

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**MAPA DE GRADO DE DESEMPEÑO (PG) APLICANDO LOS
MODELOS MATEMÁTICOS PARA LIGANTES ASFÁLTICOS
SEGÚN CLASIFICACIÓN SUPERPAVE**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

Bach. NAJARRO IBARRA, PIERO DAVID

Bach. RAMOS CRISTOBAL, MELQUISEDEC JUDÁ

ASESOR: MSc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mis padres, HERMALIDA IBARRA Y EUDES NAJARRO por siempre apoyarme en todo momento de mi vida. A mi hermano, STEFANO NAJARRO por siempre estar ahí cuando lo necesito. A mis familiares y amigos por también ser parte fundamental de mi vida.

Piero David Najarro Ibarra

A Dios, por darme unos padres espléndidos, a mi mamá CRISTOBAL AYALA Eusebia quien siempre me motiva en todo momento para ser disciplinado y ejemplar en la vida, a mi padre RAMOS RAMON Abad quien siempre me guía y cuida. Gracias por darme todo lo que deseo.

Melquisedec Judá, Ramos Cristobal

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos permitido formar en ella, por brindarnos los conocimientos de esta maravillosa carrera; y a todas personas que fueron parte de esta trayectoria, entre ellas, amigos, familiares y maestros.

Piero Najarro y Melquisedec Ramos

INDICE GENERAL

RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	3
1.1.1 Descripción	3
1.1.2 Formulación del problema general	3
1.1.3 Formulación de los problemas específicos	3
1.2 Objetivo general y específico	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática	4
1.3.1 Temporal.....	4
1.3.2 Espacial.....	4
1.3.3 Temática.....	4
1.4 Justificación e importancia	4
1.4.1 Técnica.....	4
1.4.2 Social	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Marco Histórico.....	6
2.2. Antecedentes del estudio de investigación	7
2.2.1. Investigaciones internacionales	7
2.2.2. Investigaciones nacionales.....	8
2.3. Bases teóricas vinculadas a la variable o variable de estudio	10
2.3.1. Cemento Asfáltico de Petróleo CAP.....	10
2.3.2. Tecnología SUPERPAVE.....	12
2.3.3. Mapa de Grado de Desempeño (PG).....	24
2.4. Definición de términos básicos.....	26
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	28
3.1. Hipótesis	28
3.1.1. Hipótesis principal	28
3.1.2. Hipótesis secundarias.....	28

3.2. Variables.....	28
3.2.1.V.I. Modelos matemáticos para ligantes asfálticos.....	28
3.2.2.V.D. Mapa de grado de desempeño (PG)	28
3.2.3.Operacionalización de las variables	29
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
4.1. Tipo y Nivel	30
4.2. Diseño de la investigación	30
4.3. Población y muestra.....	30
4.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos	31
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos	31
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos	31
4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos.....	31
4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	31
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA	
INVESTIGACIÓN.....	32
5.1. Estaciones meteorológicas de Arequipa y Moquegua	32
5.2. Data de las temperaturas para las Regiones de Arequipa y Moquegua.....	33
5.2.1. Obtención de data del programa Power Data – NASA.....	34
5.2.2. Obtención de data del SENAMHI	36
5.3. Tabla de Temperaturas máximas y mínimas de Arequipa.....	39
5.4. Tabla de Temperaturas máximas y mínimas de Moquegua	41
5.5. Cálculo de temperaturas según su grado de confiabilidad.....	42
5.5.1. Temperaturas máximas y mínimas del aire: Confiabilidad al 50%	42
5.5.2. Temperaturas máximas y mínimas del aire: Confiabilidad al 98%	45
5.6. Mapa de grado de desempeño	47
5.6.1. Cálculo del Grado de desempeño (PG) de las estaciones	47
5.6.2. Delimitación de zonas por grado de desempeño (PG)	52
5.6.3. Corrección del grado de desempeño (PG) en función al nivel de tráfico y velocidad	59
5.7. Comparación del Grado de Desempeño (PG) por modelo matemático	63
5.7.1. Arequipa.....	63
5.7.2. Moquegua	65
5.8. Contrastación de Hipótesis	66
5.8.1. Hipótesis 1	66

5.8.2. Hipótesis 2	66
5.8.3. Hipótesis 3	67
5.8.4. Hipótesis Principal	68
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	70
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS.....	74
Anexo 1. Matriz de consistencia	74
Anexo 2. Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Machahuay – Arequipa. 2001 - 2020	75
Anexo 3. Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Imata– Arequipa. 2001 - 2020	76
Anexo N° 4 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Pillones – Arequipa. 2001 – 2020	77
Anexo N° 5 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Sibayo – Arequipa. 2001 – 2020	78
Anexo N° 6 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Yanaquihua – Arequipa.2001-2020	79
Anexo N° 7 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Pullhuay – Arequipa. 2001-2020	80
Anexo N° 8 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Cotahuasi – Arequipa.2001-2020	81
Anexo N° 9 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC P. Blanca–Arequipa.2001-2020	82
Anexo N° 10 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Salamanca–Arequipa.2001-2020	83
Anexo N° 11 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Machahuay–Arequipa.2001-2020	84
Anexo N° 12 Temper. de los 7 días máx. y mín anual, EC Choco – Arequipa. 2001 – 2020	85
Anexo N° 13 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chachas –Arequipa. 2001 – 2020	86
Anexo N° 14 Temper. de los 7 días máx. y mín anual, EC Ayo – Arequipa. 2001 – 2020	87

Anexo N° 15 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Andahua – Arequipa. 2001-2020	88
Anexo N° 16 Temper. de los 7 días máx. y mín anual, EC Aplao – Arequipa. 2001-2020	89
Anexo N° 17 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC P. Atico – Arequipa. 2001-2020	90
Anexo N° 18 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Caraveli – Arequipa. 2001 – 2020	91
Anexo N° 19 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC La Joya – Arequipa. 2001 – 2020	92
Anexo N° 20 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC P. Majes–Arequipa. 2001-2020	93
Anexo N° 21 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Huambo – Arequipa. 2001-2020	94
Anexo N° 22 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC La Angostura – Arequipa. 2001-2020	95
Anexo N° 23 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chivay – Arequipa. 2001 – 2020	96
Anexo N° 24 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Orcopampa–Arequipa.2001-2020	97
Anexo N° 25 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC El Frayle–Arequipa.2001-2020	98
Anexo N° 26 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chiguata – Arequipa.2001-2020	99
Anexo N° 27 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Las Salinas–Arequipa.2001-2020	100
Anexo N° 28 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC La Pampilla–Arequipa.2001-2020	101
Anexo N° 29 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chichas – Arequipa. 2001-2020	102
Anexo N° 30 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Porpera–Arequipa.2001-2020	103
Anexo N° 31 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Lomas – Arequipa. 2001-2020	104

Anexo N° 32 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Visca Visca–Areq. 2001-2020	105
Anexo N° 33 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Moquegua–Moquegua.2001-2020	106
Anexo N° 34 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Quinistaquillas–Moquegua 2001-2020	107
Anexo N° 35 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Calacoa – Moquegua.2001-2020	108
Anexo N° 36 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Ichuña – Moquegua. 2001-2020	109
Anexo N° 37 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Ubinas–Moquegua.2001 – 2020	110
Anexo N° 38 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Puntacoles–Moquegua.2001-2020	111
Anexo N° 39 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Ilo –Moquegua. 2001-2020.112	

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Operacionalización de variables	29
Tabla N° 2: Información Geográfica de las E.C en la región Arequipa	37
Tabla N° 3: Información Geográfica de las E.C en la región Moquegua.....	38
Tabla N° 4: Tabla de temperaturas máx promedio para la estación de Machahuay.....	39
Tabla N° 5: Temperaturas Promedio de las E.C en la Región Arequipa.....	40
Tabla N° 6: Tabla de temperaturas máx promedio para la estación de Moquegua	41
Tabla N° 7: Temperaturas Promedio de las E.C en la Región Moquegua.....	42
Tabla N° 8: Desviación Estandar de Temp. Máx y Mín de las estaciones de Arequipa	43
Tabla N° 9: Desviación Estandar de Temp. Máxs y Míns de las estaciones de Moquegua	43
Tabla N° 10: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 50% de confiabilidad de las EC de Arequipa	44
Tabla N° 11: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 50% de confiabilidad de las EC de Moquegua.....	45
Tabla N° 12: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 98% de confiabilidad de las EC de Arequipa	46
Tabla N° 13: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 98% de confiabilidad de las EC de Moquegua.....	46
Tabla N° 14: Temp. máximas y mínimas para las EC de Arequipa, LTPP 2004 al 98% de confiabilidad	48
Tabla N° 15: PG de las estaciones de Arequipa, LTPP 2004, 98% de confiabilidad.....	49
Tabla N° 16: Temp. máximas y mínimas para las EC de Moquegua, LTPP 2004 al 98% de confiabilidad	50
Tabla N° 17: PG de las estaciones de Moquegua LTPP 2004, 98% de confiabilidad	50
Tabla N° 18: Resumen de Ejes Estandar de Carga Equivalentes por Estaciones.....	61
Tabla N° 19: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 50% para Arequipa.....	63
Tabla N° 20: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 98% para Arequipa.....	64
Tabla N° 21: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 50% para Moquegua	65

Tabla N° 22: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 98% para Arequipa.....	65
Tabla N° 23: ESAL de estaciones (20 años)	67

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Grafico Tensión – Deformación	13
Figura N° 2: Estufa de película delgada TFOT	14
Figura N° 3: Película Delgada RTFOT.....	14
Figura N° 4: Cámara de envejecimiento a Presión PAV.....	15
Figura N° 5: Reómetro Dinámico de Corte	15
Figura N° 6: Viscosímetro cilíndrico rotacional coaxial Brookfield	16
Figura N° 7: Reómetro de viga de flexión.....	17
Figura N° 8: Ensayo de Tensión Directa	17
Figura N° 9: Grado de desempeño de Ligante Asfáltico.....	18
Figura N° 10: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG	19
Figura N° 11: Ajuste del Grado de Desempeño (PG)	24
Figura N° 12: Mapa de clasificación climática Arequipa-Moquegua.....	26
Figura N° 13: Clasificación climática del Perú	26
Figura N° 14: Mapa provincial de Arequipa con las estaciones climáticas.....	32
Figura N° 15: Mapa provincial de Moquegua con las estaciones climáticas.....	33
Figura N° 16: Años en el que se usó data del SENHAMI y POWER DATA - NASA ..	34
Figura N° 17: Descarga de datos del Power Data paso 1	35
Figura N° 18: Descarga de datos del Power Data paso 2.....	35
Figura N° 19: Excel de temperaturas del Power Data - NASA	35
Figura N° 20: Descarga de datos del SENAMHI paso 1	36
Figura N° 21: Descarga de datos de SENAMHI paso 2.....	36
Figura N° 22: Excel de temperaturas del SENAMHI	37
Figura N° 23: Mapa de Arequipa con valor de PG por estación.....	51
Figura N° 24: Mapa de Moquegua con el valor de PG por estación	52
Figura N° 25: Mapa de clasificación climática de Warren Thornthwaite para el departamento de Arequipa.....	53
Figura N° 26: Rango de elevaciones (curvas de nivel) para el departamento de Arequipa	53
Figura N° 27: Curvas de nivel cada 100 m en la zona climática E(d) B'1 H3.....	54
Figura N° 28: Caso 1, criterio de zonificación	55
Figura N° 29: Curva de nivel con cota 1400 msnm para delimitar zonas con PG diferentes.....	55

Figura N° 30: Caso 2, Criterio de zonificación	56
Figura N° 31: Mapa de grado de desempeño PG para el departamento de Arequipa	56
Figura N° 32: Mapa de clasificación climática de Warren Thornthwaite para el departamento de Moquegua	57
Figura N° 33: Rango de elevaciones (curvas de nivel) para el departamento de Moquegua	58
Figura N° 34: Mapa de grado de desempeño PG para el departamento de Moquegua...	59
Figura N° 35: Red vial departamental tramo AR-118.....	60
Figura N° 36: Red vial departamental tramo MO-108.....	60
Figura N° 37: Estación de cada tramo	61
Figura N° 38: Red vial departamental AR-118 y MO-108 sobre mapa de grado de desempeño (PG)	62

RESUMEN

Los métodos más utilizados en nuestro país se caracterizan por efectuarse bajo condiciones estándares que definen las temperaturas según criterios que no necesariamente representan la temperatura real del terreno. Es así cómo surge la necesidad de estudiar la aplicabilidad de la tecnología SUPERPAVE la cual se caracteriza por efectuar una clasificación de ligantes asfálticos dentro de un rango de temperatura que corresponde al que experimenta el pavimento durante su vida útil en base a esto es que el presente trabajo se confecciona un mapa resumen de recomendación para el uso de ligantes asfálticos según la normativa SUPERPAVE comprendiendo una zona en específico del Perú que en este caso son las regiones ubicadas en Arequipa y Moquegua. Como primer punto de partida se recopiló una base de datos climáticos, a partir de los datos de temperaturas máximas y mínimas durante un periodo continuo de los 20 años últimos correspondientes de las estaciones meteorológicas distribuidas en las regiones de Arequipa y Moquegua, asimismo se pudo sacar la data del SENAMHI pero al tener datos de años incompletos lo complementamos con el programa POWER DATA de la NASA que detalladamente nos da la información que requerimos para la presente investigación. Con ayuda de los factores estadísticos de confiabilidad de los modelos matemáticos SHRP (Strategic Highway Research Program) y LTPP (Long-Term Pavement Performance), el resultado final fue un mapa de Grado de Desempeño, el cual representa gráficamente una clasificación para la selección óptima del ligante asfáltico.

Palabras Claves: SUPERPAVE, Strategic Highway Research Program, SHRP, Grado de Desempeño PG, LTPP (Long-Term Pavement Performance Program), SENAMHI, Mapa de Grado de Desempeño, POWER DATA NASA.

ABSTRACT

The methods most used in our country are characterized by being carried out under standard conditions that define temperatures according to criteria that do not necessarily represent the real temperature of the ground. This is how the need to study the applicability of SUPERPAVE technology arises, which is characterized by making a classification of asphalt binders within a temperature range that corresponds to that experienced by the pavement during its useful life, based on this is that the present In the work, a summary map of recommendation for the use of asphalt binders according to the SUPERPAVE regulations is made, comprising a specific area of Peru, which in this case are the regions located in Arequipa and Moquegua.

As a first starting point, a climatic database was compiled, from the data of maximum and minimum temperatures during a continuous period of the last 20 years corresponding to the meteorological stations distributed in the regions of Arequipa and Moquegua, it was also possible to obtain SENAMHI data, but having data from incomplete years, we complement it with NASA's POWER DATA program, which gives us in detail the information we require for this research.

With the help of the statistical reliability factors of the mathematical models SHRP (Strategic Highway Research Program) and LTPP (Low Pavement Temperature Prediction), the final result was a Performance Degree map, which graphically represents a classification for the optimal selection of the asphalt binder.

Key Words: SUPERPAVE, Strategic Highway Research Program, SHRP, PG Performance Grade, LTPP (Long-Term Pavement Performance Program LTPP), SENAMHI, Performance Grade Map, POWER DATA NASA.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la determinación del Grado de Desempeño (PG) bajo la especificación SUPERPAVE de los ligantes asfálticos. Podemos definir el Grado de Desempeño (PG) de los ligantes asfálticos como el rango de temperaturas altas y bajas sobre el cual los ligantes asfálticos tienen buen desempeño, tienen la capacidad para resistir fallas por deformación permanente debido a temperaturas altas, resistir fallas por fatiga debido a temperaturas intermedias y resistir fallas por agrietamiento térmico debido a temperaturas bajas, aunque los ligantes asfálticos estén en su estado original o envejecido. El Grado de Desempeño (PG) se materializa a través de sus parámetros reológicos como el módulo complejo (G^*), ángulo de fase (δ), rigidez de fluencia (S), rapidez de relajación (m), entre otros, y es a través de estos que la tecnología SUPERPAVE establece parámetros máximos y mínimos para evaluar el desempeño de los ligantes asfálticos. El interés de la presente investigación radica en elaborar un mapa de grado de desempeño según clasificación SUPERPAVE para la elección del ligante asfáltico.

