310
CHAMPACCOCHA	-13.66037	-73.284482	3577
E16	-13.666621	-73.187343	4131
E17	-13.714627	-73.167835	3823
E18	-13.68034	-73.13132	3730
E19	-13.691998	-73.117614	3664
CURAMBA	-13.612618	-73.134686	3471
HUANCARAMA	-13.650244	-73.084574	3005
E20	-13.685205	-73.019997	3413
E21	-13.65103	-72.97497	2928
ABANCAY	-13.635497	-72.89113	2360
SOCCLACCASA	-13.58176	-72.835165	3759
SAYWITE	-13.541218	-72.802928	3704
CURAHUASI	-13.540826	-72.707295	2645
CUNYAC	-13.563208	-72.575418	1857
E22	-13.797382	-73.369949	3764
E23	-13.973099	-73.42712	3970
E24	-14.214846	-73.536996	3374
E25	-13.788813	-72.947873	1954
E26	-13.861851	-73.017538	2038
E27	-13.975934	-73.156674	2270
E28	-14.141693	-73.303709	2600
CHALHUANCA	-14.29608	-73.245585	2920
CARAIBAMBA	-14.369529	-73.168544	3122
E29	-14.520422	-73.277797	4205
E30	-14.547183	-73.500133	4518
LAMBRAMA	-13.868297	-72.774234	3261
LLIULLITA	-14.003305	-72.801348	4592
CHUQUIBAMBILLA	-14.103178	-72.709245	3352
VILCABAMBA	-14.076427	-72.618543	2926
AIRIHUANCA	-14.114894	-72.614258	3511
MANCAHUARA	-14.065951	-72.580261	3701
PROGRESO	-14.075203	-72.474028	3856
CHALLHUAHUACHO	-14.116146	-72.242093	3743
E31	-14.187972	-72.208848	3924
E32	-14.254852	-72.130274	3975
TAMBOBAMBA	-13.946743	-72.174702	3492
E33	-13.798334	-72.262701	4124
COTABAMBAS	-13.757658	-72.36224	3378
HUALLPACHACA	-13.690191	-72.336136	2141

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4 Recolección de datos meteorológicos:

Después de obtener los datos geográficos de las distintas estaciones climáticas en los departamentos seleccionados de la red vial del Perú. Se utilizó el software MERRA 2 de la Nasa, en el cual se puede obtener las temperaturas máximas y mínimas con una distancia de 2 metros hacia arriba de la altitud en la que se encuentra cada estación climática.

Para recolectar los datos, debido a que metodología SUPERPAVE se tiene que tomar un registro de las temperaturas durante los 20 últimos años para después calcular las temperaturas máximas y mínimas de la temperatura del aire, en nuestro caso se tomó 21 años, desde enero del 2001 hasta el 31 de diciembre del 2021.

5.1.5 Temperaturas máximas y mínimas del aire:

Para la temperatura máxima por año se tuvo que determinar el promedio de los 7 días consecutivos dentro de todo el año, y se utilizó el promedio más alto. Se repitió el procedimiento para los 20 años faltantes. Una vez obtenidos las temperaturas máximas por año se procedió a promediar los 21 años utilizados. Ese valor fue asumido para cada año y se repitió para cada estación climática seleccionada.

Para sacar la máxima temperatura por año, se utilizó el promedio más alto de los 7 días más calurosos del año.

Ejemplo:

Tabla 7. Temperatura promedio en la estación Chipao.

YEAR	Día	TMAX día(°C)	TMIN día(°C)	Tpmax(°C)
2001	1	16.04	4.94	16.4629
2001	2	17.01	5.26	16.3771
2001	3	16.92	5.42	16.3843
2001	4	15.22	4.07	16.3229
2001	5	17.33	4.51	16.3871
2001	6	16.44	4.31	16.3114
2001	7	16.28	4.56	16.1943
2001	8	15.44	4.35	16.1886
2001	9	17.06	3.37	16.2343
2001	10	16.49	3.37	15.9614
2001	11	15.67	3.14	15.31
2001	12	16.8	4.44	15.3571
2001	13	15.62	3.66	14.7086
2001	14	16.24	2.02	14.5814

Fuente: Elaboración propia.

$$T_{\text{promedio de 7 días}} = (16,04+17,01+16,92+15,22+17,33+16,44+16,28) /7= 16,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Se repitió el mismo procedimiento para cada año de cada estación en cada departamento, hasta conseguir la temperatura máxima por año.

Para la temperatura mínima se escogió la temperatura mínima del año. Se repitió el mismo procedimiento para cada año de cada estación de cada departamento, hasta recolectar la temperatura mínima por año de todas las estaciones seleccionadas.

Tabla 8. Temperaturas máximas y mínimas en el distrito de Chipao en el departamento de Ayacucho.

Distrito Chipao		
YEAR	TMAX(°C)	TMIN(°C)
2001	18.74857143	-3.1
2002	19.59857143	-4.31
2003	19.7	-2.78
2004	19.37142857	-2.78
2005	20.42571429	-2.3
2006	19.73571429	-3.15
2007	19.93714286	-3.66
2008	19.71142857	-2.43
2009	20.29571429	-2.24
2010	20.29142857	-2.65
2011	19.25285714	-3.69
2012	19.32285714	-3.79
2013	19.72	-1.49
2014	20.06857143	-4.45
2015	20.85714286	-4.81
2016	20.36285714	-2.97
2017	20.88428571	-3.39
2018	21.43	-3.54
2019	19.29428571	-1.84
2020	20.89	-2.24
2021	19.53428571	-2.51

Fuente: Elaboración propia.

Al finalizar de obtener las temperaturas máximas y mínimas en cada estación climática pasamos a calcular la desviación estándar.

A continuación, las temperaturas máximas y mínimas para los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica.

Tabla 9. Temperaturas máximas y mínimas del departamento de Ayacucho.

DEPARTAMENTO DE AYACUCHO				
ESTACIONES	Tmax(°C)	Tmin(°C)	Des. Est TMAX	Des. Est MIN
KIMBIRI	25.20	7.30	0.66	0.59
AYNA	25.67	6.83	0.87	0.61
E5A	15.35	7.30	0.37	0.59
E6A	22.88	3.91	0.66	0.76
E7	18.65	-2.29	0.54	0.69
LA QUINUA	18.65	-2.29	0.54	0.69
HUANTA	15.75	18.65	1.19	0.54
E8	18.65	-2.29	0.54	0.69
E9	18.65	-2.29	0.54	0.69
AYACUCHO	18.82	-2.44	0.59	0.73
E10	18.91	-3.30	0.57	0.63
E11	18.91	-3.30	0.57	0.63
E12	18.91	-3.30	0.57	0.63
E13	18.91	-3.30	0.57	0.63
PTE PAMPAS	21.73	1.06	0.72	0.90
E1	18.91	-3.30	0.57	0.63
CONDORCCOCHA	18.91	-3.30	0.57	0.63
PAMPA CANGALLO	18.91	-3.30	0.57	0.63
HUAHUAPUQUIO	18.91	-3.30	0.57	0.63
CANGALLLO	18.91	-3.30	0.57	0.63
HUANCAPI	18.91	-3.30	0.57	0.63
ATAHUI	20.23	-3.40	1.47	1.03
CAYARA	19.97	-3.05	0.67	0.87
HUALLA	19.97	-3.05	0.67	0.87
CANARIA	19.97	-3.05	0.67	0.87
TACA	19.97	-3.03	0.67	0.88
HUATANOSA	19.97	-3.05	0.67	0.87
MORCOLLA	19.97	-3.05	0.67	0.87
E2	19.97	-3.05	0.67	0.87
HUACAÑA	19.97	-3.05	0.67	0.87
CHIPAO	19.97	-3.05	0.67	0.87
CABANA	19.40	-5.17	0.66	0.69
ANDAMARCA	18.76	-5.02	1.27	0.61
E3	19.12	-5.02	0.55	0.61
PUQUIO	20.61	-2.70	0.73	0.51
YAURIVIRI	19.12	-5.02	0.55	0.61
NEGROMAYO	19.12	-5.02	0.55	0.61
PAMPAMARCA	19.12	-5.02	0.55	0.61
SANTIAGO DE VADO	20.61	-2.70	0.73	0.51
E4	20.61	-2.70	0.73	0.51
PARAISO	28.91	10.57	0.51	0.70
COCHALLA	20.61	-2.77	0.73	0.47
CAPILLYOC	22.98	-2.00	0.60	0.47
CHAVIÑA	22.98	-2.00	0.60	0.47
CORACORA	22.98	-2.00	0.60	0.47
CARHUANILLA	22.98	-2.00	0.60	0.47
INCAHUASI	22.98	-2.00	0.60	0.47
COLLONI	24.43	2.02	0.42	0.65
INCUYO	22.98	-2.00	0.60	0.47
E5	24.43	2.02	0.42	0.65
E6	24.43	2.02	0.42	0.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Temperaturas máximas y mínimas del departamento de Apurímac.

ESTACIONES	LAT (°)	LONG(°)	Altitud(m)	TMAX AIR(°C)	TMIN AIR(°C)	Des. Est TMAX (°C)	Des. Est MIN (°C)
CHINCHEROS	-13.516	-73.718	2853	21.54	1.15	1.0986	1.0075
URIPA	-13.536	-73.674	3256	21.64	1.21	0.8095	1.1087
E14	-13.603	-73.595	4229	21.64	1.21	0.8095	1.1087
ALEJOPATA	-13.651	-73.52	3449	21.73	1.06	0.7220	0.8990
ANDAHUAYLAS	-13.663	-73.394	2884	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E15	-13.645	-73.332	3310	21.71	1.63	1.0348	0.5892
CHAMPACCOCHA	-13.66	-73.284	3577	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E16	-13.667	-73.187	4131	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E17	-13.715	-73.168	3823	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E18	-13.68	-73.131	3730	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E19	-13.692	-73.118	3664	21.71	1.63	1.0348	0.5892
CURAMBA	-13.613	-73.135	3471	21.71	1.63	1.0348	0.5892
HUANCARAMA	-13.65	-73.085	3005	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E20	-13.685	-73.02	3413	21.71	1.63	1.0348	0.5892
E21	-13.651	-72.975	2928	21.71	1.63	1.0348	0.5892
ABANCAY	-13.635	-72.891	2360	21.71	1.63	1.0348	0.5892
SOCCLLACCASA	-13.582	-72.835	3759	21.71	1.63	1.0348	0.5892
SAYWITE	-13.541	-72.803	3704	18.53	-1.25	0.9308	1.0028
CURAHUASI	-13.541	-72.707	2645	18.53	-1.25	0.9308	1.0028
CUNYAC	-13.563	-72.575	1857	18.53	-1.25	0.9308	1.0028
E22	-13.797	-73.37	3764	19.99	-2.26	0.9200	1.1390
E23	-13.973	-73.427	3970	19.99	-2.26	0.9200	1.1390
E24	-14.215	-73.537	3374	19.86	-2.86	0.8526	1.2541
E25	-13.789	-72.948	1954	19.99	-2.26	0.9200	1.1390
E26	-13.862	-73.018	2038	19.99	-2.26	0.9200	1.1390
E27	-13.976	-73.157	2270	19.99	-2.26	0.9200	1.1390
E28	-14.142	-73.304	2600	19.99	-2.26	0.9200	1.1390
CHALHUANCA	-14.296	-73.246	2920	17.95	-5.44	0.9612	1.0474
CARAIBAMBA	-14.37	-73.169	3122	17.95	-5.44	0.9612	1.0474
E29	-14.52	-73.278	4205	17.95	-5.44	0.9612	1.0474
E30	-14.547	-73.5	4518	18.98	-4.89	0.8585	0.8688
LAMBRAMA	-13.868	-72.774	3261	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
LLIULLITA	-14.003	-72.801	4592	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
CHUQUIBAMBILLA	-14.103	-72.709	3352	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
VILCABAMBA	-14.076	-72.619	2926	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
AIRIHUANCA	-14.115	-72.614	3511	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
MANCAHUARA	-14.066	-72.58	3701	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
PROGRESO	-14.075	-72.474	3856	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
CHALLHUAHUACHO	-14.116	-72.242	3743	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
E31	-14.188	-72.209	3924	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
E32	-14.255	-72.13	3975	19.19	-5.11	0.8512	1.3700
TAMBOBAMBA	-13.947	-72.175	3492	19.81	-2.45	0.9305	1.1463
E33	-13.798	-72.263	4124	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
COTABAMBAS	-13.758	-72.362	3378	18.73	-3.07	0.9289	1.1011
HUALLPACHACA	-13.69	-72.336	2141	18.53	-1.25	0.9308	1.0028

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.6 Temperatura máxima y mínima al 98% y 50%

Para la temperatura máxima y mínima, se utilizaron cálculos estadísticos, para obtener un valor adecuado en las temperaturas máximas y mínimas con una confiabilidad del 98% y 50%.

Tabla 11. Temperatura máxima y mínima del aire con una confiabilidad del 98% y 50%, de las estaciones de Ayacucho.