Nuestro país utiliza una clasificación de ligantes asfálticos según grado de viscosidad, por lo cual es de importancia investigar sobre metodologías basadas en el desempeño, y así evitar las especificaciones del tipo empíricas. Es por ello, que en la presente investigación se buscará obtener mapa de zonificación basándose tecnología SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement), para las regiones Arequipa y Moquegua del territorio peruano, utilizando los modelos de cálculo de “grados de desempeño” (PerformanceGrade, PG) implementados en los programas computacionales. Para lograr dichas zonificaciones, se utilizaron datos de temperaturas extremas diarias de 38 estaciones de las regiones Arequipa y Moquegua, usando data del SENHAMI y complementando data con información de POWER DATA de la NASA.

A continuación, presentamos los contenidos por capítulos de la investigación:

CAPÍTULO I. Se desarrolla el planteamiento de estudio, en donde se describe la problemática, la formulación del problema, la justificación e importancia de la investigación, y las limitaciones de la investigación conjuntamente se establecen los objetivos de la investigación.

CAPÍTULO II. Se desarrolló el marco histórico, las investigaciones relacionadas con el tema, su estructura conceptual teórica de las variables y la definición de términos básicos.

CAPÍTULO III. Se detalló la hipótesis, se identifican las variables, por su definición conceptual como por la operacionalización de las variables.

CAPÍTULO IV. Se desarrolló la metodología de la investigación que incluye el tipo y método de la investigación, la población y muestra de la investigación, el diseño muestral, las técnicas e instrumentos de recolección de datos y las técnicas de procesamiento de análisis de datos, además se desarrolló la selección de los instrumentos de medición de las variables de la investigación.

CAPITULO V. Se presenta los análisis de los resultados, también las tablas de las Temperaturas Máximas y Mínimas del Aire de las estaciones meteorológicas en estudio, también el cálculo de estas mismas con un grado de confiabilidad de un 50% y 98%. Se presenta los resultados obtenidos, las tablas de las variables y sus respectivas discusiones. También, se muestra un análisis comparativo por tipo de modelo seguido.

Finalmente, se presenta las conclusiones, y las recomendaciones, asimismo se señala las referencias bibliográficas según lo establecido por las Normas APA, y se incluye en el anexo todas las tablas de temperaturas máximas y mínimas registradas en los últimos 20 años.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

1.1.1 Descripción

Actualmente el pavimento asfáltico es la alternativa de uso frecuente en la infraestructura vial del Perú, por lo cual es importante conocer de nuevos avances que posibiliten alargar la vida útil y la calidad. Es por ello que en los últimos años hay mucho énfasis en abarcar más acerca del conocimiento de los materiales y mezclas que componen la estructura de pavimento, debido a esto surge la necesidad de implementar un sistema que permite determinar las características fundamentales del material, que defina los requisitos mínimos según a sus propiedades reológicas y a las temperaturas durante su vida útil. Es así como surge la idea de aplicar en los departamentos de Arequipa y Moquegua las especificaciones SUPERPAVE, creadas por el programa SHRP (Strategic Highway Research Program).

SUPERPAVE (Superior Performance Asphalt Pavements) incluye especificaciones innovadoras para el ligante asfáltico además de un modelo de predicción del comportamiento de los pavimentos asfálticos. Mediante ello los ligantes son clasificados por un rango de temperatura en el cual el pavimento se caracterizaría por sus propiedades físicas adecuadas, para así tener un buen comportamiento frente a de fallas asociadas a la calidad del ligante. Por ello, es importante el determinar las temperaturas críticas a las cuales estará sometido el pavimento asfáltico de acuerdo a su ubicación geográfica.

1.1.2 Formulación del problema general

¿Se podría elaborar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según la clasificación SUPERPAVE en las regiones de Arequipa - Moquegua?

1.1.3 Formulación de los problemas específicos

1. ¿Cuáles componentes que se necesitan para calcular el grado de desempeño (PG) para la clasificación SUPERPAVE en las regiones Arequipa - Moquegua?
2. ¿Cuáles son las diferencias de los valores entre los modelos matemáticos existentes del Grado de Desempeño (PG) aplicados en las regiones Arequipa - Moquegua?

3. ¿Cuáles serán las correcciones en función al tráfico y la velocidad para el Grado de Desempeño (PG) en carreteras específicas en la región de Arequipa-Moquegua?

1.2 Objetivo general y específico

1.2.1 Objetivo general

Establecer un Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para seleccionar ligantes asfálticos según la clasificación SUPERPAVE en las regiones de Arequipa- Moquegua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar los componentes que se necesitan para calcular el grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación SUPERPAVE en las regiones de Arequipa- Moquegua.
- b) Establecer las diferencias entre los valores de los modelos matemáticos existentes del Grado de Desempeño (PG) aplicados en las regiones de Arequipa- Moquegua.
- c) Aplicar las correcciones al mapa de Grado de Desempeño (PG) en función al tráfico y la velocidad en carreteras específicas en la región de Arequipa- Moquegua.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

1.3.1 Temporal

Delimitación temporal del presente estudio está delimitada a los datos de las estaciones meteorológicas de los últimos 20 años (2001-2020).

1.3.2 Espacial

Este proyecto de investigación se limita a las regiones Arequipa y Moquegua. Los investigadores de la presente investigación se encuentran limitados a trabajar debido a la pandemia por COVID-19.

1.3.3 Temática

El presente trabajo se restringe solo a la investigación de información y no de manera experimental como ensayos de laboratorios ni recolección de datos presenciales.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Técnica

Este trabajo de investigación es necesario para motivar a usar una mejor clasificación para los ligantes asfálticos según la tecnología SUPERPAVE para

un mejor desempeño en las carreteras de las regiones Arequipa y Moquegua. Mediante esta tecnología para futuros proyectos viales en el Perú será de gran beneficio, ya que permitirá tener una mejor clasificación de los ligantes asfálticos.

1.4.2 Social

Asimismo, sería conveniente para los países vecinos que aún siguen con métodos tradicionales para la clasificación de ligantes asfálticos, dando nosotros un ejemplo de cambio, y así poder crear una nueva cultura vial dentro de nuestro continente.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Histórico

El ligante asfáltico es un material susceptible a las variaciones de temperatura, por lo que se requiere pruebas de clasificación para analizar las condiciones de temperatura y tráfico. Por ello se requiere un sistema que determine las características del material y defina los requisitos mínimos para el asfalto en función de las propiedades reológicas del asfalto y la temperatura a lo largo su vida útil. En 1987, Strategic Highway Research Program (SHRP) fue establecido por el Congreso de los Estados Unidos con un presupuesto de US \$ 151 millones destinados en programas de investigación con el fin de mejorar el rendimiento y la durabilidad de las carreteras. La tercera parte de este presupuesto se usa para desarrollar especificaciones de rendimiento basadas en betún, que están relacionadas con el análisis de laboratorio y las aplicaciones in situ.

Primero se empezó con el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, y el producto final del programa es un nuevo sistema denominado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement). Esto es una tecnología que puede especificar cemento asfáltico y agregado mineral; desarrollar el diseño de mezclas asfálticas; analizar y predecir el desempeño del pavimento. Además de ello evalúa individualmente la composición de la mezcla asfáltica. (Agregado mineral y asfalto), y su interacción cuando están mezclados.

Los ensayos se realizan a temperaturas en el que se encuentran los pavimentos asfálticos en servicio, para dar mejor comportamiento del mismo en zonas climáticas específicas. Principalmente la composición del pavimento, el diseño de la mezcla y las características de la carpeta de la misma forma que ha sido construida y las características del ligante, determinan la conducta del pavimento a lo largo de su historia eficaz, debido a ello, el procedimiento busca primordialmente la selección más óptima de los ligantes asfálticos en funcionalidad del clima y la carga, SUPERPAVE, aspira mejorar la conducta de los asfaltos para eludir que contribuya a generar en los pavimentos deformaciones permanentes, agrietamientos por fatiga y agrietamiento por bajas temperaturas. Duarte Suárez, L. M., & Lizcano Carreño, E.V. (2015).

2.2. Antecedentes del estudio de investigación

2.2.1. Investigaciones internacionales

Contreras, C. (2007) realizó en su tesis: Mapa de Recomendación de Uso de ligantes asfálticos según clasificación SUPERPAVE, en el Tramo entre Santiago

- Los Ángeles y sus objetivos fueron:

- a) Efectuar la recopilación de información climatológica de Estaciones meteorológicas de Chile ubicadas en la zona de estudio, aplicando posteriormente las ecuaciones SUPERPAVE.
- b) Asignar un grado de desempeño PG (Performance Grade), que indiquen el rango de temperaturas en el cual el pavimento presente propiedades físicas adecuadas.
- c) La investigación se realizó solo en el sector mencionado, por lo que no es recomendable para el resto de Chile.

D Duarte, L. M., & Lizcano, E. V. (2012) realizó en su tesis:

“Evaluación de las ventajas y desventajas de usar en Colombia las especificaciones técnicas de SUPERPAVE para diseño de mezcla asfáltica convencional” y sus objetivos fueron:

- a) Realizar los “ensayos correspondientes para caracterizar los materiales por la metodología de SUPERPAVE”.
- b) Realizar los “ensayos correspondientes para caracterizar los materiales por la metodología de INVIAS”.
- c) Describir “analizar y evaluar los componentes y las características de los ensayos formulados por cada uno de los métodos”.
- d) Comparar desde el “punto de vista de calidad, los resultados de los métodos de SUPERPAVE E INVIAS”.

Además de ello concluyó que con el método SUPERPAVE se obtuvieron resultados óptimos de asfaltos en las mezclas siendo estos menores a los que se obtienen por el método Marshall. El mejor método, depende tipo de proyecto de ejecución, dado que el método SUPERPAVE es más seguro, pero a su vez más costoso por ser realizado únicamente en laboratorios.

Crespin, R., Santa Cruz, I., & Torres, P. (2012) realizó en su tesis:

Aplicación del método Marshall y granulometría SUPERPAVE en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño, y sus objetivos fueron:

- a) Determinar el “Grado del asfalto PG apropiado para el diseño, basándonos en las temperaturas ambiente promedio máximas y mínimas para la zona central del país.”
- b) Evaluar el “contenido óptimo teórico de asfalto y determinar el valor que será utilizado en el diseño de la mezcla de laboratorio.”
- c) Elaborar las “mezclas de prueba en el laboratorio, de acuerdo a las proporciones de agregados y asfalto que se establecieron según las normativas técnicas empleadas.”
- d) Ensayar las “mezclas de prueba mediante el Método Marshall y observar si la mezcla asfáltica cumple con los criterios que establece el Instituto del Asfalto para tránsito alto.”

Además de ello concluyó que: Con registros no menores de 20 años de temperaturas máximas y mínimas del país, se determinó un grado de asfalto PG 70-10 el cual además se constató comparando los resultados para cada estación que es aplicable en la mayor parte del territorio nacional.

(Castillo, J. F. S. (2003), Delgadillo y Wahr, (2017), realizó en su tesis: “Zonificación SUPERPAVE para Chile”, en la universidad Técnica Federico Santa María de Chile, y sus conclusiones fueron:

- a) Fue posible realizar zonificaciones para confiabilidades de 50% y 98%, a partir de data de temperaturas de 94 estaciones climáticas chilenas pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile y a la Dirección General de Aguas.
- b) La zonificación climática y la geográfica del territorio chileno fueron de importancia para la definición de las zonas de cada estación climática, lo que hizo posible definir las zonas recomendadas para cada grado PG.
- c) A pesar de la variedad de grados PG requeridos para las estaciones analizadas, se logró zonificar con un 50% de confiabilidad la mayor parte del territorio chileno con tres asfaltos tradicionales: PG 64-22, PG 58-28 y PG 52.

2.2.2. Investigaciones nacionales

(Castillo, J. F. S. (2003), realizó en su tesis: Avanzar con el desarrollo y evolución de novedosas tecnologías de caracterización reológica y comenzar un proceso de divulgación de SUPERPAVE, como un instrumento elemental que nos posibilite adivinar los tipos básicos de deterioro, que se intentan evadir.

Como lo es el ahuellamiento, para de esta forma optimizar los diseños de mezclas asfálticas por medio de la idónea toma de elecciones y elección de todos los materiales, apoyada en la exploración cuidadoso de los resultados o informes que aporta esta tecnología. Se poseen los próximos fines específicos:

- a) Investigar sobre los instrumentos de laboratorio accesibles como herramientas de estudio del comportamiento de las muestras asfálticas.
- b) Caracterizar reológicamente las muestras de asfaltos procedentes del Complejo Petrolero de Barrancabermeja y de Apiay.
- c) Establecer el comportamiento de cada ligante asfáltico en una mezcla MDC-2 (Según INVIAS), reflejado de esta forma en la deformación persistente (ahuellamiento) como deterioro.
- d) Comparar y correlacionar los resultados de la caracterización de cada ligante y deterioro de todas las mezclas que conforman, en diferentes barridos de temperaturas.

Manabí. Rodríguez Véliz, E. A. (2013), presenta en su tesis: Dar una valoración sobre la utilidad y viable aplicación paulatina de la metodología SUPERPAVE en la provincia de Manabí. Se tienen los siguientes objetivos específicos:

- a) Realizar un diseño de mezcla, implementando la Metodología SUPERPAVE.
- b) Entablar ventajas de la implementación de la metodología SUPERPAVE en la viable aplicación en las carreteras de Manabí.

Pineda, E. S., & Hernández Andrade, C. A. (2014), presenta en su tesis:

Objetivos: Comparar de forma teórica y empírico los diseños de mezclas asfálticas hechos por 2 procedimientos diferentes, usando el método Marshall (convencional) y la nueva tecnología SUPERPAVE por medio del Compactador Giratorio, utilizando los mismos agregados minerales y tipo de asfalto. Se tienen los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar la curva de densificación para la mezcla asfáltica que corresponde a la planta escogida.
- b) Calcular los vacíos en la mezcla (V_a), vacíos en el agregado mineral (V_{MA}), vacíos rellenos con asfalto (V_{FA}) y Rice (G_{mm}).
- c) Comparar las dos metodologías de diseño con base a los resultados logrados al examinar sus límites.

Crespin, R., Santa Cruz, I., & Torres, P. (2012), presenta en su tesis: Utilizar el procedimiento Marshall y granulometría SUPERPAVE en un diseño de mezcla asfáltica en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño.

- a) Determinar el grado del asfalto PG apropiado para el diseño, basándonos en las temperaturas ambiente promedio máximas y mínimas para el sector central del país.
- b) Evaluar el contenido óptimo teórico de asfalto y establecer el valor que va a ser usado en el diseño de la mezcla de laboratorio.
- c) Elaborar las Mezclas de prueba en el laboratorio, según a las proporciones de agregados y asfalto que se establecieron según las normativas técnicas empleadas.
- d) Ensayar las mezclas de prueba por medio del Método Marshall y mirar si la mezcla asfáltica cumple con los criterios que establece el Instituto del Asfalto para tránsito elevado.

2.3. Bases teóricas vinculadas a la variable o variable de estudio

2.3.1. Cemento Asfáltico de Petróleo CAP

(Cusi Ramos & Duran Egoavil, 2021) “El asfalto está formado por tres grupos: asfaltenos, resinas y aceites (aromáticos y saturados). Los asfaltenos están formados por los metales contenidos en el crudo: níquel, vanadio y hierro. Los asfaltenos están compuestos por moléculas de hidrógeno y carbono (entre 80 a 87%), el porcentaje está conformado por azufre, nitrógeno y oxígeno. La proporción del asfalto puede variar por factores ambientales como las altas temperaturas, oxígeno, entre otros, los cuales influirán en el desempeño de su vida útil”. (Pg. 41)

El cemento asfáltico se obtiene mediante la destilación del petróleo crudo mediante diversas técnicas de refinado. El producto que se obtiene en el fondo de la torre de vacío después de los procesos de destilación por unidades primarias y de vacío es cemento asfáltico de petróleo de consistencia semisólida a temperatura ambiente. El cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso a temperatura ambiente con excelente adherencia y resistencia al agua, muy resistente a la acción de ácidos, álcalis y sales. El cemento asfáltico se utiliza en grandes cantidades, para la producción de mezclas asfálticas en caliente (HMA), que se utilizan principalmente en todo el mundo en la construcción de pavimentos flexibles. El cemento asfáltico se

puede mezclar con agregados para la producción de HMA, sus propiedades adhesivas facilitan la unión a temperatura ambiente, el HMA es un material de pavimentación muy fuerte que puede soportar el tráfico pesado. Se utilizan tres métodos basados en su penetración, viscosidad o comportamiento para clasificar el cemento asfáltico en diferentes grados. El grado de penetración del cemento asfáltico se da en ASTM D 946 con cinco penetraciones estándar, 40/50, 60/70, 85/100, 120/150, 200/300; Perú produce cemento asfáltico de petróleo PEN 40/50, 60/70, 85/100, 120/150. El ensayo de penetración mide la penetración de una aguja estándar en un cemento de pavimento bajo cierta temperatura, tiempo y carga de cemento asfáltico blando, por ejemplo 40/50 es una calidad alta y 200/300 una calidad suave. El segundo método para clasificar el cemento asfáltico es por grado de viscosidad, especificado en ASTM D 3381, que se basa en la viscosidad del cemento asfáltico original o la viscosidad del cemento asfáltico después del curado en un horno de película delgada (RTFO). Ambas viscosidades se miden a 60 °C (140 °F) y se informan en equilibrio. El grado de viscosidad basado en el cemento asfáltico original incluye AC 2.5, AC 5, AC 10, AC 20, AC 30 y AC

40. El grado de viscosidad de residuo de asfalto (AR) para la prueba RTFO incluye AR 1000, AR 2000, AR 4000, AR 8000 y AR 16000. El valor numérico indica viscosidades a 140 °F (60 °C) en equilibrio. El tercer método de clasificación de asfalto involucra el comportamiento informado en la Carretera Estratégica Basado en investigación (SHRP). La mayoría de las mezclas de asfalto en caliente se desarrollaron entre 1940 y 1990 utilizando el método Marshall o Hveem (El método Hveem utiliza una serie de pruebas para determinar el contenido óptimo de asfalto). Según la bibliografía consultada, alrededor del 75% de las autoridades viales de Estados Unidos utilizan el Método Marshall mientras que el 25% utiliza el Método Hveem; algunos estados de Estados Unidos utilizan ambos métodos en materiales similares para comprender mejor las propiedades de la mezcla. En 1995, algunos estados comenzaron a utilizar el método de diseño SUPERPAVE en una pequeña cantidad de proyectos, se espera que los proyectos de mezcla de asfalto en caliente se diseñen utilizando este método en los próximos años. Es importante darse cuenta de que los tres métodos de diseño ayudan a ingeniería de asfalto a la hora de elegir una fracción de asfalto adecuada.

2.3.2. Tecnología SUPERPAVE

El resultado final del SHRP fue el desarrollo de SUPERPAVE (Pavimentos Asfálticos de Desempeño Superior), un sistema que incluye nuevas especificaciones para materiales (asfalto y agregados) así como nuevas pruebas de laboratorio y un nuevo método de diseño para mezcla asfáltica en caliente. SUPERPAVE introduce nuevas pruebas destinadas a medir sus propiedades reológicas y adaptarlas en relación a su desempeño frente a los tres tipos más clásicos de fallas que ocurren en las carreteras durante su vida útil (carriles, agrietamiento). Además, SUPERPAVE define una nueva clasificación de grados de desempeño para Cementos asfálticos, También conocido como clasificación PG (Performing Grade) En las especificaciones SUPERPAVE, los ensayos compuestos se llevan a cabo a diferentes temperaturas, es decir, la temperatura crítica a la que cada ensayo alcanza su valor límite especificado, de esta manera se puede determinar un rango de temperatura en el que un cierto El asfalto es suficientemente eficaz. SUPERPAVE determina que si el número de Ejes Totales Equivalentes (ESAL) del proyecto es alto, o si se estima que la velocidad del tráfico que circula en las carreteras es relativamente baja, un asfalto con clase PG es uno o dos más alto que originalmente por el Determinación de la temperatura y así evita los surcos prematuros de la calzada debido a las deformaciones permanentes acumuladas.

Ligante asfáltico PG

Los materiales asfálticos provienen de la destilación del petróleo crudo, ya sea en forma natural o industrial. Estos materiales ligan al agregado para conformar mezclas asfálticas y son responsables de brindar a la capa asfáltica: resistencia mecánica, impermeabilidad y durabilidad.

Una de sus características es que el ligante asfáltico es muy susceptible a variaciones de temperaturas, es por ello que los ensayos de clasificación especifiquen la temperatura.

Los productos asfálticos usados en pavimentación tienen tres formas básicas de presentación:

1. Cementos asfálticos, material obtenido de la destilación del petróleo, de consistencia sólida a temperatura ambiente y que es necesario calentarlo para su uso.

2. Emulsiones asfálticas, cemento asfáltico emulsionado con agua que permite su uso a temperatura ambiente, una vez evaporada el agua el asfalto recupera su consistencia original.
3. Diluidos asfálticos, son una mezcla de cementos asfálticos con solventes derivados de petróleo, puede ser utilizado a temperatura ambiente, una vez evaporado el solvente el asfalto recupera su consistencia original.

G^* (Módulo complejo)

El módulo complejo de corte, G^* , es el cociente entre la tensión máxima (τ) y la deformación máxima (γ) ante una carga oscilatoria sinusoidal otra definición que se le atribuye es la relación calculada dividiendo el valor absoluto de la tensión de cizalladura pico-pico (τ) entre el valor absoluto de la tensión de cizalladura pico a pico, (γ) a partir de una medición de oscilación dinámica.

Ángulo de fase

Ángulo de fase δ : El ángulo de fase, δ , es la diferencia de fase entre la tensión y la deformación durante el ensayo.



Figura N° 1: Grafico Tensión – Deformación

Fuente: Eurobitume (2021)

Ensayos SUPERPAVE

La tecnología SUPERPAVE, para una mejor caracterización del ligante asfáltico brinda ensayos innovadores, que resultan en información de sus propiedades físicas.

El envejecimiento del ligante asfáltico es importante porque simula las condiciones tanto en el laboratorio como en el campo, por lo que hay que simularlo durante el mezclado, la vida útil y la compactación, para ello contamos con dos dispositivos: un horno rotatorio de película fina y envejecimiento por presión.

Ensayo en estufa de película delgada (TFOT)

El procedimiento TFO consiste en colocar una cantidad exacta de cemento asfáltico en un plato de fondo plano, de manera que la muestra cubra el fondo

del plato con un espesor de unos 3 mm (1/8”). La muestra y el plato giratorio se colocan en un horno, y una temperatura de 163 ° C (325 ° F) se mantiene durante cinco horas. Finalmente, la muestra envejecida y endurecida artificialmente se prueba para determinar su valor de viscosidad y / o su penetración.



Figura N° 2: Estufa de película delgada TFOT

Fuente: Laboratorio de suelos y pavimentos Universidad de los Andes

Horno Rotatorio de película delgada

El ensayo de R.T.F.O.T (Horno de envejecimiento en película delgada rotatoria) su fin es envejecer el ligante asfáltico, simulando las condiciones in situ que proviene después del mezclado y determinar el material que se pierde como sucesión del ensayo.



Figura N° 3: Película Delgada RTFOT

Fuente: Congreso Nacional del Asfalto-Asfaltos y Tecnología
PETROPERU horno de película delgada

Cámara de envejecimiento de presión (PAV)

El envejecimiento del asfalto se produce en la simulación dentro de un período de tiempo observado, durante el cual el asfalto está expuesto a altas

temperaturas, lo que provoca un envejecimiento acelerado debido a los dos mecanismos ya mencionados. El resultado de la simulación es el comportamiento de envejecimiento del asfalto por oxidación del aire y radiación solar inducida, este sistema utiliza ligantes que anteriormente se utilizaban con RTFO envejecidos.



Figura N° 4: Cámara de envejecimiento a Presión PAV

Fuente: Congreso Nacional del Asfalto-Asfaltos y Tecnología PETROPERU

Reómetro Dinámico de corte

El ensayo DSR realiza la medición de las propiedades del asfalto a medias y también a altas temperaturas después del ensayo de P.A.V (Cámara de Envejecimiento a Presión). Con este ensayo se calcula el módulo de corte (G^*) que mide la resistencia total del material a deformarse, y el Ángulo de Fase (δ) el cual mide el comportamiento visco - elástico del material.



Figura N° 5: Reómetro Dinámico de Corte

Fuente: Congreso Nacional del Asfalto-Asfaltos y Tecnología PETROPERU

Viscosímetro rotacional Brookfield

La prueba VR (Brookfield Rotational Viscometer) mide las propiedades de flujo del ligante y evalúa la trabajabilidad de la mezcla caliente con el fin de

conocer la temperatura óptima de transporte y trabajabilidad y que sea fácil de usar en el campo o en la planta de producción de mezclas asfálticas. Un viscosímetro cilíndrico rotacional coaxial descrito en la norma (ASTM D4420, "Métodos estándar para determinar la viscosidad del asfalto (virgen) sin usar utilizando el Brookfield Thermosel". también se determina para tener una constante velocidad de rotación a una temperatura constante, el viscosímetro también se puede utilizar para generar gráficos de viscosidad-temperatura para estimar las temperaturas de mezcla y compactación en construcciones de mezcla.



Figura N° 6: Viscosímetro cilíndrico rotacional coaxial Brookfield

Fuente: Congreso Nacional del Asfalto-Asfaltos y Tecnología PETROPERU

Reómetro de viga de flexión

Mide el comportamiento reológico del asfalto a bajas temperaturas utilizando una carga puntual en el centro de una viga de asfalto y registrando sus deformaciones durante 240 segundos a temperatura constante. Esta prueba se lleva a cabo después de que el asfalto haya envejecido durante mucho tiempo. El asfalto es demasiado rígido a bajas temperaturas, razón por la cual la mayoría de los reómetros dinámicos de corte usan geometría de placas paralelas, no se pueden usar de manera confiable en tales condiciones. El reómetro de flexión de haz (BBR) es un dispositivo simple para medir la deflexión.



Figura N° 7: Reómetro de viga de flexión

Fuente: Congreso Nacional del Asfalto-Asfaltos y Tecnología PETROPERU

Ensayo de tensión directa (DTT)

Este ensayo de tensión directa evalúa la resistencia máxima del asfalto al agrietamiento a bajas temperaturas, en esta prueba se utilizan cuatro muestras de cuatro gramos cada una, el asfalto debe ser aprobado por el R.T.F.O.T.A.V, anteriormente descrita, para evaluar su deformación máxima a bajas temperaturas (0 a -36 grados) y ver si puede resistir el agrietamiento térmico.

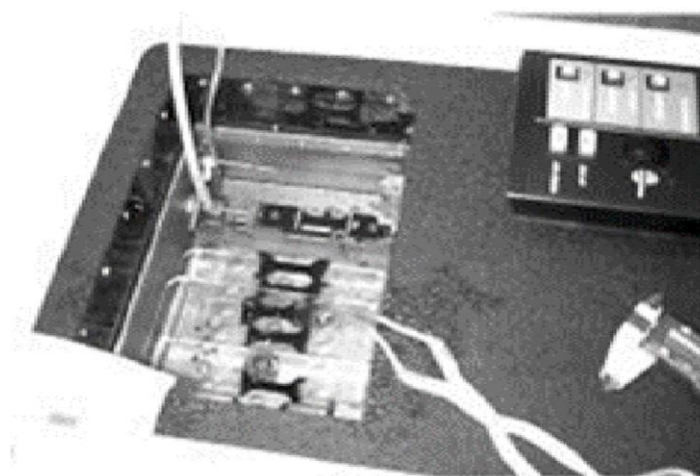


Figura N° 8: Ensayo de Tensión Directa

Fuente: Congreso Nacional del Asfalto-Asfaltos y Tecnología PETROPERU

Grado de Desempeño (PG)

El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperatura (de máxima a mínima) dentro del cual un cemento asfáltico funciona satisfactoriamente. El Grado PG permite la selección del cemento asfáltico más adecuado para una tarea específica, dependiendo del clima predominante y la cantidad de tráfico. Se utilizará durante su vida útil.

Es por esto que en el diseño SUPERPAVE los ligantes asfálticos son seleccionados en función a temperaturas del pavimento que pueden ser máximas, mínimas y promedio de la zona donde se va a utilizar estos, tal como se muestra en la siguiente imagen:

(1)	(2)	(3)
PG	70	-28
(1)	Grado de Desempeño	
(2)	Promedio de las máx. 7 - temperaturas del pavimento	
(3)	Temperatura mínima del pavimento	

Figura N° 9: Grado de desempeño de Ligante Asfáltico

Fuente: W. Néstor Huamán G. (2021)

Como podemos ver en la imagen, si se asigna un PG 70 -28 para el área de un proyecto, esto garantiza un buen comportamiento del pavimento a una temperatura máxima de 70 ° C y una temperatura mínima de diseño de -28 ° C. PG para una temperatura máxima y mínima está en intervalos de 6° como PG 46, PG 52, en contraste con esto, la temperatura promedio está en intervalos de 3 ° C como PG 19, PG 22, PG 25.



Tabla 423-13
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG según Tabla 1 de AASHTO M320

	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 7 días, °C ^a	<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: ^b máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d 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, ^e máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d 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 ^f	90			90						100					100						
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, ^d 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: ^g 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: ^h 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

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.
^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.
^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.
^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.
^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).
^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.
^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Figura N° 10: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG

Fuente: Manual de carreteras, Especificaciones técnicas generales de construcción

Tabla 423-13 (continuación)
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 70						PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ¹	<70						<76					<82				
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ²	>-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: ³ máximo 3 Pa s, temp de prueba, °C							135									
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ⁴ G*/senS, ⁵ mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Película delgada en horno rotativo (T 240)																
Cambio de masa, ⁶ máximo, %							1.00									
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: ⁴ G*/senS, ⁵ mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Residuo en cámara de presión (R 28)																
Temperatura de curado PAV, °C ⁷	100 (110)						100(110)					100 (110)				
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, ⁵ máximo 5000 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 deslizamiento (R 28)																
Resistencia al deslizamiento, T 313: ⁸ S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 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: ⁹ Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

¹ La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

² Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad

³ Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

⁴ G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

⁵ El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa)

⁶ La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C

⁷ Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Figura N° 10 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG

Fuente: Manual de carreteras, Especificaciones técnicas generales de construcción

Confiabilidad

El Programa de Investigación Estratégica de Carreteras (SHRP) recomienda calcular las temperaturas máxima y mínima del aire en 2 grados de confiabilidad: 50% ($Z = 0.6745$) y 98% ($Z = 2.32$), siendo el valor de "Z" la única diferencia en los cálculos para calcular las temperaturas máximas y mínimas del aire de un verano / invierno promedio y la temperatura extrema ya que nos dan un valor para un verano / invierno muy caluroso / frío.