ESTACIONES	Z98=	2.32	Z50=	0.6745
KIMBIRI	TMAX AIR98	TMIN AIR98	TMAX AIR50	TMIN AIR50
AYNA	26.7176	5.93906	25.6398	6.90399
E5A	27.6773	5.40084	26.2536	6.41146
E6A	16.2101	5.93906	15.598	6.90399
E7	24.4023	2.15525	23.3194	3.40018
LA QUINUA	19.8999	-3.897	19.0147	-2.7572
HUANTA	19.8999	-3.897	19.0147	-2.7572
E8	18.5015	17.4039	16.5486	18.2891
E9	19.8999	-3.897	19.0147	-2.7572
AYACUCHO	19.8999	-3.897	19.0147	-2.7572
E10	20.1896	-4.1288	19.2175	-2.9344
E11	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
E12	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
E13	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
PTE PAMPAS	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
E1	23.4039	-1.0248	22.2158	0.45457
CONDORCCOCHA	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
PAMPA CANGALLO	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
HUAHUAPUQUIO	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
CANGALLO	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
HUANCAPI	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
ATAHUI	20.2255	-4.7633	19.2956	-3.7251
CAYARA	23.6382	-5.7847	21.2215	-4.096
HUALLA	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
CANARIA	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
TACA	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
HUATANOSA	21.53	-5.0803	20.4257	-3.6254
MORCOLLA	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
E2	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
HUACAÑA	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
CHIPAO	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
CABANA	21.53	-5.0694	20.4257	-3.6395
ANDAMARCA	20.9433	-6.7648	19.85	-5.6343
E3	21.7156	-6.4395	19.6199	-5.4327
PUQUIO	20.4025	-6.4395	19.4932	-5.4327
YAURIVIRI	22.3157	-3.8749	21.1069	-3.0423
NEGROMAYO	20.4025	-6.4395	19.4932	-5.4327
PAMPAMARCA	20.4025	-6.4395	19.4932	-5.4327
SANTIAGO DE VADO	20.4025	-6.4395	19.4932	-5.4327
E4	22.3157	-3.8749	21.1069	-3.0423
PARAISO	22.3157	-3.8749	21.1069	-3.0423
COCHALLA	30.0912	8.94707	29.2562	10.0975
CAPILLYOC	22.3157	-3.8529	21.1069	-3.0838
CHAVIÑA	24.3763	-3.0968	23.3879	-2.3162
CORACORA	24.3763	-3.0968	23.3879	-2.3162
CARHUANILLA	24.3763	-3.0968	23.3879	-2.3162
INCAHUASI	24.3763	-3.0968	23.3879	-2.3162
COLLONI	24.3763	-3.0968	23.3879	-2.3162
INCUYO	25.3941	0.51553	24.7081	1.57922
E5	24.3763	-3.0968	23.3879	-2.3162
E6	25.3941	0.51553	24.7081	1.57922

Fuente: Elaboración propia

Se observó que la temperatura máxima para el departamento de Ayacucho fue de 30,09 °C en la estación del Paraíso con una confiabilidad de 98%, y para la temperatura mínima fue de -6,76 °C en la estación Cabaña.

Tabla 12. Temperatura máxima y mínima del aire con una confiabilidad del 98% y 50%, de las estaciones de Apurímac.

ESTACIONES	Z98=	2.32	Z50=	0.6745
	TMAX AIR98	TMIN AIR98	TMAX AIR50	TMIN AIR50
CHINCHEROS	24.0872	-1.1894	22.2795	0.46852
URIPA	23.5218	-1.3666	22.1899	0.45767
E14	23.5218	-1.3666	22.1899	0.45767
ALEJOPATA	23.4039	-1.0248	22.2158	0.45457
ANDAHUAYLAS	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E15	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
CHAMPACCOCHA	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E16	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E17	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E18	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E19	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
CURAMBA	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
HUANCARAMA	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E20	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
E21	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
ABANCA	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
SOCCLACCASA	24.106	0.26752	22.4033	1.23711
SAYWITE	20.6897	-3.5729	19.1581	-1.9228
CURAHUASI	20.6897	-3.5729	19.1581	-1.9228
CUNYAC	20.6897	-3.5729	19.1581	-1.9228
E22	22.1247	-4.9015	20.6108	-3.0273
E23	22.1247	-4.9015	20.6108	-3.0273
E24	21.8346	-5.7658	20.4317	-3.7022
E25	22.1247	-4.9015	20.6108	-3.0273
E26	22.1247	-4.9015	20.6108	-3.0273
E27	22.1247	-4.9015	20.6108	-3.0273
E28	22.1247	-4.9015	20.6108	-3.0273
CHALHUANCA	20.1788	-7.8682	18.5971	-6.1447
CARAIBAMBA	20.1788	-7.8682	18.5971	-6.1447
E29	20.1788	-7.8682	18.5971	-6.1447
E30	20.9698	-6.901	19.5571	-5.4714
LAMBRAMA	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
LLIULLITA	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
CHUQUIBAMBILLA	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
VILCABAMBA	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
AIRIHUANCA	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
MANCAHUARA	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
PROGRESO	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
CHALLHUAHUACHO	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
E31	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
E32	21.1694	-8.2907	19.7688	-6.0363
TAMBOBAMBA	21.9661	-5.1118	20.4349	-3.2255
E33	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
COTABAMBAS	20.8899	-5.6281	19.3614	-3.8163
HUALLPACHACA	20.6897	-3.5729	19.1581	-1.9228

Fuente: Elaboración propia.

Para las estaciones ubicadas en el departamento de Apurímac, se encontró que la temperatura máxima se encontró en la estación Andahuaylas, E15, Champaccocha, E16, E17, E18, E19, Curamba, Huancarama, E20, E21, Abancay y Socclaccasa con una temperatura de 24,11C° con una confiabilidad del 98%, para la temperatura mínima se encontró en la estación E32 con una temperatura de -8,09°C para una confiabilidad del 98%.

5.2 Obtención del grado de desempeño (PG)

Para la obtención del grado de desempeño se procede a utilizar las ecuaciones del SHRP (original y canadiense) y LTPP (1996, 2004 y 1998-2000), para cada estación se repetirá los mismos cálculos.

5.2.1 Determinación y análisis del grado de desempeño (PG) por el método de SHRP original y canadiense.

Tomaremos como ejemplo la estación Ayna ubicada en el departamento de Ayacucho.

Tabla 13. Temperatura máximas y mínimas con confiabilidad al 98% y 50%.

Departamento de Ayacucho: Estación Ayna				
Latitud(°)	Tmaxair98%	Tminair98%	Tmaxair50%	Tminair50%
-12.722327	27.67728	5.400838	26.25358	6.411456

Fuente: Elaboración propia.

SHRP Original:

$$TMAX = 0.9545 \times (TMAXAIR - 0.00618 \times lat^2 + 0.2289 \times lat + 42.2) - 17.78$$

$$Tmin = TMINAIRE$$

Confiabilidad al 98%

$$TMAX98\% = 0.9545 \times (27.677 - 0.00618 \times 12.722327^2 + 0.2289 \times 12.722327 + 42.2) - 17.78$$

$$TMAX98\% = 45.18^\circ C$$

$$TMIN = 5.4^\circ C$$

Confiabilidad al 50%

$$TMAX50\% = 0.9545 \times (21.78 - 0.00618 \times 12.7223272 + 0.2289 \times 12.722327 + 42.2) - 17.78$$

$$TMAX50\% = 43.82^{\circ}C$$

$$TMIN = 6.9^{\circ}C$$

SHRP CANADIENSE:

$$TMIN = 0.859 \times TMINAIR + 1.7$$

Confiabilidad al 98%:

$$TMIN98\% = 0.859 \times 5.4 + 1.7$$

$$TMIN98\% = 6.34$$

Confiabilidad al 50%:

$$TMIN50\% = 0.859 \times 6.41 + 1.7$$

$$TMIN98\% = 10.64$$

Tabla 14. Temperatura máxima y mínima con el método de SHRP original y canadiense para las estaciones en el departamento de Ayacucho.

ESTACIONES	LAT(°)	SHRP ORIGINAL		SHRP CANADIENSE			
		98%	50%	98%	50%		
		TMAX	TMIN	TMAX	TMIN	TMIN	TMIN
KIMBIRI	-12.6232	44.304	5.939	43.275	6.904	6.802	7.631
AYNA	-12.7223	45.183	5.401	43.825	6.411	6.339	7.207
E5A	-12.7438	34.230	5.939	33.646	6.904	6.802	7.631
E6A	-12.8851	41.997	2.155	40.964	3.400	3.551	4.621
E7	-12.9861	37.662	-3.897	36.817	-2.757	-1.648	-0.668
LA QUINUA	-13.0669	37.632	-3.897	36.787	-2.757	-1.648	-0.668
HUANTA	-12.9367	36.346	17.404	34.482	18.289	16.650	17.410
E8	-12.8528	37.712	-3.897	36.867	-2.757	-1.648	-0.668
E9	-13.0269	37.647	-3.897	36.802	-2.757	-1.648	-0.668
AYACUCHO	-13.1343	37.884	-4.129	36.956	-2.934	-1.847	-0.821
E10	-13.254	37.873	-4.763	36.985	-3.725	-2.392	-1.500
E11	-13.3182	37.849	-4.763	36.961	-3.725	-2.392	-1.500
E12	-13.3491	37.837	-4.763	36.950	-3.725	-2.392	-1.500
E13	-13.3419	37.840	-4.763	36.952	-3.725	-2.392	-1.500
PTE PAMPAS	-13.4354	40.839	-1.025	39.705	0.455	0.820	2.090
E1	-13.3817	37.825	-4.763	36.937	-3.725	-2.392	-1.500
CONDORCCOCHA	-13.4454	37.801	-4.763	36.914	-3.725	-2.392	-1.500
PAMPA CANGALLO	-13.5289	37.770	-4.763	36.882	-3.725	-2.392	-1.500
HUAHUAPUQUIO	-13.5969	37.744	-4.763	36.856	-3.725	-2.392	-1.500
CANGALLLO	-13.6366	37.729	-4.763	36.841	-3.725	-2.392	-1.500
HUANCAPI	-13.7477	37.687	-4.763	36.799	-3.725	-2.392	-1.500
ATAHUI	-13.7751	40.934	-5.785	38.627	-4.096	-3.269	-1.818
CAYARA	-13.7965	38.913	-5.069	37.859	-3.639	-2.655	-1.426
HUALLA	-13.8443	38.895	-5.069	37.841	-3.639	-2.655	-1.426
CANARIA	-13.9176	38.867	-5.069	37.813	-3.639	-2.655	-1.426

TACA	-13.9588	38.851	-5.080	37.797	-3.625	-2.664	-1.414
HUATANOSA	-14.0338	38.822	-5.069	37.768	-3.639	-2.655	-1.426
MORCOLLA	-14.1156	38.791	-5.069	37.737	-3.639	-2.655	-1.426
E2	-14.1513	38.777	-5.069	37.723	-3.639	-2.655	-1.426
HUACAÑA	-14.1727	38.769	-5.069	37.715	-3.639	-2.655	-1.426
CHIPAO	-14.2462	38.740	-5.069	37.686	-3.639	-2.655	-1.426
CABANA	-14.295	38.162	-6.765	37.118	-5.634	-4.111	-3.140
ANDAMARCA	-14.3827	38.865	-6.439	36.864	-5.433	-3.831	-2.967
E3	-14.5297	37.554	-6.439	36.686	-5.433	-3.831	-2.967
PUQUIO	-14.688	39.319	-3.875	38.165	-3.042	-1.629	-0.913
YAURIVIRI	-14.6356	37.513	-6.439	36.645	-5.433	-3.831	-2.967
NEGROMAYO	-14.6435	37.510	-6.439	36.642	-5.433	-3.831	-2.967
PAMPAMARCA	-14.5628	37.541	-6.439	36.673	-5.433	-3.831	-2.967
SANTIAGO DE VADO	-14.6054	39.351	-3.875	38.197	-3.042	-1.629	-0.913
E4	-14.666	39.327	-3.875	38.173	-3.042	-1.629	-0.913
PARAISO	-14.8271	46.686	8.947	45.889	10.097	9.386	10.374
COCHALLA	-14.7227	39.305	-3.853	38.151	-3.084	-1.610	-0.949
CAPILLYOC	-14.8377	41.227	-3.097	40.283	-2.316	-0.960	-0.290
CHAVIÑA	-14.9759	41.172	-3.097	40.229	-2.316	-0.960	-0.290
CORACORA	-15.0255	41.153	-3.097	40.209	-2.316	-0.960	-0.290
CARHUANILLA	-15.1378	41.108	-3.097	40.165	-2.316	-0.960	-0.290
INCAHUASI	-15.2394	41.068	-3.097	40.124	-2.316	-0.960	-0.290
COLLONI	-15.2633	42.030	0.516	41.375	1.579	2.143	3.057
INCUYO	-15.2462	41.065	-3.097	40.121	-2.316	-0.960	-0.290
E5	-15.3431	41.998	0.516	41.343	1.579	2.143	3.057
E6	-15.4065	41.972	0.516	41.318	1.579	2.143	3.057

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 15. Temperatura máxima y mínima con el método de SHRP original y canadiense para las estaciones en el departamento de Huancavelica.