Cálculo del PG

Para calcular el grado de desempeño (PG), investigadores tanto del SHRP (Programa de Investigación Estratégica de Carreteras) como del LTPP (Desempeño del Pavimento a Largo Plazo) crearon modelos matemáticos para determinar las temperaturas máxima y mínima de la calzada en función de la temperatura del aire, para ello nos dicen que para la temperatura máxima de la carretera se mide a 20 mm de la superficie de la misma y para la mínima en la superficie de la misma.

Los modelos matemáticos se actualizan con el tiempo conjuntamente con la información y las carreteras construidas por este nuevo modelo son los siguientes:

Modelo SHRP Original

En este modelo, las temperaturas máxima y mínima se calculan a partir de la temperatura del aire, a la temperatura máxima se incrementa un coeficiente de latitud dado por la ubicación geográfica (latitud), y esta se mide a 20 mm de la superficie del pavimento, para el caso de las temperaturas mínimas, el SHRP original recomienda usar la temperatura del aire (Mc Gennis, 1994), que es muy conservadora ya que la temperatura del suelo es mucho más alta que la temperatura del aire.

$$T_{\max} = 0.9545(T_{\text{MaxAir}} - (0.00618Lat^2) + 0.2289Lat^2 + 42.2) - 17.78$$

$$T_{\min} = T_{\text{MinAir}}$$

Donde:

T_{\max} : Temperatura Máxima a 20 mm del Pavimento (°C)

T_{\min} : Temperatura Mínima en la superficie del Pavimento (°C)

T_{MaxAir} : Temperatura Máxima del Aire (°C)

T_{MinAir} : Temperatura Mínima del Aire (°C)

Lat: Latitud en Grados (°)

Modelo C-SHRP (Canadá)

Este modelo fue desarrollado por investigadores canadienses de SHRP, el cual en su tiempo gano popularidad entre los tecnólogos del asfalto, pero SUPERPAVE siempre prefirió el modelo SHRP original (Mc Gennis, 1994)

$$T_{\text{min}} = 0.859T_{\text{MinAir}} + 1.7$$

Donde:

T_{min} : Temperatura Mínima en la superficie del Pavimento (°C)

T_{MinAir} : Temperatura Mínima del Aire (°C)

Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) – 1996

Posteriormente, el LTPP (Long Term Pavement Performance) dio continuidad al estudio realizado por SHRP a través de estudios de treinta tramos a lo largo de dos años. Esto indicó la necesidad de verificar los criterios de cálculo de las primeras fórmulas en el caso de las temperaturas. Las temperaturas mínimas se mostraron 13 ° por encima de la temperatura mínima del aire, lo que demuestra que el modelo propuesto por SHRP y CSHRP fue muy conservador. A altas temperaturas, generalmente concuerdan con el método SHRP a temperaturas del aire de hasta 35 °, pero a temperaturas más altas, los datos de SHRP fueron más bajos. (Mohseni, 1996)

$$T_{\text{max}} = 54.32 + (0.77585T_{\text{MaxAir}}) - (0.002468Lat^2) - (15.137 * \log(H + 25))$$

$$T_{\text{min}} = -1.56 + (0.71819T_{\text{MinAir}}) - (0.003966Lat^2) + (6.264 * \log(H + 25))$$

Donde:

T_{max} : Temperatura Máxima a 20 mm del Pavimento (°C)

T_{min} : Temperatura Mínima en la superficie del Pavimento (°C)

T_{MaxAir} : Temperatura Máxima del Aire (°C)

T_{MinAir} : Temperatura Mínima del Aire (°C)

Lat: Latitud en Grados (°)

H: Profundidad del Pavimento (cm)

Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) - (1998 - 2000)

Con los datos recopilados de 30 autopistas de prueba dentro de los EEUU en el periodo de 1991 y 1995, el LTPP inicio un programa de seguimiento

estacional SMP (Programa de monitoreo estacional). Este análisis dio como resultado el Enlace LTPP que propuso la siguiente ecuación para el cálculo de temperaturas mínimas del pavimento. (LTPP-FWHA, 1998).

$$T_{\min} = -1.56 + 0.72T_{\text{MinAir}} - 0.005Lat^2 + 6.26 \log \log (H + 25) - Z(4.4 + 0.52\sigma^2)^{1/2}$$

Donde:

T_{\min} : Temperatura Mínima en la superficie del Pavimento (°C)

T_{MinAir} : Temperatura Mínima del Aire (°C)

Lat : Latitud en Grados (°)

H : Profundidad del Pavimento (cm)

σ : Desviación estándar de la temperatura mínima del aire

Z : Confiabilidad requerida

Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) – 2004 El Enlace LTPP continuo el desarrollo de su investigación para el cálculo de las temperaturas más altas del pavimento, se presentó en el año 2004 un algoritmo mejorado para el cálculo del Grado de Desempeño a altas temperaturas, a través de un Modelo Climático Integrado (ICM) basado en datos de aproximadamente 8000 estaciones meteorológicas, con datos de temperaturas por cada hora, radiación solar y velocidad del viento.

Las temperaturas máximas diarias del aire se calculan para temperaturas por hora en el ICM y con base en estas temperaturas y la latitud de cada estación meteorológica, es así como se calcula la temperatura máxima del pavimento a una profundidad de 20 mm. (Mohseni A. C., 2004).

$$T_{\max} = 32.7 + 0.837T_{\text{MaxAir}} - 0.0029Lat^2 + Z(\sigma^2 + \delta_{\text{modelo}}^2)^{0.5}$$

Donde:

T_{\max} : Temperatura Máxima a 20 mm del Pavimento (°C)

T_{\min} : Temperatura Mínima en la superficie del Pavimento (°C)

T_{MaxAir} : Temperatura Máxima del Aire (°C)

T_{MinAir} : Temperatura Mínima del Aire (°C)

Lat : Latitud en Grados (°)

H : Profundidad del Pavimento (cm)

σ : Desviación estándar de la temperatura máxima del aire

δ : Error estándar del modelo= 2.1°C

Z: Confiabilidad requerida

Ajuste del PG en función del Tráfico y la Velocidad

El cálculo del Grado de Desempeño (PG) es de acuerdo a las condiciones climáticas de que la velocidad de los vehículos sea de 90 km/h o mayor, en nuestro país trabajamos con un tráfico lento, para velocidades menores es necesario incrementar el Grado de Desempeño (PG) requerido y este se incrementa en función a la velocidad, como tenemos en la siguiente tabla:

Ajuste del Grado de Desempeño (PG)

N Proyecto (10 ⁶)	Ajuste del grado del ligante PG		
	Velocidad de Trafico		
	Parado (V < 20 km/h)	Lento (V = 20 a 70 km/h)	Normal (V > 70 km/h)
< 0.3	-	-	-
0.3 a < 3	2	1	-
3 a <10	2	1	-
10 a < 30	2	1	-
≥ 30	2	1	1

Figura N° 11: Ajuste del Grado de Desempeño (PG)

Fuente: Escalante, J. (2020) Conferencia virtual de Determinación del PG del asfalto para los proyectos de Infraestructura vial

2.3.3. Mapa de Grado de Desempeño (PG)

El mapa de Grado de Desempeño (PG) es una herramienta cuya función principal es ubicar los ligantes asfálticos según su Grado de Desempeño (PG), la delimitación de zonas se basa en función de las curvas de nivel y tipo de clima, para poder lograr la confección de 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 Pascual & Delgado Ramírez, 2020).

La importancia de estos mapas su importancia cuando está a punto de realizarse una zonificación por grado de desempeño de la región de interés. La especificación SUPERPAVE determina el grado de desempeño de un asfalto (PG) según el comportamiento a la deformación (altas temperaturas), fatiga (bajo intermedio) y agrietamiento por contracción térmica (baja temperatura), además de eso, SUPERPAVE realiza el sistema de clasificación de cementos bituminosos porque permite seleccionar el grado de desempeño en caso de

querer un proyecto vial tomando en cuenta la temperatura del aire y la importancia de la ruta.

Clasificación climática según Thornthwaite

La clasificación de Thornthwaite (1950) fue adoptada desde un punto de vista geográfico debido a las contribuciones de su autor al Edafoclima y la hidrología, basándose en considerar la eficiencia térmica dada por la ETP (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 humedad y sus fluctuaciones estacionales, según la eficiencia térmica y su concentración estival. 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.

Perú cuenta con 38 tipos climáticos según el método de clasificación climática de Warren Thornthwaite SENAMHI (2020), como resultado de la interacción entre los diversos factores climáticos que lo afectan y su ubicación geográfica en el trópico, en los Andes, lo que configuró un complejo fisiográfico: Entre las zonas climáticas con mayor expansión se encuentran secas y templadas en la costa, lluviosas y frías en las montañas y muy lluviosas y cálidas en la selva. También se han considerado aquellos factores que de una u otra forma condicionan de modo preponderante el clima de un lugar, algunos de ellos relevantes son:

- a) La latitud geográfica
- b) La altitud
- c) La Cordillera de los Andes
- d) La Corriente Fría Marítima Peruana
- e) El Anticiclón del Pacífico Sur
- f) La Continentalidad

En todo el Perú se realiza la clasificación climática según Thornthwaite, la cual es brindada por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).

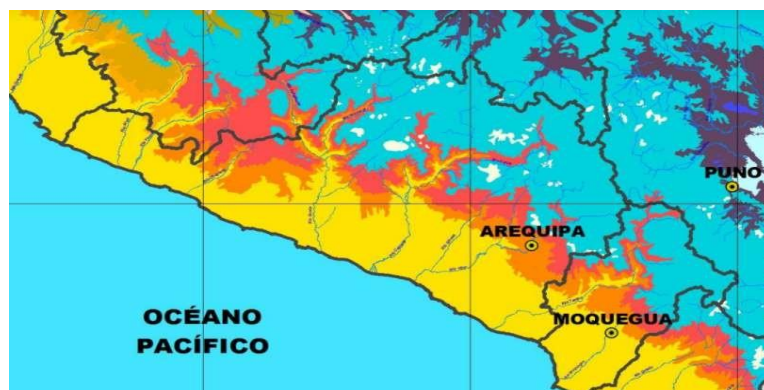


Figura N° 12: Mapa de clasificación climática Arequipa-Moquegua

Fuente: SENHAMI



Figura N° 13: Clasificación climática del Perú

Fuente: SENHAMI

Según apreciamos en la figura N°1 La región Arequipa y Moquegua, se encuentra con la clasificación climática: E(d) B'1 H3, D(o,i,p) B'2 H2, C(o,i,p) C' H2, B(o,i) D' H3, lo que en resumen sería en la zona cercana al mar se clasifica como; Árido con pocas lluvias en las estaciones, semi calido húmedo, por la parte central de las regiones Arequipa y Moquegua se clasifica como, Semi árido. En invierno, primavera y otoño es templado-seco, y por la parte extrema de las regiones se clasifica como semiseco -lluvioso en zonas extremasse clasifica como semirrígido y húmedo.

2.4. Definición de términos básicos

1. POWER DATA NASA: POWER Data Access Viewer (DAV) sus parámetros van relacionados con la nube, meteorológicos y solares habilitados geoespacialmente, formulados para evaluar y diseñar sistemas de energía renovable. La POTENCIA DAV es una aplicación basada en widget de sensible que funciona en todos los dispositivos (PC, ordenador portátil, tablet, teléfonos inteligentes) y todas las plataformas (Apple, Android y Windows). Este diseño

proporciona a los usuarios acceso a los datos de POWER en la oficina o en el campo.

2. Susceptibilidad térmica: La variación de la consistencia de los asfaltos frente a los cambios de temperatura se denomina susceptibilidad térmica. Este factor está muy relacionado con el cambio de la viscosidad de un pavimento generando problemas de ahuellamiento.
3. Ahuellamiento: Surcos que pueden desarrollarse sobre un pavimento en los carriles de las ruedas. Los ahuellamientos pueden ser resultado de una consolidación o movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico.
4. Densidad: El grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada y que solo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa.
5. Mezcla Asfáltica: Se define como mezcla asfáltica (o bituminosa) en caliente a la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante. Las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas de la mezcla.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis principal

Con los datos obtenidos en SENAMHI Y POWER DATA NASA, se puede confeccionar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según a la clasificación SUPERPAVE en las regiones de Arequipa- Moquegua.

3.1.2. Hipótesis secundarias

1. Los componentes identificados permiten calcular el grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación SUPERPAVE.
2. Son los modelos matemáticos más recientes los cuales nos dan los valores más conservadores para la elección del ligante asfáltico en las regiones de Arequipa - Moquegua.
3. Las correcciones en función al tráfico y la velocidad modifican el Grado de Desempeño (PG) en carreteras específicas en la región de Arequipa- Moquegua.

3.2. Variables

3.2.1. V.I. Modelos matemáticos para ligantes asfálticos

Variable independiente:

X=Modelos matemáticos para ligantes asfálticos

3.2.2. V.D. Mapa de grado de desempeño (PG)

Variable Dependiente:

Y= El Mapa de Grado de Desempeño (PG)

3.2.3. Operacionalización de las variables

Tabla N° 1: Operacionalización de variables

Variable	Conceptos	dimensiones	Indicadores	Instrumentos
El Mapa de Grado de Desempeño (PG)	Se refiere a un mapa de zonificación de ligantes asfálticos por Grado de Desempeño (PG)	Temperatura °C	Temperaturas Máximas Temperaturas Mínimas	Base de Datos de SENAMHI y POWER DATA NASA de las estaciones meteorológicas
Modelos matemáticos para ligantes asfálticos	Se refiere a los modelos matemáticos usados para la obtención del valor de grado de desempeño (PG) con ayuda de los datos de temperaturas máximas y mínimas	Numérica	SHRP LTPP	Cálculos matemáticos

Fuente: Propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y Nivel:

Por el tipo de investigación, el presente estudio es de carácter descriptivo, describe las temperaturas de las estaciones alrededor de centro de estudio que es el mapa de grado de desempeño (PG).

El nivel de la investigación es explicativo, trata de explicar el fenómeno estudiado, en este la influencia de la temperatura para la selección de ligantes asfálticos.

Por el método de investigación, el presente estudio reúne las condiciones necesarias para ser, considerada como método deductivo puesto que estudiará los efectos de la aplicación del PG (Grado de Desempeño) del método de diseño de mezclas asfálticas SUPERPAVE en un lugar determinado como lo es Arequipa y Moquegua.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación según la cronología de las observaciones es de tipo RETROSPECTIVO, ya que los datos recogidos ya se encuentran con anterioridad, como los datos de las temperaturas máximas y mínimas de los últimos 20 años que son necesarias para el desarrollo de esta tesis.

No experimental y transversal, los datos de las temperaturas máximas y mínimas se registran una sola una por día.

Orientación de la investigación es investigación aplicada ya que busca resolver el problema o un planteamiento específico, centrándose en la consolidación de conocimiento y su búsqueda para su aplicación y así lograr el enriquecimiento científico y cultural.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, utiliza la recolección y el análisis de datos para responder preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas anteriormente, y confía en la medición numérica, el conteo y en el uso de la estadística para establecer con precisión patrones de comportamiento en una población. (pág. 10) (Sampieri Hernández, Collado Fernández, & Lucio Baptista, 2003).

4.3. Población y muestra

La población de estudio está conformada por los datos climatológicos de las diversas estaciones que están ubicadas en los diferentes departamentos del territorio peruano de los últimos 20 años.

La muestra está comprendida por los datos climatológicos recopilados de Arequipa y Moquegua de los últimos 20 años (2001-2020).

4.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos

Las técnicas de recolección de datos se dieron mediante la investigación de trabajos nacionales e internacionales, considerando la influencia del diseño de mezclas asfálticas SUPERPAVE en nuestros países vecinos, que cambiaron de la metodología convencional MARSHALL a este nuevo diseño de mezclas que abarca mayores aspectos de evaluación, así prediciendo el comportamiento a corto y largo plazo con un sistema de clasificación por grado de desempeño (PG). Los instrumentos de recolección de datos fueron las investigaciones internacionales y el impacto positivo que tuvieron en sus países, esto dio inicio a nuestra investigación, dichos datos se encuentran validados dentro de los parámetros establecidos por las normas internacionales.

4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

En este presente trabajo los instrumentos de medición serán los datos brindados por el SENAMHI y los shapefiles brindados por GEO GPS PERU para el programa ArcGIS.

4.4.3. Procedimientos para la recolección de datos

En este trabajo se definieron los objetivos de los datos a recolectar, datos relacionados con el tema, como clasificarlos, para que nos serán útil en esta investigación y de donde recolectar datos, para nuestra investigación de mezclas asfálticas debemos escoger investigaciones de países vecinos al nuestro, ya que cuentan con realidad y problemas similares, de esta forma podemos obtener resultados más realistas de la inclusión del diseño de mezclas SUPERPAVE en Arequipa y Moquegua.

4.5. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Dentro de las técnicas de procesamiento y análisis de datos de la investigación se basa en recopilar, clasificar y procesar la información, empleando especificaciones técnicas, caracterizaciones y resultados obtenidos. En base a ello se realizará la evaluación del diseño de mezclas asfálticas SUPERPAVE para su aplicación en las provincias de Arequipa y Moquegua.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Estaciones meteorológicas de Arequipa y Moquegua.

Para la presente investigación se tiene de base de datos de las Estaciones Climatológicas (EC) extraídas de fuentes de SENAMHI.

En el departamento de Arequipa contamos con 31 estaciones meteorológicas a nivel nacional y con 7 estaciones meteorológicas para el departamento de Moquegua. (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2021).

Entre estas serán consideradas en lo más posible, como recomendación del SHRP, las que tengan un mínimo de acumulaciones de los últimos 20 años de registros climatológicos, tomando en cuenta en Arequipa 31 estaciones y en Moquegua 7 estaciones.



Figura N° 14: Mapa provincial de Arequipa con las estaciones climáticas

Fuente: Propia, elaborado con el programa ArcGIS 10.5.1



Figura N° 15: Mapa provincial de Moquegua con las estaciones climáticas

Fuente: Propia, elaborado con el programa ArcGIS 10.5.1

Cabe precisar que la ubicación de las estaciones climáticas dependieron de su información meteorológica, ya que, las que presentamos en esta investigación son las que cumplían con las exigencias que nos pide el SHRP de tener una información de por lo menos 20 años de temperaturas, dado que de las estaciones climáticas encontradas en la base de datos del SENAMHI solo las que presentamos cumplían y estaban operativas, fueron las que consideramos son las que nos darán resultados más exactos al momento de hallar el Grado de Desempeño (PG).

5.2. Data de las temperaturas para las Regiones de Arequipa y Moquegua

En la presente investigación se obtuvo data del SENAMHI pero al tener meses y años incompletos, se realizó la obtención de la data faltante con el programa de POWER DATA – NASA, <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. (NASA POWER, 2021).

		AÑOS EN EL CUAL SE USO DATA DEL SENHAMI Y POWER DATA - NASA																			
		SENHAMI										POWER DATA									
AÑOS		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ESTACIONES																					
Madrigal		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Imata		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Pillones		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Sibayo		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Yanaquihua		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Pullhuay (Ayahuasi)		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Cotahuasi		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Pampa Blanca		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Salamanca		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Machahuay		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Choco		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Chachas		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Ayo		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Andahua		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Aplao		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Punta Atico		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Caraveli		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
La Joya		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Pampa De Majes		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Huambo		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
La Angostura		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Chivay		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Orcopampa		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
El Frayle		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Chiguata		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Las Salinas		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
La Pampilla		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Chichas		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Porpera		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Lomas		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Visca Visca		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Moquegua		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Quinistaquillas		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Calacoa		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Ichuña		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Ubinas		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Punta Coles		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red
Ilo		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red

Figura N° 16: Años en el que se usó data del SENHAMI y POWER DATA - NASA

Fuente: Elaboración propia –con Microsoft Excel

De la figura N°16 las casillas de color amarillo son datos usados de SENAMHI y para los caños con las casillas de color rojo se usaron datos de POWER DATA.

5.2.1. Obtención de data del programa Power Data – NASA

Para el uso del Power Data de la NASA se debe ingresar a la página oficial <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>, una vez ingresado se necesita la latitud y longitud, así como el rango de fecha del cual se desea saber la información de temperatura máxima y mínima diaria. Por ejemplo, la EC Moquegua con latitud -17.1787 y longitud -70.9327, se escogió el rango desde enero del 2015 hasta diciembre del 2020 y finalmente se seleccionó información de temperaturas máximas y mínimas diarias en el formato ASCII.

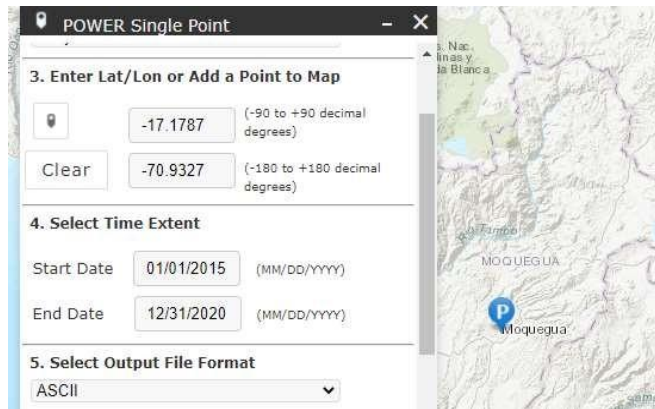


Figura N° 17: Descarga de datos del Power Data paso 1

Fuente: Power Data – NASA

Después de ingresar todos los datos como resultado el programa nos permitirá descargar la información en formato de txt.

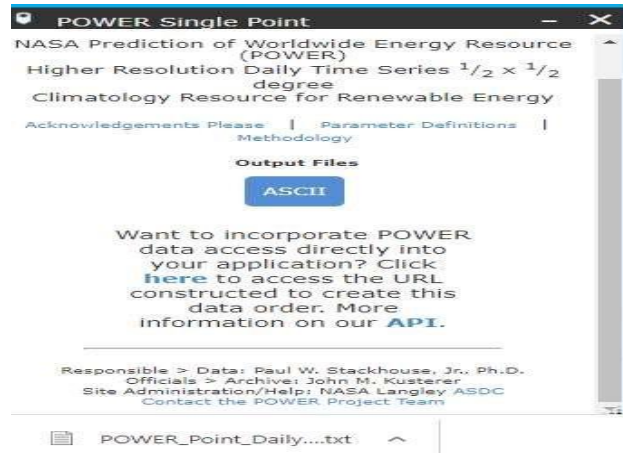


Figura N° 18: Descarga de datos del Power Data paso 2

Fuente: Power Data – NASA

Después de obtener el archivo en formato txt, se puede exportar al Excel y así obtener toda la información que se requiera.

7	Parameter(s):						
8	T2M_MAX	MERRA-2	Temperature	at		2 Meters	Maximum (C)
9	T2M_MIN	MERRA-2	Temperature	at		2 Meters	Minimum (C)
10	#¿NOMBRE?	HEADER-					
11	YEAR	MO	DY	T2M_MAX	T2M_MIN		
12	2015		1	18.13	1.2		
13	2015		1	2	15.43	4.08	
14	2015		1	3	16.2	2.86	
15	2015		1	4	14.04	3.58	
16	2015		1	5	13.62	3.3	
17	2015		1	6	15.62	3.15	
18	2015		1	7	17.83	3.79	
19	2015		1	8	13.5	4.62	
20	2015		1	9	16.51	3.69	
21	2015		1	10	15.03	4.23	

Figura N° 19: Excel de temperaturas del Power Data - NASA

Fuente: Power Data – NASA

Como resultado final se puede apreciar en la figura N° 19 que el programa Power Data NASA, nos da datos del Año, Mes, Día, Temperatura máxima y Temperatura mínima respectivamente y de esa manera se realizó para las demás estaciones con datos faltantes.

5.2.2. Obtención de data del SENAMHI

Para obtener data del SENAMHI se tuvo que ingresar a la página oficial del SENAMHI, el cual es www.senamhi.gob.pe, e ir a la parte Datos y luego a descargas de datos.



Figura N° 20: Descarga de datos del SENAMHI paso 1

Fuente: SENAMHI

Después de ello se procederá a registrarse con un correo y se realizó la descarga del archivo en formato txt.



Figura N° 21: Descarga de datos de SENAMHI paso 2

Fuente: SENAMHI

Una vez descargado el archivo con formato txt, se podrá exportar a Excel y obtener los datos que se requieren para la presente investigación.

1	AÑO	MES	DIA	Temperatura Max	Temperatura Min
2	1931	4	1	24.9	8
3	1931	4	2	28.6	13
4	1931	4	3	29.5	11.8
5	1931	4	4	28.7	15
6	1931	4	5	30.2	11.9
7	1931	4	6	31	14
8	1931	4	7	29.4	13
9	1931	4	8	29.4	12.3
10	1931	4	9	29.5	9

Figura N° 22: Excel de temperaturas del SENAMHI

Fuente: SENAMHI

Como resultado final se puede apreciar en la figura N°22 los resultados del SENAMHI, nos da datos del Año, Mes, Día, Temperatura máxima y Temperatura mínima respectivamente y de esa manera se realizó para las demás estaciones.

La data encontrada en las Estaciones Climáticas -SENHAMI de las Regiones en estudio, es la siguiente:

a) Información Geográfica:

Tabla N° 2: Información Geográfica de las E.C en la región Arequipa

ESTACION	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)
Machahuay	-15.6532	-72.5032	3093
Imata	-15.8427	-71.0906	4475
Pillones	-15.9813	-71.2167	4432
Sibayo	-15.4892	-71.457	3816
Yanaquihua	-15.7765	-72.8758	3007
Pullhuay			
(Ayahuasi)	-15.1459	-72.7439	3394
Cotahuasi	-15.2113	-72.8933	2683
Pampa Blanca	-17.0716	-71.7245	108
Salamanca	-15.5029	-72.832	3203
Madrigal	-15.6100	-71.8065	3276
Choco	-15.577	-72.1296	2432
Chachas	-15.5025	-72.2686	3065
Ayo	-15.6833	-72.2704	1947
Andahua	-15.5009	-72.3551	3562
Aplao	-15.0729	-72.4923	618
Punta Atico	-16.2317	-73.6964	30
Caraveli	-15.7757	-73.3626	1755
La Joya	-16.5836	-71.9246	1278
Pampa De Majes	-16.3357	-72.1527	1498
Huambo	-15.732	-72.1069	3312
La Angostura	-15.1667	-71.6333	4150
Chivay	-15.6333	-71.6017	3644
Orcopampa	-15.2639	-72.341	3812
El Frayle	-16.1548	-71.1891	4131

Chiguata	-16.4064	-71.4091	2902
Las Salinas	-16.3206	-71.1521	4349
La Pampilla	-16.4138	-71.5345	2326
Chichas	-15.5481	-72.9183	2161
Porpera	-15.3142	-71.3064	4396
Lomas	-15.5712	-74.8503	19
Visca Visca	-14.7228	-71.9787	4247

Fuente: SENAMHI

De la Tabla N°2 tenemos los datos de ubicación geográfica en Latitud y Longitud de las estaciones climáticas de la Región Arequipa y Moquegua, también presentamos la Altura en la que estas se encuentran, de las cuales pudimos observar que la estación con más altura es IMATA con 4475 msnm, por el contrario, la estación que está más próxima al nivel del mar es PUNTA ATICO con 30 m.

Tabla N° 3: Información Geográfica de las E.C en la región Moquegua

ESTACION	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (msnm)
Moquegua	-17.1787	-70.9327	1420
Quinistaquillas	-16.7497	-70.8786	1765
Calacoa	-16.7399	-70.6876	3421
Ichuña	-16.1411	-70.5427	3778
Ubinas	-16.3888	-70.8541	3381
Punta Coles	-17.6986	-71.3733	25
Ilo	-17.6238	-71.2719	60

Fuente: SENAMHI

De la Tabla N°3 tenemos los datos de ubicación geográfica en Latitud y Longitud de las estaciones climáticas de la Región Moquegua, también presentamos la Altura en la que estas se encuentran, de las cuales pudimos observar que la estación con más altura es ICHUÑA con 3778 m por el contrario, la estación que está más próxima al nivel del mar es PUNTA COLES con 25 m.

a. Información Climática

Con respecto a la información climática presentamos tablas resúmenes de las temperaturas máximas y mínimas encontradas en la base de datos SENAMHI. Para las temperaturas máximas, se calculó un promedio de los 7 días más calientes del año, el SHRP nos exige los 7 días más calientes del año, en nuestro caso la información de temperaturas por día es incompleta por tanto lo complementamos con datos del programa Power Data de la NASA.

5.3. Tabla de Temperaturas máximas y mínimas de Arequipa

Para las temperaturas máximas como mencionamos en el punto anterior usaremos las temperaturas de los 7 días más calientes para cada año durante 20 años como figura en el Anexo 2.

Como ejemplo estamos usando EC Machahuay:

a) Con los datos de los 7 días más calientes para el año 2001:

$$Temp_{\text{prom}2001} = \frac{21.8 + 21.0 + 20.5 + 20.5 + 20.5 + 20.5 + 20.2}{7}$$

$$Temp_{\text{prom max}} = 20.71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Así se calcularon las temperaturas $Temp_{\text{prom max}}$ para cada año (2001, 2002...2020), en la siguiente tabla se pueden apreciar las temperaturas promedio de los días más caliente para los 20 años.

Tabla N° 4: Tabla de temperaturas máx promedio para la estación de Machahuay

AÑOS	Temperaturas de los 7 días más calientes del Año (°C)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	21.8	21.0	20.5	20.5	20.5	20.5	20.2	20.71
2002	23	23	22.5	21	20.5	20.5	20.5	21.57
2003	22.5	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.2	21.60
2004	22.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.64
2005	22.5	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.1	21.59
2006	24	22.5	21.5	21.5	21.5	21	21	21.86
2007	22.2	22.2	22	22	21.8	21.6	21.5	21.90
2008	22	21.5	21.5	21.5	21.1	21	21	21.37
2009	22.5	22.4	22.2	22.2	22.2	22.1	22	22.23
2010	23	22.7	22.6	22.6	22.2	22.2	22.2	19.84
2011	22	21.8	21.2	21	21	21	20.8	21.26
2012	23.3	22.4	22.4	22.2	22.2	22.2	22	22.39
2013	22.1	21.6	21.3	21.3	21.1	21.1	21	21.36
2014	20.6	20.1	20.1	19.8	19.7	19.7	19.6	19.94
2015	20.8	20.8	20.8	20.4	20.3	20.2	20.2	20.58
2016	20.9	20.9	20.8	20.7	20.6	20.6	20.2	20.65
2017	21.2	21.2	20.5	20	20	19.8	19.2	19.93
2018	21.5	21.5	20.9	20.9	20.4	20.1	20.1	20.69
2019	21.1	20.6	20.1	20.1	19.3	19.1	19	19.97
2020	20.2	20.2	20.1	20.1	19.9	19.9	19.9	20.21

Fuente: Elaboración Propia

De las temperaturas promedio por año de la estación Machahuay por año que se muestran en la tabla N°4:

$$T_{\text{prom max}} = \frac{20.71 + 21.57 + 21.60 + \dots + 19.93 + 20.69 + 19.97 + 20.21}{20}$$

$$Temp_{\text{prom max}} = 21.06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Siendo 21.06 °C la temperatura promedio de las máximas temperaturas de la estación Machahuay.