ESTACIONES	SHRP ORIGINAL				SHRP CANADIENSE		
	LAT(°)	98		50		98	50
		TMAX	TMIN	TMAX	TMIN	TMIN	TMIN
PAZOS	-12.2591	37.365	-4.847	36.257	-3.821	-2.463	-1.582
MULLAMPA	-12.3011	37.350	-4.847	36.242	-3.821	-2.463	-1.582
HUAMANJASA	-12.5881	37.245	-4.847	36.137	-3.821	-2.463	-1.582
LOCROJA	-12.7523	37.749	-3.897	36.904	-2.757	-1.648	-0.668
MAYOCC	-12.8062	37.729	-3.897	36.884	-2.757	-1.648	-0.668
ALCCOMACHAY	-12.8409	37.716	-3.897	36.871	-2.757	-1.648	-0.668
ACOSTAMBO	-12.3632	37.473	-4.880	36.325	-3.827	-2.492	-1.587
CUENCA	-12.4325	37.302	-4.847	36.194	-3.821	-2.463	-1.582
IZCUCHACA	-12.5106	37.274	-4.847	36.165	-3.821	-2.463	-1.582
CHUPACA	-12.512	37.273	-4.944	36.165	-3.866	-2.547	-1.620
QUICHUAS	-12.4715	37.288	-4.847	36.179	-3.821	-2.463	-1.582
VILLENE	-12.5212	37.270	-4.847	36.161	-3.821	-2.463	-1.582
PALLALLA	-12.5596	37.256	-4.847	36.147	-3.821	-2.463	-1.582
PORURO	-12.5922	40.823	1.310	39.868	2.695	2.825	4.015
LA ESMERALDA	-12.6501	40.802	1.310	39.847	2.695	2.825	4.015
VILLA RICA	-12.7883	37.736	-3.897	36.891	-2.757	-1.648	-0.668
HUANDO	-12.5685	37.252	-4.847	36.144	-3.821	-2.463	-1.582
PALCA	-12.6451	38.793	-2.033	38.122	-1.132	-0.046	0.728
SACHAPITE	-12.7562	35.480	-6.553	34.305	-6.016	-3.929	-3.468
CUNYAC	-12.8644	35.440	-6.553	34.265	-6.016	-3.929	-3.468
CCOCHACCASA	-12.9331	35.414	-10.758	34.240	-6.857	-7.541	-4.190
LIRCA	-13.0031	39.212	-5.069	38.158	-3.639	-2.655	-1.426
PAGUANA	-13.0392	38.647	-2.033	37.977	-1.132	-0.046	0.728
JOCHATAY	-13.0935	37.622	-3.897	36.777	-2.757	-1.648	-0.668
SECCLLA	-13.0826	37.626	-3.897	36.781	-2.757	-1.648	-0.668

	SHRP ORIGINAL				SHRP CANADIENSE			
	98		50		98		50	
JULCAMARCA	-13.0257	37.648	-3.897	36.803	-2.757	-1.648	-0.668	
PLAZAPATA	-12.8462	35.446	-6.553	34.272	-6.016	-3.929	-3.468	
HUARACOPATA	-12.9183	35.420	-6.553	34.246	-6.016	-3.929	-3.468	
ALLJAHUASI	-12.9984	39.042	-2.059	38.049	-1.128	-0.069	0.731	
SAN PABLO	-13.0254	38.652	-2.033	37.982	-1.132	-0.046	0.728	
ARMA	-13.1403	38.989	-2.059	37.996	-1.128	-0.069	0.731	
HUANCHO CHICO	-13.3357	43.286	4.707	42.591	5.760	5.743	6.648	
CAPILLAS	-13.3367	43.286	4.707	42.591	5.760	5.743	6.648	
CHULLASUYO	-13.3848	43.268	4.707	42.573	5.760	5.743	6.648	
MOLLEPAMPA	-13.3346	43.287	4.707	42.592	5.760	5.743	6.648	
COCAS	-13.2828	43.306	4.707	42.611	5.760	5.743	6.648	
SUYTUPAMPA	-13.2316	38.575	-2.033	37.905	-1.132	-0.046	0.728	
CASTROVIRREYNA	-13.2751	43.309	4.707	42.614	5.760	5.743	6.648	
PUENTE								
INFIERNILLO	-13.3375	43.286	4.707	42.591	5.760	5.743	6.648	
CRUZCASA	-13.3868	43.267	4.707	42.572	5.760	5.743	6.648	
TICRAPO	-13.3887	43.266	4.707	42.571	5.760	5.743	6.648	
HUACHACC								
CORREGIDOR	-13.4305	43.251	4.707	42.555	5.760	5.743	6.648	
PAMPA BLANCA	-13.5005	43.224	4.707	42.529	5.760	5.743	6.648	
SAN JUAN DE								
ASTOBAMBA	-12.9502	35.408	-6.553	34.234	-6.016	-3.929	-3.468	
PUCAPAMPA	-13.1319	35.340	-6.553	34.166	-6.016	-3.929	-3.468	
SANTA INES	-13.2208	35.307	-6.553	34.133	-6.016	-3.929	-3.468	
HUARAJO	-13.2549	36.715	-5.274	35.566	-4.801	-2.830	-2.424	
PILPICHACA	-13.3351	36.685	-5.274	35.536	-4.801	-2.830	-2.424	
RUMICHACA	-13.3759	36.669	-5.274	35.520	-4.801	-2.830	-2.424	
JACCAPAQUI	-13.3556	36.677	-5.274	35.528	-4.801	-2.830	-2.424	
TABLACOCHA	-13.4801	48.106	-11.231	41.722	-2.088	-7.947	-0.094	
MIRACALLA	-13.5312	36.611	-5.274	35.462	-4.801	-2.830	-2.424	
HUAYTARA	-13.5973	43.188	4.707	42.492	5.760	5.743	6.648	
TULLPA	-13.6156	43.181	4.707	42.486	5.760	5.743	6.648	
PUENTE HUAYTARA	-13.5878	43.191	4.707	42.496	5.760	5.743	6.648	
AYAVI	-13.6588	43.164	4.707	42.469	5.760	5.743	6.648	
TAMBILLOS	-13.7629	45.177	9.281	44.359	10.137	9.672	10.407	
RAMADILLAS	-13.7072	43.146	4.707	42.451	5.760	5.743	6.648	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16. Temperatura máxima y mínima con el método de SHRP original y canadiense para las estaciones en el departamento de Apurímac.

ESTACIONES	SHRP ORIGINAL				SHRP CANADIENSE		
	98		50		98	50	
	LAT(°)	TMAX	TMIN	TMAX	TMIN	TMIN	
CHINCHEROS	-13.5157	41.46	-1.19	39.74	0.47	0.68	2.10
URIPA	-13.5357	40.91	-1.37	39.64	0.46	0.53	2.09
E14	-13.6025	40.89	-1.37	39.62	0.46	0.53	2.09
ALEJOPATA	-13.6509	40.76	-1.02	39.62	0.45	0.82	2.09
ANDAHUAYLAS	-13.6632	41.42	0.27	39.80	1.24	1.93	2.76
E15	-13.6448	41.43	0.27	39.80	1.24	1.93	2.76
CHAMPACCOCHA	-13.6604	41.42	0.27	39.80	1.24	1.93	2.76
E16	-13.6666	41.42	0.27	39.80	1.24	1.93	2.76
E17	-13.7146	41.40	0.27	39.78	1.24	1.93	2.76
E18	-13.6803	41.42	0.27	39.79	1.24	1.93	2.76

ESTACIONES	SHRP ORIGINAL						SHRP CANA DIENS E	
	98			50		98	50	
	LAT(°)	TMAX	TMIN	TMAX	TMIN	TMIN	TMIN	
E19	-13.692	41.41	0.27	39.79	1.24	1.93	2.76	
CURAMBA	-13.6126	41.44	0.27	39.82	1.24	1.93	2.76	
HUANCARAMA	-13.6502	41.43	0.27	39.80	1.24	1.93	2.76	
E20	-13.6852	41.41	0.27	39.79	1.24	1.93	2.76	
E21	-13.651	41.43	0.27	39.80	1.24	1.93	2.76	
ABANCAY	-13.6355	41.43	0.27	39.81	1.24	1.93	2.76	
SOCCLLACCASA	-13.5818	41.45	0.27	39.83	1.24	1.93	2.76	
SAYWITE	-13.5412	38.21	-3.57	36.75	-1.92	-1.37	0.05	
CURAHUASI	-13.5408	38.21	-3.57	36.75	-1.92	-1.37	0.05	
CUNYAC	-13.5632	38.20	-3.57	36.74	-1.92	-1.37	0.05	
E22	-13.7974	39.48	-4.90	38.04	-3.03	-2.51	-0.90	
E23	-13.9731	39.41	-4.90	37.97	-3.03	-2.51	-0.90	
E24	-14.2148	39.04	-5.77	37.70	-3.70	-3.25	-1.48	
E25	-13.7888	39.48	-4.90	38.04	-3.03	-2.51	-0.90	
E26	-13.8619	39.46	-4.90	38.01	-3.03	-2.51	-0.90	
E27	-13.9759	39.41	-4.90	37.97	-3.03	-2.51	-0.90	
E28	-14.1417	39.35	-4.90	37.90	-3.03	-2.51	-0.90	
CHALHUANCA	-14.2961	37.43	-7.87	35.92	-6.14	-5.06	-3.58	
CARAIBAMBA	-14.3695	37.40	-7.87	35.89	-6.14	-5.06	-3.58	
E29	-14.5204	37.34	-7.87	35.83	-6.14	-5.06	-3.58	
E30	-14.5472	38.09	-6.90	36.74	-5.47	-4.23	-3.00	
LAMBRAMA	-13.8683	38.27	-5.63	36.82	-3.82	-3.13	-1.58	
LLIULLITA	-14.0033	38.22	-5.63	36.76	-3.82	-3.13	-1.58	
CHUQUIBAMBILLA	-14.1032	38.18	-5.63	36.73	-3.82	-3.13	-1.58	
VILCABAMBA	-14.0764	38.20	-5.63	36.74	-3.82	-3.13	-1.58	
AIRIHUANCA	-14.1149	38.18	-5.63	36.72	-3.82	-3.13	-1.58	
MANCAHUARA	-14.066	38.20	-5.63	36.74	-3.82	-3.13	-1.58	
PROGRESO	-14.0752	38.20	-5.63	36.74	-3.82	-3.13	-1.58	
CHALLHUAHUACHO	-14.1161	38.18	-5.63	36.72	-3.82	-3.13	-1.58	
E31	-14.188	38.15	-5.63	36.69	-3.82	-3.13	-1.58	
E32	-14.2549	38.39	-8.29	37.06	-6.04	-5.42	-3.49	
TAMBOBAMBA	-13.9467	39.27	-5.11	37.81	-3.23	-2.69	-1.07	
E33	-13.7983	38.30	-5.63	36.84	-3.82	-3.13	-1.58	
COTABAMBAS	-13.7577	38.32	-5.63	36.86	-3.82	-3.13	-1.58	
HUALLPACHACA	-13.6902	38.15	-3.57	36.69	-1.92	-1.37	0.05	

Fuente. Elaboración propia

5.2.2 Determinación y análisis del grado de desempeño (PG) por el modelo LTPP.

Para el desarrollo de la aplicación del modelo matemático, aplicaremos 3 los cuales son LTPP-1966, LTPP 1998-2000 y por último el LTPP 2004.

Tabla 17. Latitud, desviación estándar, temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50%.

Estación Ayna del departamento de Ayacucho						
Lat (°)	Des. Est TMAX	σ MIN	TMAX AIR98%	TMIN AIR98%	TMAX AIR50%	TMIN AIR50%
12.722	0.865205	0.614	27.68	5.4	26.25	6.41

Fuente. Elaboración propia.

LTPP – 1996

$$TMAX = 54.32 + [0.77585 TMAXAIR] - [0.002468 lat^2] - [15.137 \log_{10}(H+25)]$$

$$TMIN = -1.56 + [0.71819 TMINAIR] - [0.003966 lat^2] + [6.264 \log_{10}(H+25)]$$

Donde:

H = Profundidad del pavimento (2 cm).|

Confiability al 98%

$$TMAX98\% = 54.32 + [0.77585 \times 27.68] - [0.002468 \times 12.722332] - [15.137 \times \log_{10}(2+25)]$$

$$TMAX98\% = 53.73^{\circ}C$$

$$TMIN98\% = -1.56 + [0.71819 \times 5.4] - [0.003966 \times (12.72233)^2] + [6.264 \log_{10}(2+25)]$$

$$TMIN98\% = 10.64^{\circ}C$$

Confiability al 50%

$$TMAX50\% = 54.32 + [0.77585 \times 26.25] - [0.002468 \times 12.722332] - [15.137 \times \log_{10}(2+25)]$$

$$TMAX50\% = 52.62^{\circ}C$$

$$TMIN50\% = -1.56 + [0.71819 \times 6.41] - [0.003966 \times (12.72233)^2] + [6.264 \log_{10}(2+25)]$$

$$TMIN50\% = 11.37^{\circ}C$$

Tabla 18. Temperaturas máximas y mínimas para las estaciones en el departamento de Ayacucho.

ESTACIONES	LTPP 1996				
	LAT(°)	98		50	
		TMAX	TMIN	TMAX	TMIN
KIMBIRI	-12.6232	52.98903	11.03947	52.1528	11.73248
AYNA	-12.7223	53.7274	10.64296	52.62282	11.36878
E5A	-12.7438	44.82922	11.02734	44.35436	11.72034
E6A	-12.8851	51.17625	8.295482	50.33602	9.189572
E7	-12.9861	47.67659	3.938447	46.98983	4.757039
LA QUINUA	-13.0669	47.67139	3.930098	46.98464	4.74869
HUANTA	-12.9367	46.59481	19.24163	45.0796	19.87735
E8	-12.8528	47.68509	3.952106	46.99833	4.770698
E9	-13.0269	47.67397	3.934243	46.98721	4.752835
AYACUCHO	-13.1343	47.89182	3.756642	47.13761	4.614461
E10	-13.254	47.91188	3.288376	47.19036	4.034028

	LTPP 1996				
		98		50	
E11	-13.3182	47.90767	3.281612	47.18615	4.027263
E12	-13.3491	47.90564	3.278347	47.18411	4.023999
E13	-13.3419	47.90612	3.279109	47.18459	4.024761
PTE PAMPAS	-13.4354	50.36586	5.954189	49.4441	7.016623
E1	-13.3817	47.90349	3.274883	47.18196	4.020535
CONDORCCOCHA	-13.4454	47.89927	3.268114	47.17775	4.013765
PAMPA CANGALLO	-13.5289	47.89371	3.259178	47.17219	4.00483
HUAHUAPUQUIO	-13.5969	47.88916	3.251866	47.16764	3.997518
CANGALLO	-13.6366	47.88649	3.247578	47.16497	3.993229
HUANCAPI	-13.7477	47.87899	3.235513	47.15746	3.981164
ATAHUI	-13.7751	50.52485	2.498947	48.64984	3.711771
CAYARA	-13.7965	48.8877	3.010362	48.03092	4.037325
HUALLA	-13.8443	48.88445	3.005127	48.02767	4.03209
CANARIA	-13.9176	48.87942	2.997052	48.02264	4.024015
TACA	-13.9588	48.87658	2.984638	48.0198	4.029569
HUATANOSA	-14.0338	48.8714	2.98417	48.01462	4.011133
MORCOLLA	-14.1156	48.86572	2.975037	48.00894	4.002
E2	-14.1513	48.86323	2.971042	48.00645	3.998005
HUACAÑA	-14.1727	48.86174	2.968634	48.00496	3.995597
CHIPAO	-14.2462	48.85658	2.960352	47.9998	3.987316
CABANA	-14.295	48.39801	1.737231	47.54975	2.549107
ANDAMARCA	-14.3827	48.99093	1.960901	47.36503	2.683954
E3	-14.5297	47.9617	1.944038	47.25618	2.667091
PUQUIO	-14.688	49.43465	3.767536	48.49677	4.365533
YAURIVIRI	-14.6356	47.95408	1.931794	47.24856	2.654847
NEGROMAYO	-14.6435	47.95351	1.930875	47.24799	2.653929
PAMPAMARCA	-14.5628	47.95932	1.94022	47.25381	2.663274
SANTIAGO DE VADO	-14.6054	49.44061	3.777127	48.50274	4.375124
E4	-14.666	49.43623	3.770088	48.49836	4.368085
PARAISO	-14.8271	55.45712	12.95987	54.8093	13.78608
COCHALLA	-14.7227	49.43212	3.779272	48.49425	4.331624
CAPILLYOC	-14.8377	51.02248	4.308832	50.25563	4.869468
CHAVIÑA	-14.9759	51.01231	4.292493	50.24546	4.85313
CORACORA	-15.0255	51.00864	4.286592	50.24179	4.847229
CARHUANILLA	-15.1378	51.00028	4.273159	50.23343	4.833796
INCAHUASI	-15.2394	50.99266	4.260908	50.22581	4.821544
COLLONI	-15.2633	51.78049	6.852357	51.24828	7.616291
INCUYO	-15.2462	50.99215	4.260096	50.2253	4.820732
E5	-15.3431	51.77446	6.842673	51.24225	7.606607
E6	-15.4065	51.76965	6.834936	51.23744	7.59887

Fuente. Elaboración propia

Tabla 19. Temperaturas máximas y mínimas para las estaciones en el departamento de Apurímac.

ESTACIONES	LTPP - 1996				
	LAT(°)	98		50	
		TMAX	TMIN	TMAX	TMIN
CHINCHEROS	-13.5157	50.9	5.8	49.5	7.0
URIPA	-13.5357	50.5	5.7	49.4	7.0
E14	-13.6025	50.4	5.7	49.4	7.0
ALEJOPATA	-13.6509	50.4	5.9	49.4	7.0
ANDAHUAYLAS	-13.6632	50.9	6.9	49.6	7.6
E15	-13.6448	50.9	6.9	49.6	7.6
CHAMPACCOCHA	-13.6604	50.9	6.9	49.6	7.6
E16	-13.6666	50.9	6.9	49.6	7.6
E17	-13.7146	50.9	6.9	49.6	7.5
E18	-13.6803	50.9	6.9	49.6	7.6

	LTPP - 1996				
		98		50	
E19	-13.692	50.9	6.9	49.6	7.6
CURAMBA	-13.6126	50.9	6.9	49.6	7.6
HUANCARAMA	-13.6502	50.9	6.9	49.6	7.6
E20	-13.6852	50.9	6.9	49.6	7.6
E21	-13.651	50.9	6.9	49.6	7.6
ABANCAY	-13.6355	50.9	6.9	49.6	7.6
SOCCLACCASA	-13.5818	50.9	6.9	49.6	7.6
SAYWITE	-13.5412	48.3	4.1	47.1	5.3
CURAHUASI	-13.5408	48.3	4.1	47.1	5.3
CUNYAC	-13.5632	48.3	4.1	47.1	5.3
E22	-13.7974	49.3	3.1	48.2	4.5
E23	-13.9731	49.3	3.1	48.2	4.5
E24	-14.2148	49.1	2.5	48.0	3.9
E25	-13.7888	49.3	3.1	48.2	4.5
E26	-13.8619	49.3	3.1	48.2	4.5
E27	-13.9759	49.3	3.1	48.2	4.5
E28	-14.1417	49.3	3.1	48.2	4.4
CHALHUANCA	-14.2961	47.8	0.9	46.6	2.2
CARAIBAMBA	-14.3695	47.8	0.9	46.6	2.2
E29	-14.5204	47.8	0.9	46.6	2.2
E30	-14.5472	48.4	1.6	47.3	2.6
LAMBRAMA	-13.8683	48.4	2.6	47.2	3.9
LLIULLITA	-14.0033	48.4	2.6	47.2	3.9
CHUQUIBAMBILLA	-14.1032	48.4	2.6	47.2	3.9
VILCABAMBA	-14.0764	48.4	2.6	47.2	3.9
AIRIHUANCA	-14.1149	48.4	2.6	47.2	3.9
MANCAHUARA	-14.066	48.4	2.6	47.2	3.9
PROGRESO	-14.0752	48.4	2.6	47.2	3.9
CHALLHUAHUACHO	-14.1161	48.4	2.6	47.2	3.9
E31	-14.188	48.4	2.6	47.2	3.9
E32	-14.2549	48.6	0.6	47.5	2.3
TAMBOBAMBA	-13.9467	49.2	3.0	48.0	4.3
E33	-13.7983	48.4	2.6	47.2	3.9
COTABAMBAS	-13.7577	48.4	2.6	47.2	3.9
HUALLPACHACA	-13.6902	48.2	4.1	47.1	5.3

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20. Temperaturas máximas y mínimas para las estaciones en el departamento de Huancavelica.

ESTACIONES	LAT(°)	LTPP 1996			
		98%		50%	
		TMAX	TMIN	TMAX	TMIN
PAZOS	-12.2591	47.26	3.33	46.36	4.07
MULLAMPA	-12.3011	47.26	3.32	46.36	4.06
HUAMANJASA	-12.5881	47.24	3.30	46.34	4.03
LOCROJA	-12.7523	47.69	3.96	47.00	4.78
MAYOCC	-12.8062	47.69	3.96	47.00	4.78
ALCCOMACHAY	-12.8409	47.69	3.95	47.00	4.77
ACOSTAMBO	-12.3632	47.38	3.30	46.44	4.05
CUENCA	-12.4325	47.25	3.31	46.35	4.05
IZCUCHACA	-12.5106	47.25	3.30	46.35	4.04
CHUPACA	-12.512	47.25	3.23	46.35	4.01
QUICHUAS	-12.4715	47.25	3.31	46.35	4.05
VILLENE	-12.5212	47.25	3.30	46.35	4.04
PALLALLA	-12.5596	47.25	3.30	46.34	4.04
PORURO	-12.5922	50.15	7.72	49.38	8.71
LA ESMERALDA	-12.6501	50.15	7.71	49.37	8.71

LTPP 1996					
		98%		50%	
VILLA RICA	-12.7883	47.69	3.96	47.00	4.78
HUANDO	-12.5685	47.24	3.30	46.34	4.04
PALCA	-12.6451	48.51	5.31	47.97	5.96
SACHAPITE	-12.7562	45.85	2.05	44.89	2.44
CUNYAC	-12.8644	45.84	2.04	44.89	2.43
CCOCHACCASA	-12.9331	45.84	-0.98	44.88	1.82
LIRCAY	-13.0031	48.94	3.09	48.08	4.12
PAGUANA	-13.0392	48.49	5.27	47.94	5.92
JOCHATAY	-13.0935	47.67	3.93	46.98	4.75
SECCLLA	-13.0826	47.67	3.93	46.98	4.75
JULCAMARCA	-13.0257	47.67	3.93	46.99	4.75
PLAZAPATA	-12.8462	45.84	2.05	44.89	2.43
HUARACOPATA	-12.9183	45.84	2.04	44.88	2.42
ALLJAHUASI	-12.9984	48.80	5.26	47.99	5.93
SAN PABLO	-13.0254	48.49	5.27	47.95	5.92
ARMA	-13.1403	48.79	5.24	47.98	5.91
HUANCHO CHICO	-13.3357	52.33	10.08	51.77	10.84
CAPILLAS	-13.3367	52.33	10.08	51.77	10.84
CHULLASUYO	-13.3848	52.33	10.08	51.76	10.83
MOLLEPAMPA	-13.3346	52.33	10.08	51.77	10.84
COCAS	-13.2828	52.33	10.09	51.77	10.84
SUYTUPAMPA	-13.2316	48.48	5.25	47.93	5.90
CASTROVIRREYNA	-13.2751	52.34	10.09	51.77	10.84
PUENTE INFIERNILLO	-13.3375	52.33	10.08	51.77	10.84
CRUZCASA	-13.3868	52.33	10.08	51.76	10.83
TICRAPO	-13.3887	52.33	10.08	51.76	10.83
HUACHACC CORREGIDOR	-13.4305	52.33	10.07	51.76	10.83
PAMPA BLANCA	-13.5005	52.32	10.06	51.76	10.82
SAN JUAN DE ASTOBAMBA	-12.9502	45.84	2.03	44.88	2.42
PUCAPAMPA	-13.1319	45.82	2.02	44.87	2.40
SANTA INES	-13.2208	45.82	2.01	44.86	2.39
HUARAJO	-13.2549	46.97	2.92	46.04	3.26
PILPICHACA	-13.3351	46.97	2.91	46.03	3.25
RUMICHACA	-13.3759	46.96	2.91	46.03	3.25
JACCAPAQUI	-13.3556	46.96	2.91	46.03	3.25
TABLACocha	-13.4801	56.28	-1.38	51.09	5.19
MIRACCALLA	-13.5312	46.95	2.89	46.02	3.23
HUAYTARA	-13.5973	52.31	10.05	51.75	10.81
TULLPA	-13.6156	52.31	10.05	51.75	10.81
PUENTE HUAYTARA	-13.5878	52.31	10.05	51.75	10.81
AYAVI	-13.6588	52.31	10.05	51.74	10.80
TAMBILLOS	-13.7629	53.97	13.32	53.31	13.93
RAMADILLAS	-13.7072	52.31	10.04	51.74	10.80

Fuente. Elaboración propia

LTPP bind 1998-2000

$$TMIN = -1.56 + 0.72TMINAIR - 0.004lat^2 + 6.26\log(H+25) - Z(4.4 + 0.52 \times \sigma)^{1/2}$$

Donde:

H= 2cm

σ = Desviación Estándar

Z = confiabilidad (2.32)

Tomaremos como ejemplo a la estación Ayna en el departamento de Ayacucho.

Tabla 21. Características de la estación Ayna

Estacion Ayna del departamento de Ayacucho						
Lat (°)	Des. Est TMAX	σ MIN	TMAX AIR98%	TMIN AIR98%	TMAX AIR50%	TMIN AIR50%
-12.72233	0.865205	0.61417	27.68	5.4	26.25	6.41

Fuente. Elaboración propia

Confiabilidad al 98%

$$T_{min98\%} = 1.56 + 0.72 \times 5.4 - 0.004 \times (12.72233)^2 + 6.26 \log(2+25) - 2.32 \times (4.4 + 0.52 \times 0.61417)^{1/2}$$

$$T_{min98\%} = 9.38^\circ\text{C}$$

Confiabilidad al 50%

$$T_{min98\%} = 1.56 + 0.72 \times 6.41 - 0.004 \times (12.72233)^2 + 6.26 \log(2+25) - 2.32 \times (4.4 + 0.52 \times 0.61417)^{1/2}$$

$$T_{min98\%} = 9.9^\circ\text{C}$$

LTPP bind 2004

$$TMAX = 32.7 + 0.837 TMAXAIR - 0.0029 lat^2 + Z(\sigma^2 + \delta^2 \text{ modelo})^{0.5}$$

Donde:

σ = Desviación Estándar.