El mismo procedimiento se siguió para cada una de las estaciones, siguiendo los datos que se muestran en los anexos.

b) Para las temperaturas mínimas en el año 2001:

Para las temperaturas mínimas, a diferencia del promedio de las temperaturas máximas, se usó la temperatura más baja por cada año, del anexo 2:

$$T_{\text{prom mín}} = \frac{2.00 + 0.10 + 1.30 + \dots + (-2.28) + (-2.76) + (-2.70) + (-2.44)}{20}$$

$$Temp_{\text{prom mín}} = -0.38 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El mismo procedimiento se siguió para cada estación climatológica, en la tabla N°5 se muestran las temperaturas promedio que fueron calculadas por estación climatológica.

Tabla N° 5: Temperaturas Promedio de las E.C en la Región Arequipa

ESTACION	TEMPERATURA PROMEDIO	
	Temperatur a máxima	Temperatura mínima
Machahuay	21.06	-0.38
Imata	17.85	-16.73
Pillones	18.21	-16.01
Sibayo	23.17	-9.57
Yanaquihua	24.60	3.63
Pullhuay	22.27	1.64
Cotahuasi	26.86	4.48
Pampa Blanca	29.94	9.34
Salamanca	21.48	2.25
Madrigal	23.15	-6.21
Choco	29.11	6.68
Chachas	24.22	1.85
Ayo	30.82	3.32
Andahua	20.21	-0.98
Aplao	31.57	5.82
Punta Atico	26.40	11.68
Caraveli	30.40	6.78
La Joya	29.17	3.47
Pampa De Majes	27.30	5.23
Huambo	20.89	0.42
La Angostura	19.87	-13.37
Chivay	23.28	-4.66
Orcopampa	21.38	-5.05
El Frayle	19.49	-13.26
Chiguata	22.38	0.02
Las Salinas	17.96	-14.19
La Pampilla	24.97	3.68
Chichas	26.26	4.85

Porpera	18.49	-9.75
Lomas	26.00	12.76
Visca Visca	20.48	-5.46

Fuente: SENAMHI-POWER DATA

5.4. Tabla de Temperaturas máximas y mínimas de Moquegua

Para las temperaturas máximas como mencionamos en el punto anterior usaremos las temperaturas de los 7 días más calientes para cada año durante 20 años como figura en el Anexo 33.

a) Con los datos de los 7 días más calientes para el año 2001:

$$Temp_{\text{prom}2001} = \frac{30.9 + 30.7 + 30.3 + 30.1 + 30.1 + 30 + 29.6}{7}$$

$$Temp_{\text{prom max}} = 30.24 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla N° 6: Tabla de temperaturas máx promedio para la estación de Moquegua

AÑOS	Temperaturas de los 7 días más calientes del Año (°C)							PROMEDIO
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	30.9	30.7	30.3	30.1	30.1	30	29.6	30.24
2002	31.1	30.4	30.2	30.1	30.1	29.9	29.8	30.23
2003	31.2	31.1	31	30.7	30.6	30.3	30.1	30.71
2004	30.2	30.1	30	30	29.6	29.6	29.6	29.87
2005	19.5	24.6	25.6	25.1	24.1	28	26.3	24.74
2006	30.9	30.8	30.5	30.3	30	29.9	29.9	30.33
2007	30.5	30.4	30.3	30.2	30.2	29.8	29.6	30.14
2008	31.6	30.2	30	29.7	29.6	29.4	29.2	29.96
2009	31	30.6	30.5	30.3	30.3	30.2	30.2	30.44
2010	32.2	30.4	30.2	30.2	30.1	30	29.8	30.41
2011	30.4	30.2	30.1	30.1	30.1	29.8	29.6	30.04
2012	32	30.9	30.9	30.7	30.7	30.6	30.4	30.89
2013	31.4	31.2	30.9	30.9	30.9	30.5	30.4	30.89
2014	30.4	30.1	30.1	30	30	30	29.6	30.03
2015	31.0	30.8	30.3	30.8	30	30	30.6	30.50
2016	30.5	30.7	30.2	30.8	29.75	29.75	30.4	30.10
2017	30.4	30.1	30.1	29.4	30.2	29.9	29.6	29.95
2018	30.9	30.1	30.1	30	30.8	30.7	29.6	30.75
2019	29.6	29.4	29.3	28.4	28.5	29.3	29.6	29.0
2020	30.3	30.12	30.56	30.5	30.4	30.9	29.6	30.83

Fuente: Elaboración Propia

$$Temp_{\text{prom max}} = \frac{30.24 + 30.23 + 30.71 + \dots + 29.95 + 30.75 + 29.0 + 30.83}{20}$$

$$Temp_{\text{prom max}} = 30.26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b) Para las temperaturas mínimas en el año 2001:

Para las temperaturas mínimas, a diferencia del promedio de las temperaturas máximas, se usó la temperatura más baja por cada año, del anexo 33:

$$Temp_{\text{prom mín}} = \frac{5.8 + 5.4 + 4.1 + 4.8 + \dots + 3.73 + 3.52 + 3.77 + 5.41}{20}$$

$$Temp_{\text{prom mín}} = 4.13 \text{ } ^\circ\text{C}$$

El mismo procedimiento se siguió para cada estación climatológica, en la tabla N°7 se muestran las temperaturas promedio que fueron calculadas por estación climatológica.

Tabla N° 7: Temperaturas Promedio de las E.C en la Región Moquegua

ESTACION	Temperatura Promedio	
	Temperatura máxima	Temperatura mínima
Moquegua	30.27	4.13
Quinistaquillas	33.14	7.02
Calacoa	21.36	4.13
Ichuña	25.00	-6.46
Ubinas	23.47	-2.42
Punta Coles	27.26	11.26
Ilo	33.18	8.67

Fuente: SENAMHI-POWER DATA

5.5. Cálculo de temperaturas según su grado de confiabilidad

5.5.1. Temperaturas máximas y mínimas del aire: Confiabilidad al 50%

Se procedió a calcular las Temperaturas Máximas (T_{maxAir}) y Temperaturas Mínimas (T_{minAir}). Para ello se necesitó las desviaciones estándar de las temperaturas máximas y mínimas que figuran en los anexos.

Como ejemplo, para el caso de la EC Machahuay, en la tabla N°4 tenemos el promedio de las temperaturas máximas que se obtuvieron del Anexo 2:

a) Desv. Estandar de temperaturas máximas de EC Machahuay:

(20.71; 21.57; 21.60; 21.64; 21.59; 21.86; ...; 20.65; 19.93; 20.69; 19.97; 20.21)

$$\sigma = 0.81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

a) Desv. Estandar de temperaturas mínimas de EC Machahuay:

(2.0; 0.1; 1.30; 2.0; 1.50; 0.1; -5; -2.0; ...; -2.38; -3.05; -2.28; -2.76; -2.70; -2.44)

$$\sigma = 2.40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tabla N° 8: Desviación Estandar de Temp. Máx y Mín de las estaciones de Arequipa

ESTACION	DESVIACIÓN ESTANDAR	
	σ Temp. Máx.	σ Temp. Mín.
Machahuay	0.81	2.40
Imata	0.51	1.25
Pillones	1.56	2.02
Sibayo	0.63	2.53
Yanaquihua	1.96	0.92
Pullhuay (Ayahuasi)	0.64	0.49
Cotahuasi	0.55	1.57
Pampa Blanca	2.60	1.79
Salamanca	0.92	1.43
Madrigal	2.28	2.40
Choco	0.94	1.38
Chachas	1.54	1.34
Ayo	1.53	1.96
Andahua	0.46	1.63
Aplao	1.29	0.91
Punta Atico	1.52	1.77
Caraveli	2.22	0.98
La Joya	2.55	2.63
Pampa De Majes	1.34	1.87
Huambo	1.02	0.94
La Angostura	0.61	1.29
Chivay	2.28	1.05
Orcopampa	1.42	2.66
El Frayle	0.66	1.57
Chiguata	1.74	1.48
Las Salinas	0.87	2.08
La Pampilla	1.21	1.12
Chichas	0.79	2.51
Porpera	1.38	3.29
Lomas	0.43	1.70
Visca Visca	0.55	0.72

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 9: Desviación Estandar de Temp. Máx y Mín de las estaciones de Moquegua

ESTACION	DESVIACIÓN ESTANDAR	
	σ Temp. Máx.	σ Temp. Mín.
Moquegua	0.45	0.89
Quinistaquillas	0.98	0.83
Calacoa	0.34	0.57
Ichuña	0.52	1.03
Ubinas	0.64	1.10
Punta Coles	0.56	1.09
Ilo	1.20	1.82

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas N°8 y N°9 se tiene la desviación estándar para cada estación climatológica, luego con ayuda de los promedios máximos y mínimos de

temperaturas de las tablas N°5 y N°7 se procedió a calcular las temperaturas máximas y mínimas del aire con la siguiente fórmula:

$$T_{\max\text{Air}} = T_{\max\text{prom}} + \sigma * Z$$

$$T_{\min\text{Air}} = T_{\min\text{prom}} - \sigma * Z$$

Donde la confiabilidad del 50% ($Z = 0.6745$)

Temperaturas máximas y mínimas de aire de EC Machahuay:

$$T_{\max\text{Air}} = 21.06 + 0.81 * 0.6745 = 21.61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\min\text{Air}} = -0.38 - 2.40 * 0.6745 = -2.00 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se calculó las $T_{\max\text{Air}}$ y $T_{\min\text{Air}}$ de cada una de las Estaciones de las regiones de Arequipa y Moquegua:

Tabla N° 10: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 50% de confiabilidad de las EC de Arequipa

CONFIABILIDAD AL 50%		
ESTACION	$T_{\max\text{Air}} \text{ (} ^\circ\text{C)}$	$T_{\min\text{Air}} \text{ (} ^\circ\text{C)}$
Madrigal	21.61	-2.00
Imata	18.19	-17.57
Pillones	19.26	-17.38
Sibayo	23.59	-11.28
Yanaquihua	25.92	3.02
Pullhuay(Ayahuasi)	22.70	1.31
Cotahuasi	27.23	3.43
Pampa Blanca	31.69	8.13
Salamanca	22.10	1.28
Machahuay	24.68	-7.83
Choco	29.74	5.75
Chachas	25.26	0.95
Ayo	31.85	2.00
Andahua	20.51	-2.08
Aplao	32.44	5.20
Punta Atico	27.42	10.48
Caraveli	31.90	6.12
La Joya	30.89	1.69
Pampa De Majes	28.21	3.97
Huambo	21.58	-0.21
La Angostura	20.27	-14.24
Chivay	24.82	-5.36
Orcopampa	22.34	-6.84
El Frayle	19.94	-14.33
Chiguata	23.55	-0.98
Las Salinas	18.55	-15.59
La Pampilla	25.79	2.92
Chichas	26.79	3.16
Porpera	19.42	-11.97
Lomas	26.29	11.61
Visca Visca	20.85	-5.95

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 11: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 50% de confiabilidad de las EC de Moquegua

ESTACION	CONFIABILIDAD AL 50%	
	$T_{\max\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\min\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$
Moquegua	30.57	3.53
Quinistaquillas	33.80	5.10
Calacoa	21.59	4.13
Ichuñas	25.35	-6.46
Ubinas	23.90	-2.42
Punta Coles	27.64	11.26
Ilo	33.99	8.67

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N°10 y Tabla N°11 tenemos los resultados de las temperaturas máximas ($T_{\max\text{Air}}$) y mínimas ($T_{\min\text{Air}}$) con una confiabilidad del 50%, en la región Arequipa se halló un intervalo de temperaturas 32.44° a -17.57°, en la región Moquegua se halló un intervalo de temperaturas de 33.99° a -6.46°.

5.5.2. Temperaturas máximas y mínimas del aire: Confiabilidad al 98%

Procederemos a calcular las Temperaturas Máximas ($T_{\max\text{Air}}$) y Temperaturas Mínimas ($T_{\min\text{Air}}$) con una confiabilidad del 98%:

Tenemos las desviaciones estándar en las tablas N°7 y Tabla N°8 y los promedios de los datos de la Estación Moquegua para Temperaturas Máximas y Mínimas.

Luego procedemos a calcular con ayuda de la siguiente formula las Temperaturas Máximas ($T_{\max\text{Air}}$) y Temperaturas Mínimas ($T_{\min\text{Air}}$):

$$T_{\max\text{Air}} = T_{\max\text{prom}} + \sigma * Z$$

$$T_{\min\text{Air}} = T_{\min\text{prom}} - \sigma * Z$$

Donde la confiabilidad del 98% ($Z = 2.32$)

Temperaturas máximas y mínimas de aire de EC Machahuay:

Desarrollando la fórmula anterior obtenemos las Temperaturas Máximas y Mínimas:

$$T_{\max\text{Air}} = 21.06 + 0.81 \times 2.32 = 22.94 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min\text{Air}} = -0.38 - 2.40 \times 2.32 = -5.95 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Y así calculamos las $T_{\max\text{Air}}$ y $T_{\min\text{Air}}$ de cada una de las Estaciones de las regiones de Arequipa y Moquegua:

Tabla N° 12: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 98% de confiabilidad de las EC de Arequipa

ESTACION	CONFIABILIDAD AL 98%	
	$T_{\max\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\min\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$
Madrigal	22.94	-5.95
Imata	19.02	-19.64
Pillones	21.83	-20.70
Sibayo	24.62	-15.45
Yanaquihua	29.14	1.51
Pullhuay(Ayahuasi)	23.75	0.50
Cotahuasi	28.14	0.85
Pampa Blanca	35.97	5.18
Salamanca	23.62	-1.07
Machahuay	28.44	-11.79
Choco	31.29	3.48
Chachas	27.80	-1.26
Ayo	34.36	-1.23
Andahua	21.27	-4.75
Aplao	34.57	3.70
Punta Atico	29.92	7.56
Caraveli	35.56	4.50
La Joya	35.08	-2.64
Pampa De Majes	30.41	0.90
Huambo	23.26	-1.75
La Angostura	21.27	-16.37
Chivay	28.57	-7.09
Orcopampa	24.67	-11.22
El Frayle	21.03	-16.92
Chiguata	26.41	-3.42
Las Salinas	19.98	-19.01
La Pampilla	27.78	1.07
Chichas	28.09	-0.96
Porpera	21.68	-17.39
Lomas	27.00	8.82
Visca Visca	21.77	-7.13

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 13: Temperaturas máximas y mínimas de aire al 98% de confiabilidad de las EC de Moquegua

PROVINCIA	ESTACION	TEMPERATURAS AL 98% DE CONFIABILIDAD	
		$T_{\max\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$	$T_{\min\text{Air}} (^{\circ}\text{C})$
MOQUEGUA	Moquegua	31.30	2.06
	Quinistaquillas	35.41	5.10
	Calacoa	22.16	2.81
	Ichuñas	26.20	-8.85
	Ubinas	24.94	-4.98
	Punta Coles	28.56	8.74
	Ilo	35.96	4.46

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla N°12 y Tabla N°13 tenemos los resultados de las temperaturas máximas ($T_{\max\text{Air}}$) y mínimas ($T_{\min\text{Air}}$) con una confiabilidad de 98%, en la región Arequipa se halló un intervalo de temperaturas de 35.97°C a -20.70°C y en la región Moquegua se halló un intervalo de temperaturas de 35.96°C a -8.85°C.