δ_{modelo} = Error estándar del modelo (2.1 °C)

Confiabilidad al 98%

$$TMAX98\% = 32.7 + 0.837 \times 27.68 - 0.0029 \times (12.72233)^2 + 2.32 \times ((0.865205)^2 + 2.1^2)^{0.5}$$

$$TMAX98\% = 57.11^\circ\text{C}$$

Confiabilidad al 50%

$$TMAX50\% = 32.7 + 0.837 \times 26.25 - 0.0029 \times (12.72233)^2 + 2.32 \times ((0.865205)^2 + 2.1^2)^{0.5}$$

$$TMAX50\% = 55.05^\circ\text{C}$$

Tabla 22. Temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50% de confiabilidad con el modelo LTPP 1998-200 y LTPP 2004 de las estaciones del departamento de Ayacucho.

ESTACIONES AYACUCHO	LTPP2004		LTPP1998-2000	
	98	50	98	50
	TMAX	TMAX	TMIN	TMIN
KIMBIRI	55.86	54.30	9.68	10.27
AYNA	57.11	55.05	9.38	9.90
E5A	46.50	45.62	9.66	10.26
E6A	53.93	52.36	7.63	7.71
E7	49.92	48.63	4.50	3.27
LA QUINUA	49.91	48.63	4.49	3.26
HUANTA	50.19	47.36	15.57	18.44
E8	49.93	48.64	4.52	3.28
E9	49.91	48.63	4.49	3.26
AYACUCHO	50.26	48.85	4.34	3.12
E10	50.23	48.88	4.02	2.55
E11	50.22	48.87	4.01	2.54
E12	50.22	48.87	4.00	2.54
E13	50.22	48.87	4.00	2.54
PTE PAMPAS	53.20	51.47	5.85	5.52
E1	50.22	48.87	4.00	2.54
CONDORCCOCHA	50.21	48.86	3.99	2.53
PAMPA CANGALLO	50.20	48.86	3.97	2.52
HUAHUAPUQUIO	50.20	48.85	3.96	2.51
CANGALLLO	50.20	48.85	3.95	2.51
HUANCAPI	50.19	48.84	3.93	2.50
ATAHUI	55.01	51.51	3.29	2.19
CAYARA	51.50	49.90	3.70	2.53
HUALLA	51.50	49.90	3.69	2.53
CANARIA	51.49	49.89	3.67	2.52
TACA	51.49	49.89	3.66	2.52
HUATANOSA	51.48	49.88	3.65	2.51
MORCOLLA	51.47	49.87	3.64	2.50
E2	51.47	49.87	3.63	2.49
HUACAÑA	51.47	49.87	3.62	2.49
CHIPAO	51.46	49.86	3.61	2.48
CABANA	50.96	49.37	2.77	1.06
ANDAMARCA	52.94	49.90	2.95	1.20
E3	50.24	48.92	2.92	1.18
PUQUIO	52.22	50.47	4.24	2.89
YAURIVIRI	50.23	48.92	2.90	1.17
NEGROMAYO	50.23	48.92	2.89	1.17
PAMPAMARCA	50.24	48.92	2.91	1.18
SANTIAGO DE VADO	52.22	50.47	4.26	2.90
E4	52.22	50.47	4.24	2.89
PARAISO	58.16	56.95	10.79	12.32
COCHALLA	52.21	50.46	4.26	2.86
CAPILLYOC	53.62	52.19	4.62	3.40
CHAVIÑA	53.61	52.18	4.59	3.38
CORACORA	53.60	52.17	4.58	3.38
CARHUANILLA	53.59	52.16	4.56	3.36
INCAHUASI	53.58	52.15	4.54	3.35
COLLONI	54.02	53.03	6.35	6.14
INCUYO	53.58	52.15	4.54	3.35
E5	54.01	53.02	6.34	6.13
E6	54.01	53.02	6.32	6.12

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 23. Temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50% de confiabilidad con el modelo LTPP 1998-200 y LTPP 2004 de las estaciones del departamento de Apurímac.

ESTACIONES	LTPP2004		LTPP1998-2000	
	98	50	98	50
	TMAX	TMAX	TMIN	TMIN
CHINCHEROS	54.59	51.97	5.72	5.51
URIPA	53.48	51.55	5.59	5.49
E14	53.47	51.54	5.58	5.49
ALEJOPATA	53.18	51.46	5.81	5.49
ANDAHUAYLAS	54.45	51.98	6.56	6.08
E15	54.45	51.99	6.56	6.08
CHAMPACCOCHA	54.45	51.99	6.56	6.08
E16	54.45	51.98	6.56	6.08
E17	54.45	51.98	6.55	6.08
E18	54.45	51.98	6.55	6.08
E19	54.45	51.98	6.55	6.08
CURAMBA	54.45	51.99	6.57	6.09
HUANCARAMA	54.45	51.99	6.56	6.08
E20	54.45	51.98	6.55	6.08
E21	54.45	51.99	6.56	6.08
ABANCAY	54.45	51.99	6.56	6.08
SOCCLACCASA	54.46	51.99	6.57	6.09
SAYWITE	51.40	49.18	4.48	3.79
CURAHUASI	51.40	49.18	4.48	3.79
CUNYAC	51.39	49.18	4.48	3.78
E22	52.54	50.35	3.71	2.95
E23	52.53	50.34	3.68	2.93
E24	52.12	50.09	3.15	2.41
E25	52.54	50.35	3.71	2.95
E26	52.54	50.34	3.70	2.94
E27	52.53	50.34	3.68	2.93
E28	52.51	50.32	3.64	2.91
CHALHUANCA	50.98	48.69	2.10	0.66
CARAIBAMBA	50.97	48.68	2.09	0.65
E29	50.96	48.67	2.06	0.63
E30	51.39	49.34	2.60	1.13
LAMBRAMA	51.53	49.32	3.33	2.38
LLIULLITA	51.52	49.31	3.30	2.36
CHUQUIBAMBILLA	51.51	49.30	3.29	2.35
VILCABAMBA	51.51	49.30	3.29	2.36
AIRIHUANCA	51.51	49.30	3.28	2.35
MANCAHUARA	51.52	49.30	3.29	2.36
PROGRESO	51.51	49.30	3.29	2.36
CHALLHUAHUACHO	51.51	49.30	3.28	2.35
E31	51.51	49.29	3.27	2.34
E32	51.56	49.53	1.81	0.72
TAMBOBAMBA	52.42	50.20	3.57	2.79
E33	51.54	49.32	3.34	2.39
COTABAMBAS	51.54	49.33	3.35	2.39
HUALLPACHACA	51.38	49.17	4.45	3.77

Fuente. Elaboración propia

Tabla N° 24. Temperatura máxima y mínima con confiabilidad del 98% y 50% de confiabilidad con el modelo LTPP 1998-200 y LTPP 2004 de las estaciones del departamento de Huancavelica.

ESTACIONES HUANCAVELICA	LTPP2004		LTPP1998-2000	
	98	50	98	50
	TMAX	TMAX	TMIN	TMIN
PAZOS	49.8486	48.16667	4.153505	2.582275
MULLAMPA	49.84561	48.16368	4.14644	2.578152
HUAMANJASA	49.82489	48.14296	4.097465	2.549577
LOCROJA	49.93268	48.65085	4.540983	3.293052
MAYOCC	49.92868	48.64686	4.531538	3.28754
ALCCOMACHAY	49.9261	48.64427	4.525426	3.283974
ACOSTAMBO	50.0232	48.28156	4.114504	2.566291
CUENCA	49.83618	48.15425	4.124155	2.56515
IZCUCHACA	49.83053	48.1486	4.110793	2.557353
CHUPACA	49.83043	48.1485	4.051342	2.522338
QUICHUAS	49.83337	48.15143	4.11749	2.561261
VILLENE	49.82976	48.14783	4.108969	2.556289
PALLALLA	49.82697	48.14504	4.102377	2.552443
PORURO	52.72173	51.27241	7.220274	7.223254
LA ESMERALDA	52.71749	51.26817	7.210258	7.217411
VILLA RICA	49.93001	48.64818	4.534673	3.289369
HUANDO	49.82632	48.14439	4.100847	2.55155
PALCA	50.56828	49.5515	5.563691	4.485912
SACHAPITE	48.42318	46.64175	3.269449	0.976
CUNYAC	48.41514	46.63371	3.25043	0.964903
CCOCHACCASA	48.41	46.62857	0.517135	0.193176
LIRCA Y	51.56086	49.96168	3.841944	2.617881
PAGUANA	50.53892	49.52215	5.4943	4.445424
JOCHATAY	49.9071	48.62528	4.480525	3.257776
SECCLLA	49.90793	48.6261	4.48247	3.258911
JULCAMARCA	49.91224	48.63041	4.492662	3.264857
PLAZAPATA	48.4165	46.63507	3.253649	0.966781
HUARACOPATA	48.41111	46.62968	3.240911	0.959349
ALLJAHUASI	51.32704	49.81971	5.482842	4.451186
SAN PABLO	50.53997	49.5232	5.496775	4.446868
ARMA	51.31628	49.80896	5.457414	4.436349
HUANCHO CHICO	54.68204	53.62748	8.900222	9.3689
CAPILLAS	54.68197	53.6274	8.900044	9.368796
CHULLASUYO	54.67824	53.62368	8.891231	9.363655
MOLLEPAMPA	54.68212	53.62756	8.900418	9.369014
COCAS	54.68612	53.63156	8.909875	9.374532
SUYTUPAMPA	50.52427	49.50749	5.459657	4.425211
CASTROVIRREYNA	54.68672	53.63216	8.911279	9.375352
PUENTE INFIERNILLO	54.6819	53.62734	8.899889	9.368706
CRUZCASA	54.67808	53.62352	8.890863	9.363439
TICRAPO	54.67793	53.62337	8.890514	9.363236
HUACHACC CORREGIDOR	54.67468	53.62012	8.882824	9.358749
PAMPA BLANCA	54.66922	53.61466	8.869907	9.351212
SAN JUAN DE ASTOBAMBA	48.40871	46.62728	3.235246	0.956044
PUCAPAMPA	48.39497	46.61354	3.202759	0.937089
SANTA INES	48.38818	46.60675	3.186698	0.927717
HUARAJO	49.58537	47.84227	3.852906	1.802263
PILPICHACA	49.5792	47.83609	3.838301	1.793742
RUMICHACA	49.57603	47.83293	3.830819	1.789376
JACCAPAQUI	49.57761	47.8345	3.83454	1.791547
TABLACOCHA	66.90355	57.21864	-0.5841	3.349007
MIRACALLA	49.56391	47.82081	3.802173	1.772662
HUAYTARA	54.66161	53.60705	8.851922	9.340719
TULLPA	54.66017	53.60561	8.848512	9.338729

ESTACIONES HUANCAMELICA	LTPP2004		LTPP1998-2000	
	98	50	98	50
	TMAX	TMAX	TMIN	TMIN
PUENTE HUAYTARA	54.66235	53.60779	8.853684	9.341746
AYAVI	54.65674	53.60218	8.840421	9.334008
TAMBILLOS	56.60562	55.36456	11.21924	12.48339
RAMADILLAS	54.6529	53.59834	8.831345	9.328713

Fuente. Elaboración propia.

5.2.3 Determinación y análisis del grado de desempeño (PG) en los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Huancavelica.

Después de los cálculos por los métodos del SHRP original y canadiense y del LTPP 1996, 1998-2000 y 2004 para las temperaturas máximas. Se verificó que el método del LTPP 2004 presentó los valores más críticos a comparación de los demás valores obtenidos por los distintos métodos. Como resultado, se utilizaron los valores del método del LTPP del 2004.

Para determinación de los valores de la temperatura mínima, y de haber realizado los métodos como son los de SHRP original y canadiense, LTPP 1996, 1998-2000 y 2004. Se observó que el método más conveniente para el desarrollo del Grado de Desempeño (PG) es el método del LTPP 1998-2000 debido que las temperaturas resultantes son menores a las demás, sin embargo, esta misma se asemeja a un estudio más actual.

Para el cálculo del grado de desempeño en cada estación de los departamentos seleccionados, se calcularon dos resultados una para la confiabilidad al 98% y al 50% siguiendo al manual de carreteras. Después se graficó en el programa ArcMap y en cada estación se le cambió de color de acuerdo con cada tipo de grado de desempeño.

Tabla 25. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Ayacucho con una confiabilidad al 98%.

ESTACIONES	PG al 98%		
KIMBIRI	58	-	16
AYNA	58	-	16
E5A	52	-	10
E6A	58	-	16
E7	52	-	10
LA QUINUA	52	-	10
HUANTA	52	-	10
E8	52	-	10
E9	52	-	10
AYACUCHO	52	-	10
E10	52	-	10
E11	52	-	10
E12	52	-	10

E13	52	-	10
PTE PAMPAS	58	-	16
E1	52	-	10
CONDORCCOCHA	52	-	10
PAMPA CANGALLO	52	-	10
HUAHUAPUQUIO	52	-	10
CANGALLO	52	-	10
HUANCAPI	52	-	10
ATAHUI	58	-	16
CAYARA	52	-	10
HUALLA	52	-	10
CANARIA	52	-	10
TACA	52	-	10
HUATANOSA	52	-	10
MORCOLLA	52	-	10
E2	52	-	10
HUACAÑA	52	-	10
CHIPAO	52	-	10
CABANA	52	-	10
ANDAMARCA	58	-	16
E3	52	-	10
PUQUIO	58	-	16
YURIVIRI	52	-	10
NEGROMAYO	52	-	10
PAMPAMARCA	52	-	10
SANTIAGO DE VADO	58	-	16
E4	58	-	16
PARAISO	58	-	16
COCHALLA	58	-	16
CAPILLYOC	58	-	16
CHAVIÑA	58	-	16
CORACORA	58	-	16
CARHUANILLA	58	-	16
INCAHUASI	58	-	16
COLLONI	58	-	16
INCUYO	58	-	16
E5	58	-	16
E6	58	-	16

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 26. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Ayacucho con una confiabilidad al 50%.

ESTACIONES	PG al 98%		
KIMBIRI	58	-	16
AYNA	58	-	16
E5A	52	-	10
E6A	58	-	16
E7	52	-	10
LA QUINUA	52	-	10
HUANTA	52	-	10
E8	52	-	10
E9	52	-	10
AYACUCHO	52	-	10
E10	52	-	10
E11	52	-	10
E12	52	-	10
E13	52	-	10
PTE PAMPAS	52	-	10

E1	52	-	10
CONDORCCOCHA	52	-	10
PAMPA CANGALLO	52	-	10
HUAHUAPUQUIO	52	-	10
CANGALLO	52	-	10
HUANCAPI	52	-	10
ATAHUI	52	-	10
CAYARA	52	-	10
HUALLA	52	-	10
CANARIA	52	-	10
TACA	52	-	10
HUATANOSA	52	-	10
MORCOLLA	52	-	10
E2	52	-	10
HUACAÑA	52	-	10
CHIPAO	52	-	10
CABANA	52	-	10
ANDAMARCA	52	-	10
E3	52	-	10
PUQUIO	52	-	10
YURIVIRI	52	-	10
NEGROMAYO	52	-	10
PAMPAMARCA	52	-	10
SANTIAGO DE VADO	52	-	10
E4	52	-	10
PARAISO	58	-	16
COCHALLA	52	-	10
CAPILLYOC	58	-	16
CHAVIÑA	58	-	16
CORACORA	58	-	16
CARHUANILLA	58	-	16
INCAHUASI	58	-	16
COLLONI	58	-	16
INCUYO	58	-	16
E5	58	-	16
E6	58	-	16

Fuente. Elaboración propia

Tabla 27. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Huancavelica con una confiabilidad al 98%.

ESTACIONES	PG HUANCVELICA AL 98%		
PAZOS	52	-	10
MULLAMPA	52	-	10
HUAMANJASA	52	-	10
LOCROJA	52	-	10
MAYOCC	52	-	10
ALCCOMACHAY	52	-	10
ACOSTAMBO	52	-	10
CUENCA	52	-	10
IZCUCHACA	52	-	10
CHUPACA	52	-	10
QUICHUAS	52	-	10
VILLENE	52	-	10
PALLALLA	52	-	10
PORURO	58	-	16
LA ESMERALDA	58	-	16
VILLA RICA	52	-	10
HUANDO	52	-	10

ESTACIONES	PG HUANCVELICA AL 98%		
PALCA	52	-	10
SACHAPITE	52	-	10
CUNYAC	52	-	10
CCOCHACCASA	52	-	10
LIRCA	52	-	10
PAGUANA	52	-	10
JOCHATAY	52	-	10
SECCLLA	52	-	10
JULCAMARCA	52	-	10
PLAZAPATA	52	-	10
HUARACOPATA	52	-	10
ALLJAHUASI	52	-	10
SAN PABLO	52	-	10
ARMA	52	-	10
HUANCHO CHICO	58	-	16
CAPILLAS	58	-	16
CHULLASUYO	58	-	16
MOLLEPAMPA	58	-	16
COCAS	58	-	16
SUYTUPAMPA	52	-	10
CASTROVIRREYNA	58	-	16
PUENTE INFIERNILLO	58	-	16
CRUZCASA	58	-	16
TICRAPO	58	-	16
HUACHACC CORREGIDOR	58	-	16
PAMPA BLANCA	58	-	16
SAN JUAN DE ASTOBAMBA	52	-	10
PUCAPAMPA	52	-	10
SANTA INES	52	-	10
HUARAJO	52	-	10
PILPICHACA	52	-	10
RUMICHACA	52	-	10
JACCAPAQUI	52	-	10
TABLACOGCHA	58	-	16
MIRACCALLA	52	-	10
HUAYTARA	58	-	16
TULLPA	58	-	16
PUENTE HUAYTARA	58	-	16
AYAVI	58	-	16
TAMBILLOS	58	-	16
RAMADILLAS	58	-	16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Huancavelica con una confiabilidad al 50%.

ESTACIONES	PG APURIMAC AL 50%		
PAZOS	52	-	10
MULLAMPA	52	-	10
HUAMANJASA	52	-	10
LOCROJA	52	-	10
MAYOCC	52	-	10
ALCCOMACHAY	52	-	10
ACOSTAMBO	52	-	10
CUENCA	52	-	10
IZCUCHACA	52	-	10
CHUPACA	52	-	10
QUICHUAS	52	-	10

ESTACIONES	PG APURIMAC AL 50%		
VILLENE	52	-	10
PALLALLA	52	-	10
PORURO	52	-	10
LA ESMERALDA	52	-	10
VILLA RICA	52	-	10
HUANDO	52	-	10
PALCA	52	-	10
SACHAPITE	52	-	10
CUNYAC	52	-	10
CCOCHACCASA	52	-	10
LIRCAY	52	-	10
PAGUANA	52	-	10
JOCHATAY	52	-	10
SECCLLA	52	-	10
JULCAMARCA	52	-	10
PLAZAPATA	52	-	10
HUARACOPATA	52	-	10
ALLJAHUASI	52	-	10
SAN PABLO	52	-	10
ARMA	52	-	10
HUANCHO CHICO	58	-	16
CAPILLAS	58	-	16
CHULLASUYO	58	-	16
MOLLEPAMPA	58	-	16
COCAS	58	-	16
SUYTUPAMPA	52	-	10
CASTROVIRREYNA	58	-	16
PUENTE INFIERNILLO	58	-	16
CRUZCASA	58	-	16
TICRAPO	58	-	16
HUACHACC CORREGIDOR	58	-	16
PAMPA BLANCA	58	-	16
SAN JUAN DE ASTOBAMBA	52	-	10
PUCAPAMPA	52	-	10
SANTA INES	52	-	10
HUARAJO	52	-	10
PILPICHACA	52	-	10
RUMICHACA	52	-	10
JACCAPAQUI	52	-	10
TABLACOCHA	58	-	16
MIRACCALLA	52	-	10
HUAYTARA	58	-	16
TULLPA	58	-	16
PUENTE HUAYTARA	58	-	16
AYAVI	58	-	16
TAMBILLOS	58	-	16
RAMADILLAS	58	-	16

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Apurímac con una confiabilidad al 98%.

ESTACIONES	PG al 98%		
CHINCHEROS	58	-	16
URIPA	58	-	16
E14	58	-	16
ALEJOPATA	58	-	16
ANDAHUAYLAS	58	-	16

ESTACIONES	PG al 98%		
E15	58	-	16
CHAMPACCOCHA	58	-	16
E16	58	-	16
E17	58	-	16
E18	58	-	16
E19	58	-	16
CURAMBA	58	-	16
HUANCARAMA	58	-	16
E20	58	-	16
E21	58	-	16
ABANCAY	58	-	16
SOCCLLACCASA	58	-	16
SAYWITE	52	-	10
CURAHUASI	52	-	10
CUNYAC	52	-	10
E22	58	-	16
E23	58	-	16
E24	58	-	16
E25	58	-	16
E26	58	-	16
E27	58	-	16
E28	58	-	16
CHALHUANCA	52	-	10
CARAIBAMBA	52	-	10
E29	52	-	10
E30	52	-	10
LAMBRAMA	52	-	10
LLIULLITA	52	-	10
CHUQUIBAMBILLA	52	-	10
VILCABAMBA	52	-	10
AIRIHUANCA	52	-	10
MANCAHUARA	52	-	10
PROGRESO	52	-	10
CHALLHUAHUACHO	52	-	10
E31	52	-	10
E32	52	-	10
TAMBOBAMBA	58	-	16
E33	52	-	10
COTABAMBAS	52	-	10
HUALLPACHACA	52	-	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Grado de desempeño para las estaciones seleccionadas en el departamento de Apurímac con una confiabilidad al 50%.

ESTACIONES	PG al 98%		
CHINCHEROS	52	-	10
URIPA	52	-	10
E14	52	-	10
ALEJOPATA	52	-	10
ANDAHUAYLAS	52	-	10
E15	52	-	10
CHAMPACCOCHA	52	-	10
E16	52	-	10
E17	52	-	10
E18	52	-	10
E19	52	-	10
CURAMBA	52	-	10

ESTACIONES	PG al 98%		
HUANCARAMA	52	-	10
E20	52	-	10
E21	52	-	10
ABANCAY	52	-	10
SOCCLACCASA	52	-	10
SAYWITE	52	-	10
CURAHUASI	52	-	10
CUNYAC	52	-	10
E22	52	-	10
E23	52	-	10
E24	52	-	10
E25	52	-	10
E26	52	-	10
E27	52	-	10
E28	52	-	10
CHALHUANCA	52	-	10
CARAIBAMBA	52	-	10
E29	52	-	10
E30	52	-	10
LAMBRAMA	52	-	10
LLIULLITA	52	-	10
CHUQUIBAMBILLA	52	-	10
VILCABAMBA	52	-	10
AIRIHUANCA	52	-	10
MANCAHUARA	52	-	10
PROGRESO	52	-	10
CHALLHUAHUACHO	52	-	10
E31	52	-	10
E32	52	-	10
TAMBOBAMBA	52	-	10
E33	52	-	10
COTABAMBAS	52	-	10
HUALLPACHACA	52	-	10

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Obtención mapa de Grado de Desempeño (PG)

5.3.1 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Huancavelica para una confiabilidad del 50%

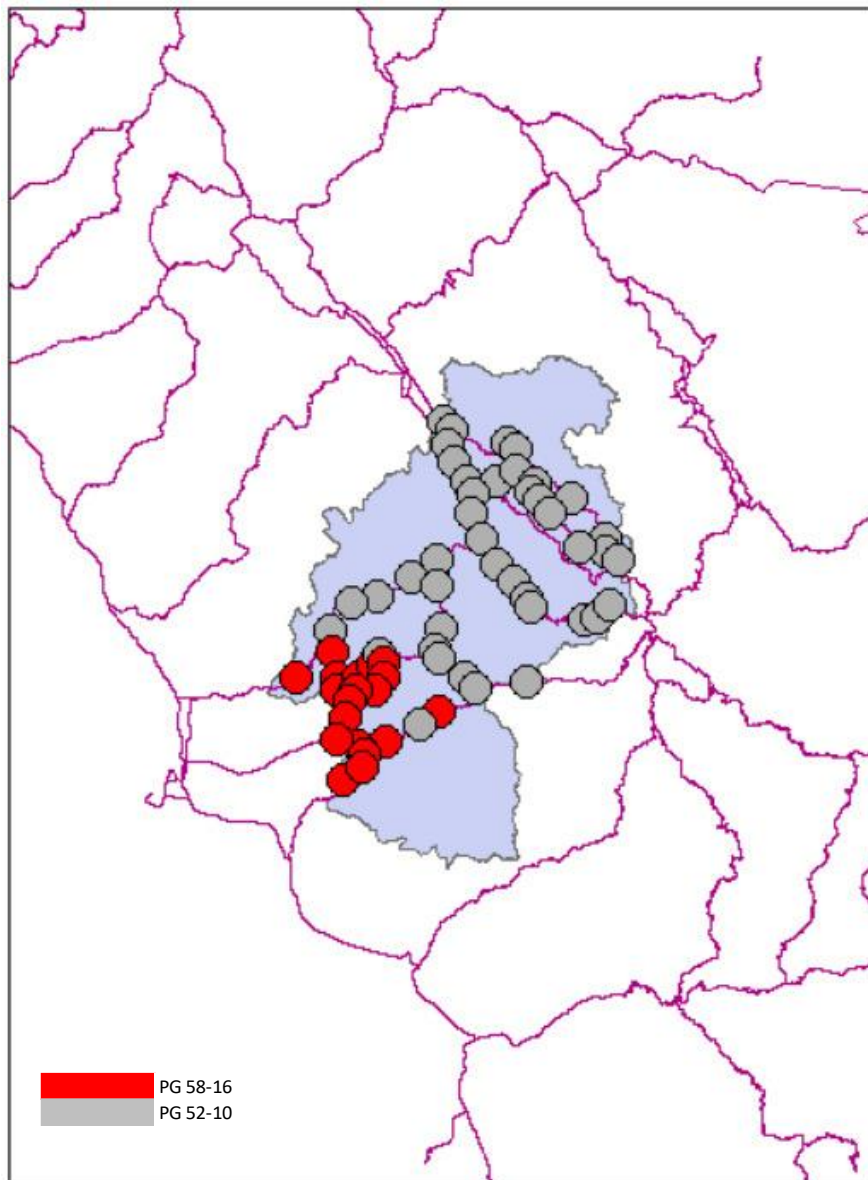


Figura 21. Mapa de grado de desempeño al 50%.
Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Huancavelica para una confiabilidad del 98%

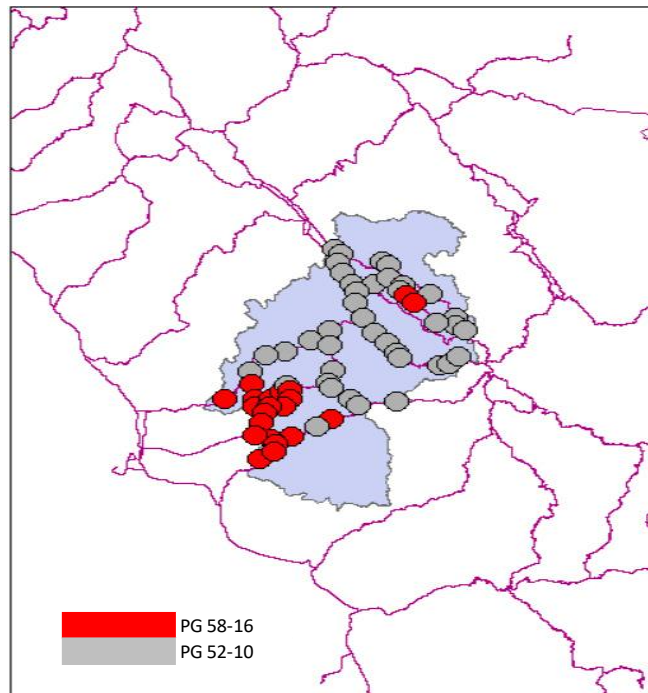


Figura 22. Mapa de grado de desempeño al 98%.