5.6. Mapa de grado de desempeño

5.6.1. Cálculo del Grado de desempeño (PG) de las estaciones

En la tabla N°12 y tabla N°13 se logró calcular las temperaturas máximas del aire y las temperaturas mínimas del aire que fueron calculadas al 98% de confiabilidad la cual es necesaria para el cálculo de grado de desempeño (PG). Usando las fórmulas brindadas por los modelos matemáticos citados en el capítulo II, procedemos a calcular las temperaturas máximas y mínimas usando como ejemplo la estación El Machahuay en Arequipa.

Modelo SHRP Original (1994)

$$T_{\max} = 0.9545(22.94 - (0.00618 * -15.653^2)) + 0.2289 * -15.653^2 + 42.2) - 17.78$$

$$T_{\max} = 29.55^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = T_{\text{MinAir}}$$

$$T_{\min} = -5.95^{\circ}\text{C}$$

Modelo LTPP (1996)

$$T_{\max} = 54.32 + (0.77585 * 22.94) - (0.002468 * -15.653^2) - (15.137 * \log(2 + 25))$$

$$T_{\max} = 49.85^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\min} = -1.56 + (0.71819 * -5.95) - (0.003966 * -15.653^2) + (6.264 * \log(2 + 25))$$

$$T_{\min} = 2.16^{\circ}\text{C}$$

Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (LTPP-FHWA, 1998 e Bosscher, 2000)

$$T_{\min} = -1.56 + 0.72T_{\text{MinAir}} - 0.005Lat^2 + 6.26\log(H + 25) - Z(4.4 + 0.52\sigma^2)^{1/2}$$

$$T_{\min} = -1.56 + 0.72 * -5.95 - 0.004 * -15.653^2 + 6.26 \log(2+25) - 2.32 * (4.4 + 0.52 * 0.81^2)^{1/2}$$

$$T_{\min} = -4.18^{\circ}$$

Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (Mohseni e Carpenter, 2004)

$$T_{\max} = 32.7 + 0.837T_{\text{MaxAir}} - 0.0029Lat^2 + Z(\sigma^2 + \delta_{\text{modelo}}^2)^{0.5}$$

$$T_{\max} = 32.7 + 0.837 \times 22.94 - 0.0029 \times (-15.61)^2 + 2.32 (0.98^2 + 2.1^2)^{0.5}$$

$$T_{\max} = 56.42^\circ$$

En la siguiente tabla se tiene las temperaturas máximas y mínimas usando las fórmulas de los modelos LTPP del 200 y 2004, las temperaturas máximas y mínimas del aire tienen la confiabilidad del 98%, que se aprecian en la tabla N° 12, para calcular las temperaturas máximas y mínimas con la confiabilidad del 50% usaremos las Temp. Máx y Mín del aire de la tabla N°10.

Las temperaturas máximas y mínimas con el Modelo SHRP Original y para el modelo LTPP 1996 se presentarán en las Tabla N°18 y Tabla N°19, para la confiabilidad de 50% y 98% respectivamente.

Tabla N° 14: Temp. máximas y mínimas para las EC de Arequipa, LTPP 2004 al 98% de confiabilidad

Estación	Modelo LTPP 2001-04				
	Latitud	Tmax. Air	Tmin. Air	Temp máx	Temp mín
Machahuay	-15.653	22.94	-5.95	56.42	-4.18
Imata	-15.843	19.02	-19.64	52.90	-13.04
Pillones	-15.981	21.83	-20.70	56.31	-14.45
Sibayo	-15.489	24.62	-15.45	57.70	-11.14
Yanaquihua	-15.777	29.14	1.51	63.02	2.39
Pullhuay	-15.146	23.75	0.50	57.01	1.91
Cotahuasi	-15.211	28.14	0.85	60.62	1.56
Pampa Blanca	-17.072	35.97	5.18	69.71	4.25
Salamanca	-15.503	23.62	-1.07	57.09	0.24
Madrigal	-15.610	28.44	-11.79	62.99	-8.38
Choco	-15.577	31.29	3.48	63.52	3.55
Chachas	-15.502	27.80	-1.26	61.32	0.18
Ayo	-15.683	34.36	-1.23	66.77	-0.33
Andahua	-15.501	21.27	-4.75	54.79	-2.56
Aplao	-16.073	34.57	3.70	66.61	3.93
Punta Atico	-16.232	29.92	7.56	62.99	6.09
Caraveli	-15.776	35.56	4.50	68.84	4.51
La Joya	-16.584	35.08	-2.64	68.92	-2.17
Pampa de Majes	-16.336	30.41	0.90	63.16	1.20
Huambo	-15.732	23.26	-1.75	56.87	0.04
La Angostura	-15.167	21.27	-16.37	54.91	-10.63
Chivay	-15.633	28.57	-7.09	63.09	-3.86

Orcopampa	-15.264	24.67	-11.22	58.55	-8.21
El Frayle	-16.155	21.03	-16.92	54.65	-11.36
Chiguata	-16.406	26.41	-3.42	60.35	-1.60
Las Salinas	-16.321	19.98	-19.01	53.93	-13.33
La Pampilla	-16.414	27.78	1.07	60.79	1.87
Chichas	-15.548	28.09	-0.96	60.72	-0.68
Porpera	-15.314	21.68	-17.39	55.99	-13.41
Lomas	-15.571	27.00	8.82	59.57	7.15
Visca Visca	-14.723	21.77	-7.13	55.33	-3.61

Fuente: Propia

Según la Figura N°10, tabla de PG del MTC, se le asignará valores próximos de PG ya establecidos a nuestras temperaturas máximas y mínimas, por ejemplo, de la Tabla N°13 para la estación Machahuay: T_{máx}: 56.42 °C.

Según la Figura N°10 el PG más próximo es el PG 58, siendo este el PG máximo designado a esta estación: T_{min}: -4.18°C

Según la Figura N°10 el PG más próximo es el PG -16, siendo este el PG máximo designado a esta estación.

Entonces el PG para la estación Machahuay es PG 58-16.

Se calculará el PG para cada estación siguiendo el mismo lineamiento para cada estación, así como se muestra en la tabla N°15.

Tabla N° 15: PG de las estaciones de Arequipa, LTPP 2004, 98% de confiabilidad

Estación	Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (2004)		
	Temp máx	Temp mín	PG
Machahuay	56.42	-4.18	58-16
Imata	52.90	-13.04	58-16
Pillones	56.31	-14.45	58-16
Sibayo	57.70	-11.14	58-16
Yanaquihua	63.02	2.39	64-10
Pullhuay	57.01	1.91	58-16
Cotahuasi	60.62	1.56	64-10
Pampa Blanca	69.71	4.25	70-10
Salamanca	57.09	0.24	58-16
Madrigal	62.99	-8.38	64-10
Choco	63.52	3.55	64-10
Chachas	61.32	0.18	64-10
Ayo	66.77	-0.33	70-10
Andahua	54.79	-2.56	58-16
Aplao	66.61	3.93	70-10
Punta Atico	62.99	6.09	64-10
Caraveli	68.84	4.51	70-10
La Joya	68.92	-2.17	70-10
Pampa de Majes	63.16	1.20	64-10
Huambo	56.87	0.04	58-16

La Angostura	54.91	-10.63	58-16
Chivay	63.09	-3.86	64-10
Orcopampa	58.55	-8.21	64-10
El Frayle	54.65	-11.36	58-16
Chiguata	60.35	-1.60	64-10
Las Salinas	53.93	-13.33	58-16
La Pampilla	60.79	1.87	64-10
Chichas	60.72	-0.68	64-10
Porpera	55.99	-13.41	58-16
Lomas	59.57	7.15	64-10
Visca Visca	55.33	-3.61	58-16

Fuente: Propia

El mismo seguimiento aplicó para las estaciones de Moquegua, donde en la tabla N°16 se puede apreciar las temperaturas máximas y mínimas por estación. Las temperaturas máximas y mínimas con el Modelo SHRP Original y para el modelo LTPP 1996 se presentarán en las Tabla N°20 y Tabla N°21, para la confiabilidad de 50% y 98% respectivamente para el departamento de Moquegua.

Tabla N° 16: Temp. máximas y mínimas para las EC de Moquegua, LTPP 2004 al 98% de confiabilidad

Estaciones	Latitud	Modelo LTPP Bind (2004)			
		Tmax. Air	Tmin. Air	Temp máx	Temp mín
Moquegua	-17.179	31.30	2.06	63.03	2.62
Quinistaquillas	-16.750	35.41	5.10	66.90	4.89
Calacoa	-16.740	22.16	2.81	55.37	3.35
Ichuñas	-16.141	26.20	-8.85	57.89	-5.18
Ubinas	-16.389	24.94	-4.98	57.89	-2.47
Punta Coles	-17.699	28.56	8.74	60.74	7.24
Ilo	-17.624	35.96	4.46	67.51	3.63

Fuente: Propia

Con las temperaturas máximas y mínimas de la tabla anterior, procedemos a calcular el PG de las estaciones siguiendo la el ejemplo de la EC Machahuay-Arequipa:

Tabla N° 17: PG de las estaciones de Moquegua LTPP 2004, 98% de confiabilidad

Estaciones	Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (2004)		
	Temp máx	Temp mín	PG
Moquegua	63.03	2.62	64-10
Quinistaquillas	66.90	4.89	70-10
Calacoa	55.37	3.35	58-16
Ichuñas	57.89	-5.18	58-16
Ubinas	57.89	-2.47	58-16
Punta Coles	60.74	7.24	64-10
Ilo	67.51	3.63	70-10

Fuente: Propia

De la tabla anterior se tiene los valores PG para cada estación climática, teniendo valores de 3 PG (58-16, 64-10, 70-10).

Ahora con los valores PG obtenidos, en la Figura N°23 se puede apreciar el departamento de Arequipa, con la ubicación de cada estación y el PG resultante por colores, siendo las estaciones con PG 58-16 de color amarillo, las estaciones con PG 64-10 de color verde y las estaciones con PG 70-10 de color rojo.



Figura N° 23: Mapa de Arequipa con valor de PG por estación

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

En la Figura N°24 se puede apreciar el departamento de Moquegua, con la ubicación de cada estación y el PG resultante por colores, siendo las estaciones con PG 58-16 de color amarillo, las estaciones con PG 64-10 de color verde, las estaciones con PG 70-10 de color rojo y las estaciones con PG 76-10 de color azul.

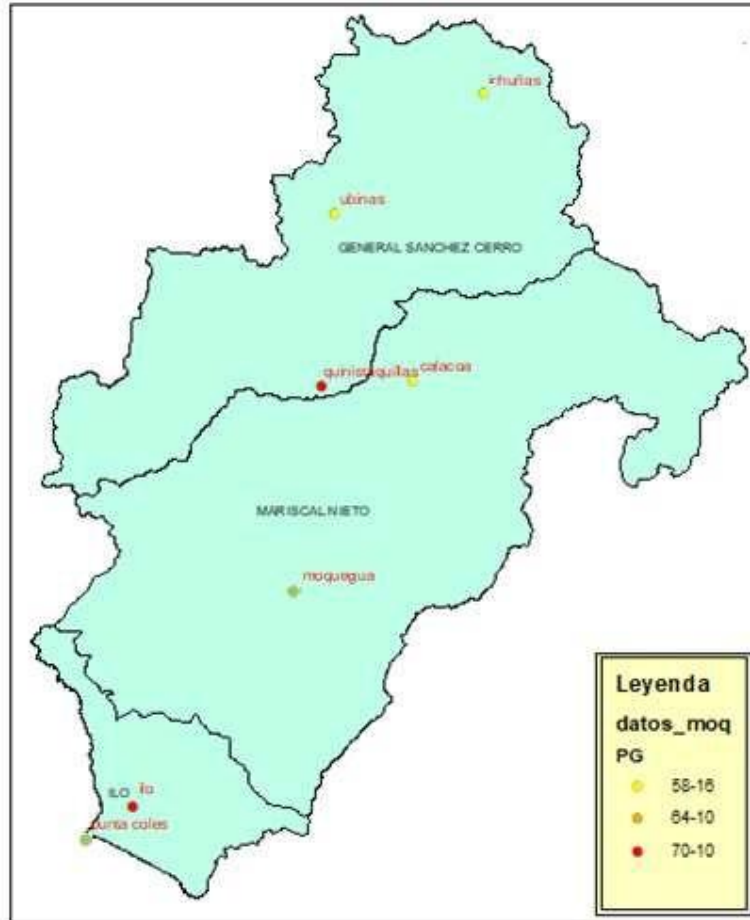


Figura N° 24: Mapa de Moquegua con el valor de PG por estación

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

5.6.2. Delimitación de zonas por grado de desempeño (PG)

Para la delimitación de las zonas es necesario determinar el área de influencia de cada estación.

Según (Arteaga Jaramillo, 2017): “El software LTPPBind 2.1 presta ayuda a ingenieros de América del Norte para la elección del ligante asfáltico de una zona cualquiera, este software posee una base de datos de 7.400 estaciones, es por ello que el ligante sugerido es calculado de los datos estadísticos de las 5 estaciones más cercanas al punto seleccionado”.

Dicha forma no puede ser aplicada en Perú debido a la menor cantidad de estaciones y también debido a que la mayoría de estas no contemplan data completa para algunos años.

Es por ello que se siguió los criterios de zonificación usados por (Arteaga Jaramillo, 2017):

Para calcular el área de influencia de cada estación se usarán los siguientes criterios:

- El Perú tiene 27 climas, según el método de clasificación climática de Warren Thornthwaite (1931) Esto es por su ubicación geográfica y a los diversos factores climáticos que lo rodean (SENAMHI).
- Curvas de nivel, definidas cada 100 metros de altura.

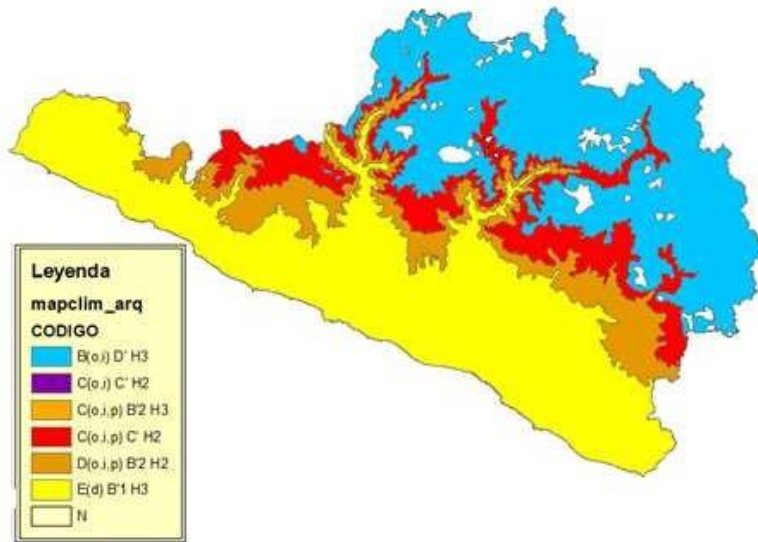


Figura N° 25: Mapa de clasificación climática de Warren Thornthwaite para el departamento de Arequipa

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

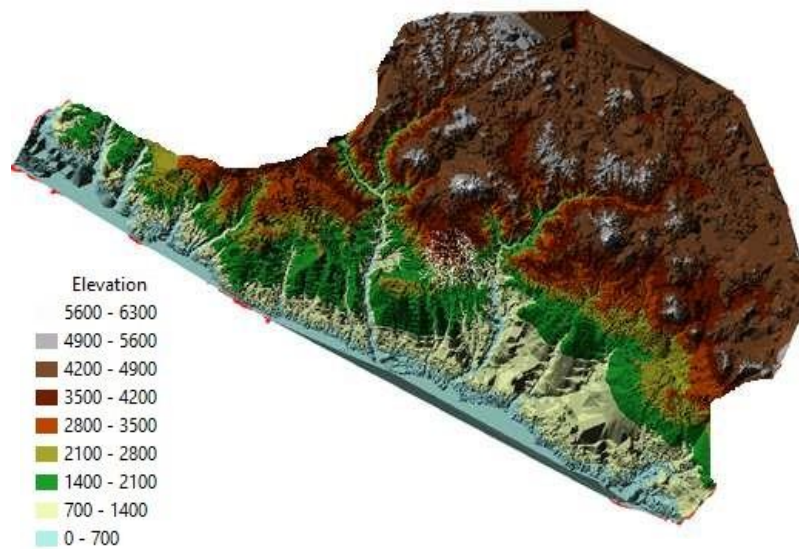


Figura N° 26: Rango de elevaciones (curvas de nivel) para el departamento de Arequipa

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

La clasificación climática de Warren Thornthwaite se utiliza como criterio principal, pero si en una misma zona existieran dos ligantes diferentes se utilizarán las curvas de nivel para delimitar el área de influencia de cada uno. En la figura N°25 se aprecia la zona climática E(d) B'1 H3 de Thornthwaite y en contraste con la Figura N°23 se puede apreciar 2 PG (PG 64-10 y PG 70-10) en la misma zona climática y se aprecian las curvas de nivel cada 100 metros de altura.