Fuente: Elaboración propia

5.3.3 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Ayacucho para una confiabilidad del 50%

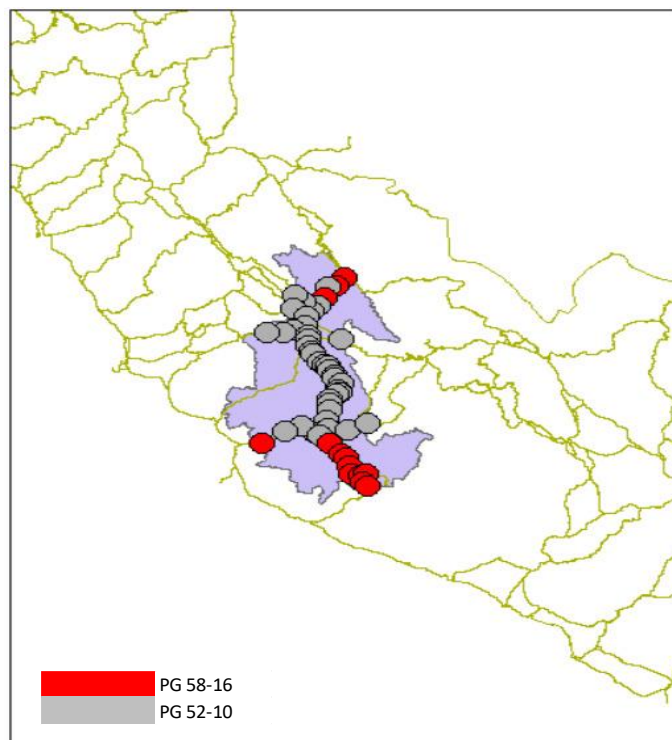


Figura 23. Mapa de grado de desempeño al 50%.

Fuente: Elaboración propia

5.3.4 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Ayacucho para una confiabilidad del 98%.

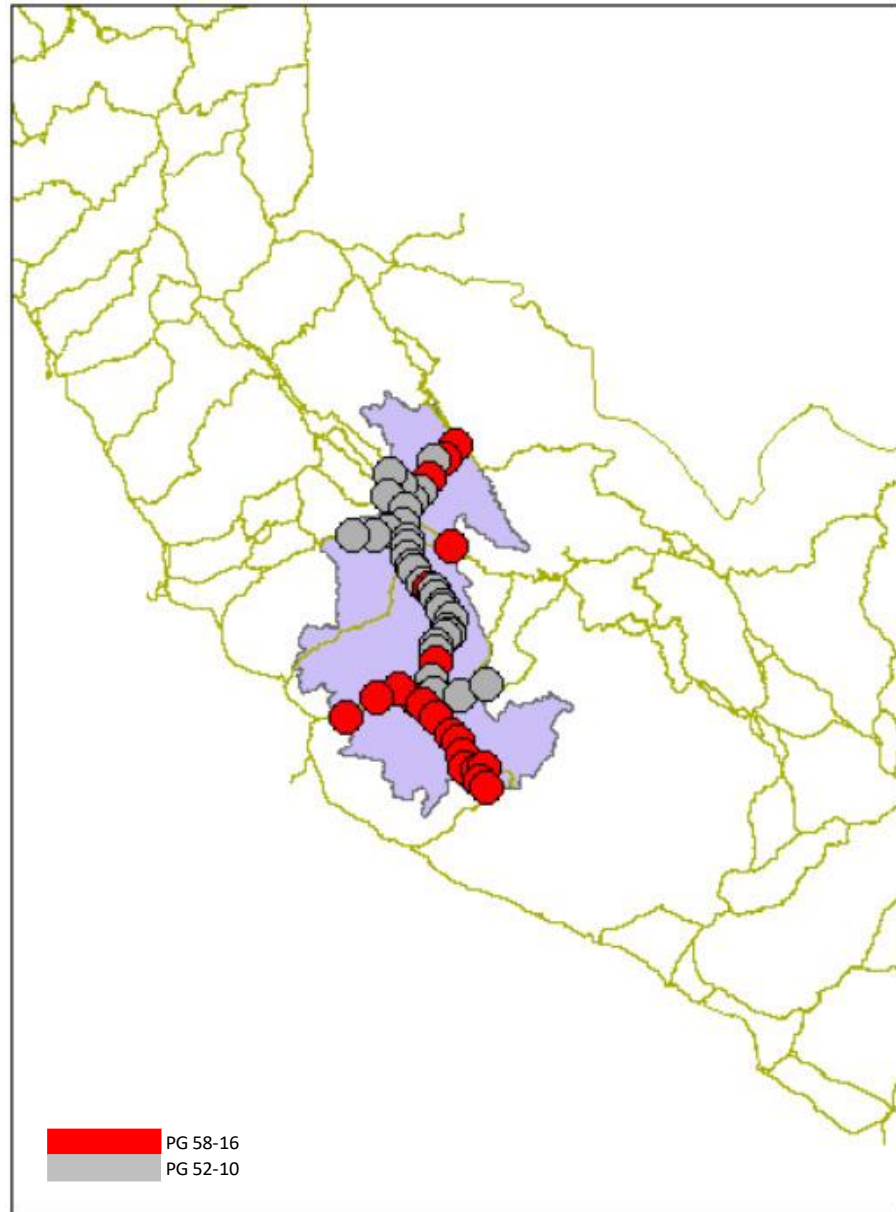


Figura 24. Mapa de grado de desempeño al 98%.
Fuente: Elaboración propia

5.3.5 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Apurímac para una confiabilidad del 50%

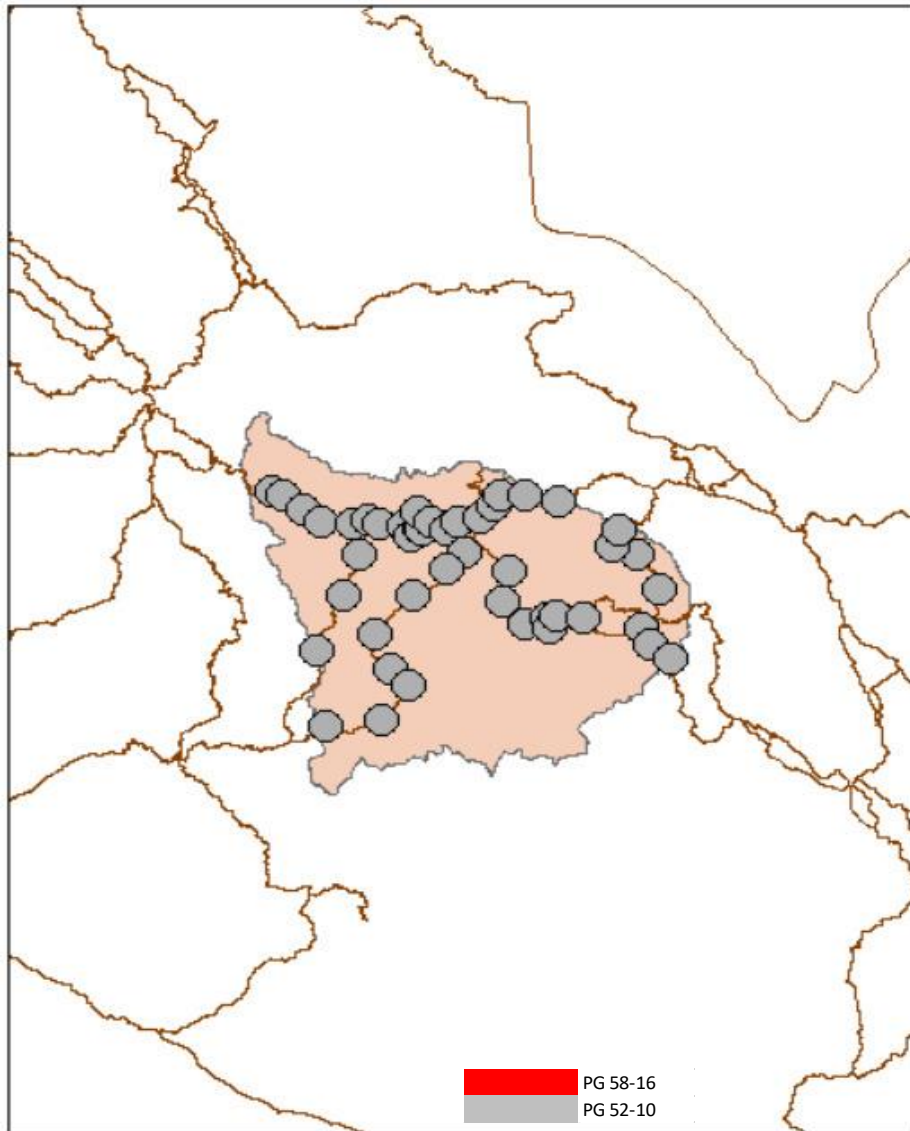


Figura 25. Mapa de grado de desempeño para una confiabilidad del 50%.

Fuente: Elaboración propia.

5.3.6 Mapa de grado de desempeño (PG) de la región Apurímac para una confiabilidad del 98%.

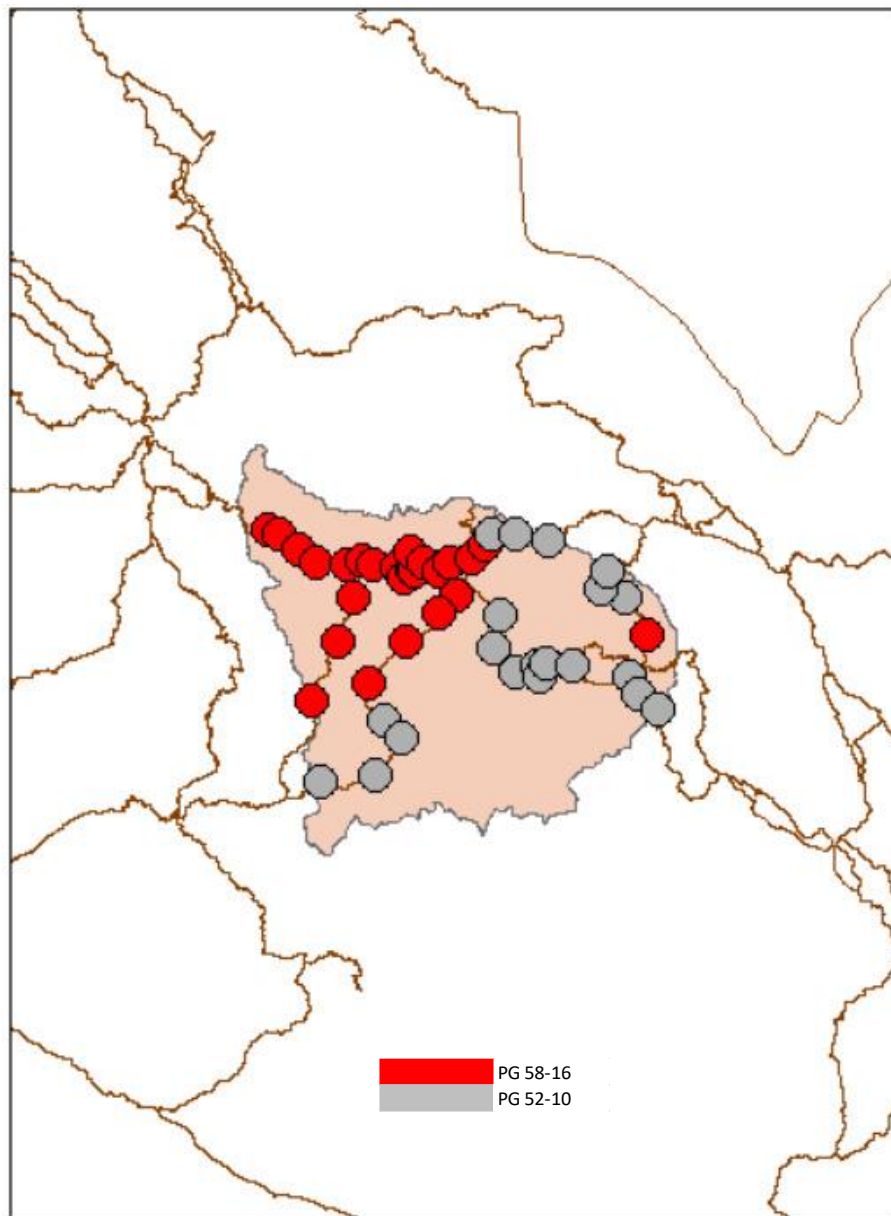


Figura 26. Mapa de grado de desempeño al 98%.

Fuente: Elaboración propia.

5.4 Corrección del Grado de Desempeño

De acuerdo al “Estudio definitivo para la construcción de la vía evitamiento de la ciudad de Abancay” de la región Apurímac se tomaron los datos de tráfico y velocidad de diseño para poder realizar las correcciones.



Figura 27. Ajuste del PG de la carretera

Fuente: Elaboración propia.

Este tramo se ubica dentro una zona del mapa de grados de desempeño (PG) en donde el PG es de 58-16.

Del estudio definitivo se tomó la siguiente información:

Velocidad de diseño:

Tabla 31. Velocidad de diseño de la vía de Evitamiento de la ciudad Abancay.

Tramo		Velocidad de diseño(km/h)	Observación
0+000	5+200	30	Tramo 1
5+200	10+700	40	Tramo 2

Fuente: Elaboración propia

Ejes Equivalentes:

Tabla 32. Ejes equivalentes de la vía de Evitamiento de la ciudad Abancay.

Tramo	Ejes equivalentes	Año
1	9.70E+06	2037
2	9.84E+06	2037

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en el tramo 1 se tiene una velocidad de diseño de 30 km/h y 9.70E+06 EE y en el tramo 2 una velocidad de diseño de 40 km/h y 9.84E+06 EE.

Con estos datos comparamos con la siguiente Tabla:

Tabla 33. Grado de Desempeño corregido.

ESAL de diseño (Millones)	Grado de desempeño corregidos		
	Ratios de la carga de tráfico		
	Permanente (<20km/h)	Bajo (20km/h-70km/h)	Estándar (>70km/h)
<0.3	-	-	-
0.3 - <3	2	1	-
3 - <10	2	1	-
10 - <30	2	1	-
>=30	2	1	1

Fuente: Elaboración propia.

Para el tramo 1 con ESAL entre 3 -<10 y velocidades de 20km/h – 70km/h, se debe aumentar 1 PG, como antes de realizar las correcciones se obtuvo un PG de 58-16 el nuevo PG luego de realizada las correcciones es de 64-16.

Para el tramo 2 con ESAL entre 3 -<10 y velocidades de 20km/h – 70km/h, se debe aumentar 1 PG, como antes de realizar las correcciones se obtuvo un PG de 58-16 el nuevo PG luego de realizada las correcciones es de 64-16.

5.5 Contrastación de Hipótesis

5.5.1 Hipótesis Especifica 1

Hipótesis alterna 1: Mediante la utilización de los modelos matemáticos se determina los grados de desempeño (PG) para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

Hipótesis nula 1: Mediante la utilización de los modelos matemáticos no se determina los grados de desempeño (PG) para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

Con los datos obtenidos de las temperaturas máximas y mínimas de los últimos 20 años del proyecto MERRA-2, aplicando los modelos matemáticos SHRP y LTPP se pudo determinar los grados de desempeño (PG) los cuales se muestran en las Tablas 25, 26, 27, 28, 29, 30 los que se usaron para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG).

Por lo tanto, la hipótesis especifica 1 es válida.

5.5.2 Hipótesis Especifica 2

Hipótesis alterna 2: Usando el software ArcMap se delimita el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

Hipótesis nula 2: Usando el software ArcMap no se delimita el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

Usando el software ArcMap se delimitó el área de influencia de los grados de desempeño (PG), para lo cual se ubicaron un total de 61 estaciones en la región Huancavelica, 45 estaciones en la región Apurímac y 51 estaciones en la región Ayacucho, a lo largo de la red vial nacional.

Por lo tanto, la hipótesis específica 2 es válida.

5.5.3. Hipótesis Especifica 3

Hipótesis alterna 3: Las correcciones por velocidad y tráfico modifican el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

Hipótesis nula 3: Las correcciones por velocidad y tráfico no modifican el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.

De acuerdo al “estudio definitivo para la construcción de la vía evitamiento de la ciudad de Abancay” de la región Apurímac, las correcciones por velocidad de diseño y nivel de tráfico modificaron el grado de desempeño (PG) en 1. Por lo tanto, la hipótesis específica 3 es válida.

CONCLUSIONES

1. Se elaboró el Mapa de grados de desempeño para ligantes asfálticos según clasificación SUPERPAVE en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac obteniendo los datos climatológicos del proyecto MERRA-2 a lo largo de la red vial nacional que atraviesa dichas regiones en la cual se ubicaron las estaciones de climatológicas.
2. Se determinaron los grados de desempeño(PG) en la región Huancavelica de acuerdo a la clasificación SUPERPAVE los cuales fueron: PG 58 – 16 y PG 52 – 10 para una confiabilidad del 50 % y PG 58 – 16, PG 52 – 10 para una confiabilidad del 98%, en la región Ayacucho fueron: PG 58 – 16, PG 52 – 10 para una confiabilidad del 50 % y PG 58 – 16, PG 52– 10 para una confiabilidad del 98%, y en la región de Apurímac fue PG 52 – 10 para una confiabilidad del 50 % y PG 58 – 16, PG 52– 10 para una confiabilidad del 98% . Estos PG fueron obtenidos usando los modelos matemáticos SHRP y LTPP.
3. Con el uso del software ArcMap se delimitaron las zonas de grado de desempeño a lo largo de la red vial nacional que atraviesa las regiones estudiadas, para lo cual se ubicaron 61 estaciones en la región Huancavelica, 45 estaciones para la región Apurímac y 51 estaciones para la región Ayacucho.
4. Los grados de desempeño calculados son únicamente por temperatura, para lo cual se realiza un ajuste por nivel de tráfico y velocidad de diseño, el cual se usó para el “Estudio definitivo para la construcción de la vía evitamiento de la ciudad de Abancay” el cual modificó el grado de desempeño (PG) en 1 obteniendo un PG 64-16.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los investigadores que utilizaran el sistema Superpave, usar los datos proporcionados por el proyecto MERRA-2 ya que cuenta con los datos de clima de los últimos 20 años cumpliendo con lo exigido por la metodología SUPERPAVE, puesto que la información brindada por el SENAMHI no tiene los datos suficientes exigidos por la metodología SUPERPAVE y además de no contar con las estaciones suficientes para realizar un correcto análisis.
2. Se recomienda a los proyectistas, ubicar las estaciones climatológicas a lo largo de la red vial nacional para una adecuada recolección de datos y así poder determinar los grados de desempeño de forma más precisa y ajustados a la realidad.
3. Se recomienda a los proyectistas, el uso de la metodología SUPERPAVE para la elección del ligante asfáltico debido a que este lo clasifica por grado de desempeño, tomando en cuenta las temperaturas a las que se encuentra sometido el ligante asfáltico y no solo por penetración como es el caso del diseño por Marshall.
4. Se recomienda el uso del mapa de grados de desempeño (PG) elaborado en la presente tesis para la elección adecuada del ligante asfáltico en los futuros proyectos de infraestructura vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá R. y Delgado (2020). *Mapa de grado de desempeño para ligantes asfálticos según clasificación Superpave, Aplicado en las regiones Lima, Ancash e Ica.* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.
- Alonso, A. M. (2020). *Determinación y zonificación del Grado de Desempeño de los asfaltos para Cuba según la metodología SUPERPAVE.* Universidad del Norte. doi: <https://doi.org/10.14482/inde.38.2.620.19>
- Arteaga, L. (2017). *Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico.* Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021) *Caracterización de Ayacucho.* Recuperado de: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Huancayo/ayacucho-caracterizacion.pdf>
- Banco Central de Reserva del Perú. (2021) *Caracterización de Huancavelica.* Recuperado de: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Huancayo/huancavelica-caracterizacion.pdf>
- Cominsky, R. (1994). *The Superpave Mix Design Manual for new construction and overlays.* Recuperado de <https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp/SHRP-A-407.pdf>
- Cusi, J., & Duran, M. (2021). *Determinación del grado de desempeño – Superpave asfálticos en control de fallas de pavimentos en control de fallas de pavimentos flexibles, carretera Huancavelica- Santa Inés.* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Huancavelica, 2021, Huancavelica: Universidad de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Huamán, N. (2011). *La Deformación Permanente de las Mezclas Asfálticas y el consecuente deterioro de los Pavimentos Asfálticos en el Perú*”. (Tesis de Pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.
- McGennis, R. (1994). *Background of superpave asphalt mixture design and analysis.* Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/013177.pdf>

- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2013). *Manual de carreteras, especificaciones técnicas generales para la construcción*. Perú. Recuperado de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf
- Miranda, C. (2015). *Determinación del tipo de cemento asfáltico según el grado de desempeño para el diseño de la carpeta de rodadura, de acuerdo a la zonificación climática del país de Guatemala*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala ciudad, Guatemala.
- Morales, D & Arellano, E. (2013). *Zonificación de temperaturas para la evaluación y aplicación de mezclas asfálticas diseñadas según la metodología Superpave para el uso en Chile*. (Tesis de pregrado). Universidad de Talca. Talca, Chile.
- NASA POWER. (2021). *Prediction Of Worldwide Energy Resources*. Recuperado de The power project: <https://power.larc.nasa.gov/>
- Orellano Y. & Pilco C. (2021) *Mapa de zonificación por grado de desempeño (PG) para cementos asfálticos de acuerdo a la clasificación Superpave*. (Tesis de pregrado) Universidad Ricardo Palma. Lima. Perú.
- Ortiz Medina, H. (2020). *Análisis del clima para la predicción de grados de desempeño empleando el método SUPERPAVE en la carretera - tramo Chincha Alta - Huancavelica* (Tesis de pregrado) Universidad San Martín de Porres, 2020, Lima, Perú.
- Pereira, J., Bariani, L., Goretti, L., & Barboza, J. (2016). Pavimentação Asfáltica: Formação Básica Para Engenheiros. Recuperado de: https://www.academia.edu/21661995/pavimenta%C3%A7%C3%A3o_Asf%C3%A1ltica_Forma%C3%A7%C3%A3o_B%C3%A1sica_para_Engenheiros
- Rubio Torres, E. (2018). *Metodología para la construcción de mapas de temperatura basada en la influencia termo-topográfica y el grado de desempeño (PG) aplicada en la selección de cementos asfálticos*. (Tesis de pregrado) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Michoacán, México.
- Secretariado de Comunicaciones y Transportes. (2005). CMT. *Características de los Materiales*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/LUISANTONIOMARTINEZP2/n-cmt40500405#:~:text=CMT.%20CARACTER%C3%8DSTICAS%20DE%20L>

OS%20MATERIALES%20de%206,las%20que%20un%20cemento%20as
f%3%A1ltico%20se%20desempe%3%B1a%20satisfactoriamente.

- Tito, C. (2019). *Correlación entre los factores climáticos provenientes de la base de datos del LTPP con el comportamiento del pavimento de la Carretera Juliaca-Azángaro, Periodo 2018*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Abdullah, A. S. (2008). Application of SUPERPAVE System for Binder Selection Based on Local Conditions.
- Uribe, M. (2016). Curso Regional de Geotecnia y Pavimentos. Diseño de Pavimentos Rígidos. Recuperado de http://www.amivtac.org/spanelWeb/filemanager/Biblioteca_Amivtac/Cursos%20AMIVTAC/curso-geotecnia/CursoGeotecnia-y-Pavimentos-Qro.pdf:SantiagodeQuerétaro,Qro
- Zambrano, C. (2017) *Mecánica de Fluidos Grafica de Viscosidad vs Temperatura*. (Tesis pregrado) Universidad del Salvador, San Salvador, El Salvador.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

MAPA DE GRADOS DE DESEMPEÑO PARA LIGANTES ASFÁLTICOS SEGÚN CLASIFICACION SUPERPAVE, REGIONES HUANCVELICA, AYACUCHO Y APURIMAC

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente			
¿Cómo elaborar el Mapa de Grado de Desempeño empleando modelos matemáticos de la clasificación SUPERPAVE en ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?	Elaborar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) por zonas empleando modelos matemáticos de la clasificación SUPERPAVE en ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac, año 2022.	Se puede elaborar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) por zonas empleando modelos matemáticos de la clasificación SUPERPAVE en ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac.	Clasificación SUPERPAVE	Modelos Matemáticos para la LTPP determinación de los grados de desempeño (PG)	SHRP-A-648 LTTP Seasonal Asphalt Concrete	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	
1: ¿Como determinar los grados de desempeño (PG) al emplear los modelos matemáticos para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?	1: Determinar los grados de desempeño (PG) al emplear los modelos matemáticos para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac	1: Mediante la utilización de los modelos matemáticos se determina los grados de desempeño (PG) para la elaboración del mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac			Clima	Orientación: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Nivel: Descriptivo Diseño: No experimental
2: ¿Cómo delimitar el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?	2: Delimitar el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac	2: Usando el software ArcMap se delimita el área de influencia de los grados de desempeño (PG) para elaborar el mapa de grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave en las regiones de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac	Mapa de grados de desempeño (PG)	Delimitación de zonas de los grados de desempeño (PG)	Parámetro de diseño del pavimento flexible	
3: ¿De qué manera las correcciones por velocidad y tráfico alteran el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac?	3: Utilizar las correcciones por velocidad y tráfico para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac	3: Las correcciones por velocidad y tráfico modifican el grado de desempeño (PG) para la elección del tipo de ligante asfáltico en las carreteras de Huancavelica, Ayacucho y Apurímac			Parámetro de diseño geométrico	