Para realizar lo siguiente se utilizó el programa ArcGIS 10.5.1, el cual permite superponer diferentes capas, facilitando el trabajo. Estas capas fueron extraídas del sitio web GEO GPS PERU, que nos brinda los formatos en Shapefile.

En la Figura N°27 se puede apreciar la super posición de mapa climático de Thornthwaite que se presentó en la Figura N°25 para el departamento de Arequipa con las curvas de nivel cada 100 metros con el fin de realizar la zonificación para determinar las áreas de influencia de cada PG.

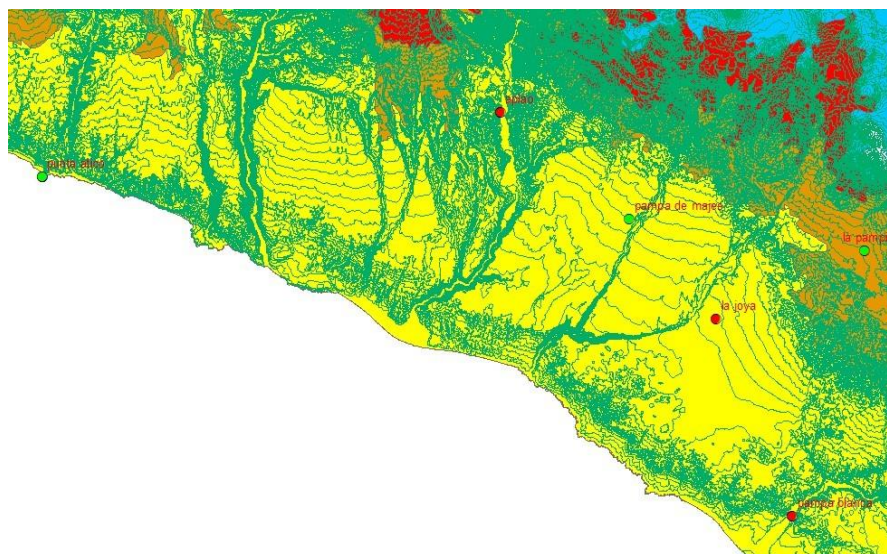


Figura N° 27: Curvas de nivel cada 100 m en la zona climática E(d) B'1 H3

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

La cota de Punta Atico es de 30 msnm y la cota de Pampa Blanca es de 108 msnm, la cota promedio, entre las dos curvas, es de 69 msnm, al estar las curvas de nivel cada 100 msnm (como se muestra en la en la Imagen anterior), tomaremos esa cota. En la Figura N°28 se puede apreciar la curva de nivel de 100m que divide dos estaciones con PG diferentes.

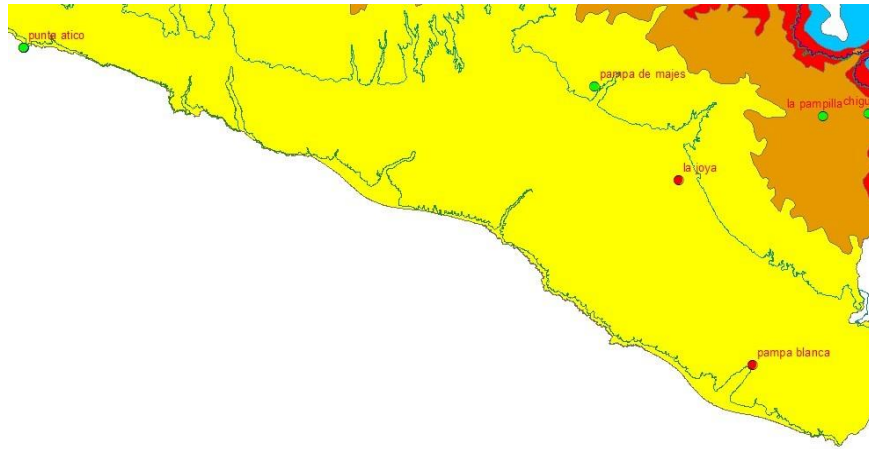


Figura N° 28: Caso 1, criterio de zonificación

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

La cota de La Joya es de 1278 msnm y la cota de Pampa Majes de 1498 msnm, la cota promedio es de 1388 msnm, debido a que las cotas están cada 100 msnm usaremos la cota 1400 msnm como se ve en la Figura N°29.

Debajo de la cota 1400 m se encuentran las estaciones Aplao y La Joya con PG 70-10, se procede a delimitar esa zona.

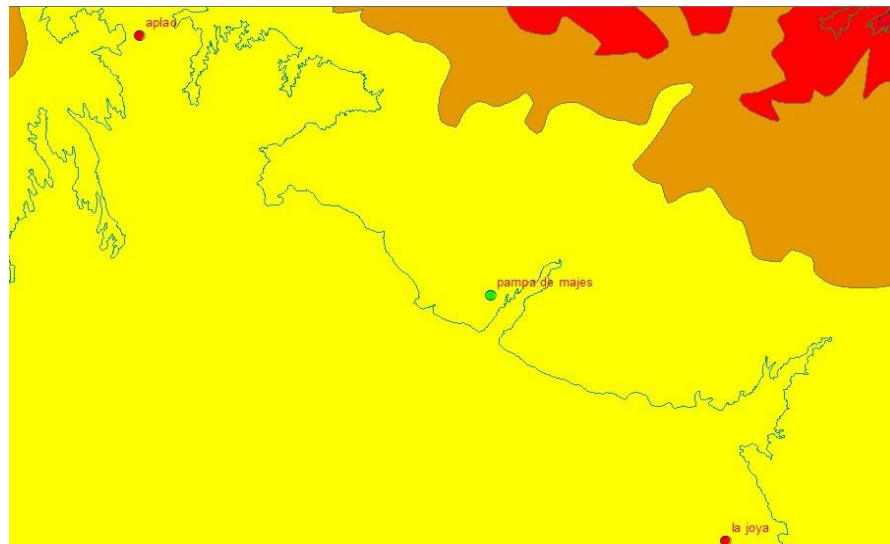


Figura N° 29: Curva de nivel con cota 1400 msnm para delimitar zonas con PG diferentes

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

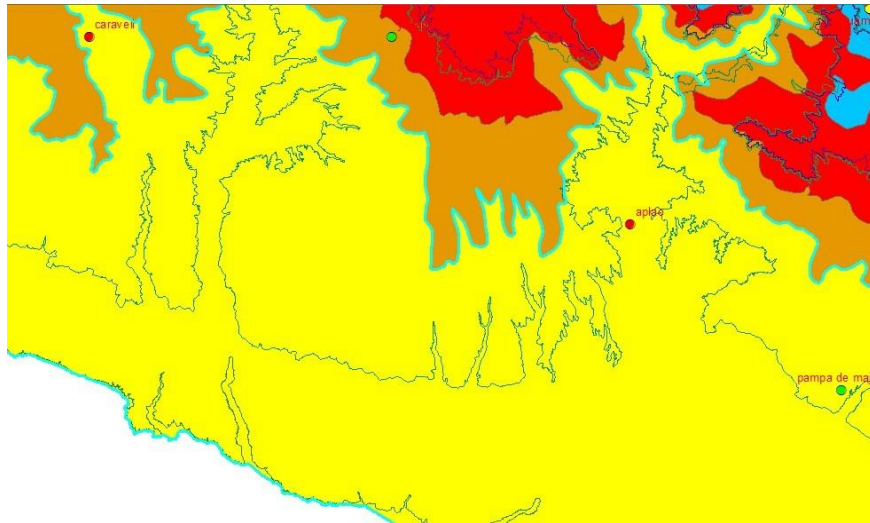


Figura N° 30: Caso 2, Criterio de zonificación

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

En la Figura N°31 se aprecia el mapa de grado de desempeño PG con 3 valores de PG diferentes (58-16, 64-10, 70-10) donde podemos apreciar que para las zonas donde se encuentran las estaciones más elevadas entre los 3000 a 4500 metros tienen un PG de 58-16 y en algunos casos PG de 64-10. Entre las alturas de 100 m a 1500 m registran el PG más alto que es de 70-10.

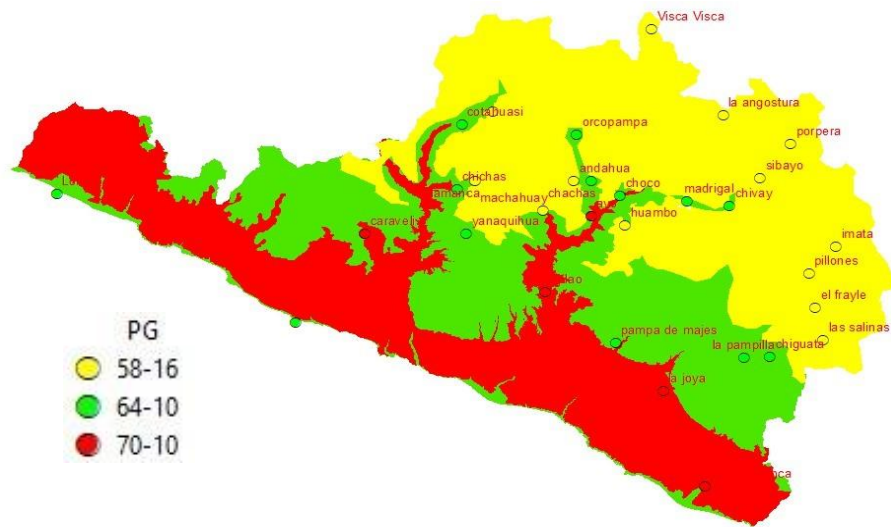


Figura N° 31: Mapa de grado de desempeño PG para el departamento de Arequipa

Fuente: Propia, elaborado con el programa de ArcGIS

Para el departamento de Moquegua se sigue el mismo trabajo se realizó en Arequipa, a continuación, en la siguiente Figura N°32 se muestra el mapa climático de Warren Thornthwaite, junto a su leyenda donde se aprecia la

clasificación de climas como E(d)B'1H3 en su mayoría en la costa que representa clima árido con una eficiencia de temperatura semicálida y con deficiencia de lluvia en todas las estaciones, D(o,i,p)B'2H2 catalogado como clima semiárido y templado , C(o,i,p)C'H2 catalogado con un clima frío y B(o,i)D'H3 en las zonas más altas catalogadas como lluviosas y semifrías según la Figura N°13 descripción de climas de capítulo de marco teórico. También se tiene en la Figura N°33 el rango de elevaciones para las curvas de nivel.

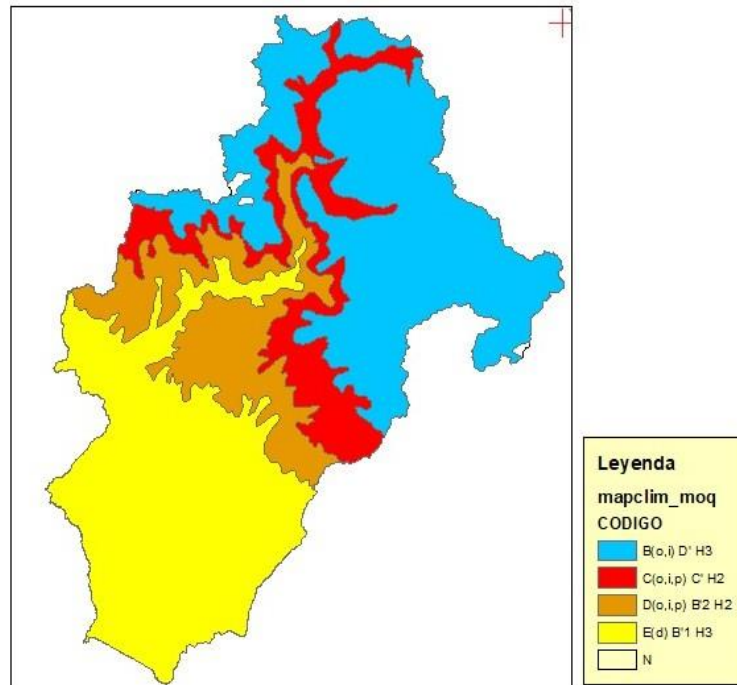


Figura N° 32: Mapa de clasificación climática de Warren Thornthwaite para el departamento de Moquegua

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

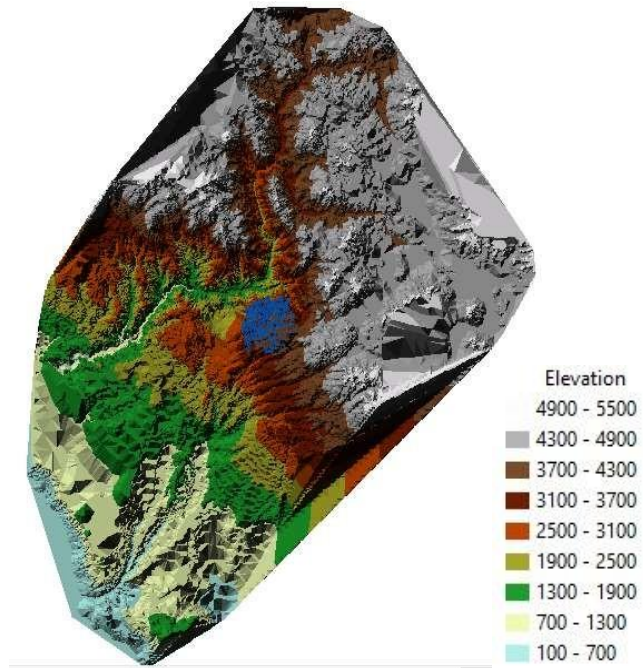


Figura N° 33: Rango de elevaciones (curvas de nivel) para el departamento de Moquegua

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

Los mismos criterios de zonificación presentados para la zonificación de mapa PG de Arequipa se usaron para elaborar el mapa PG de Moquegua, usando la misma cota 1400m para dividir la estación Ilo (PG 70-10) de la estación Moquegua (64-10), a continuación, en la Figura N°34 se aprecia el mapa PG de Moquegua:

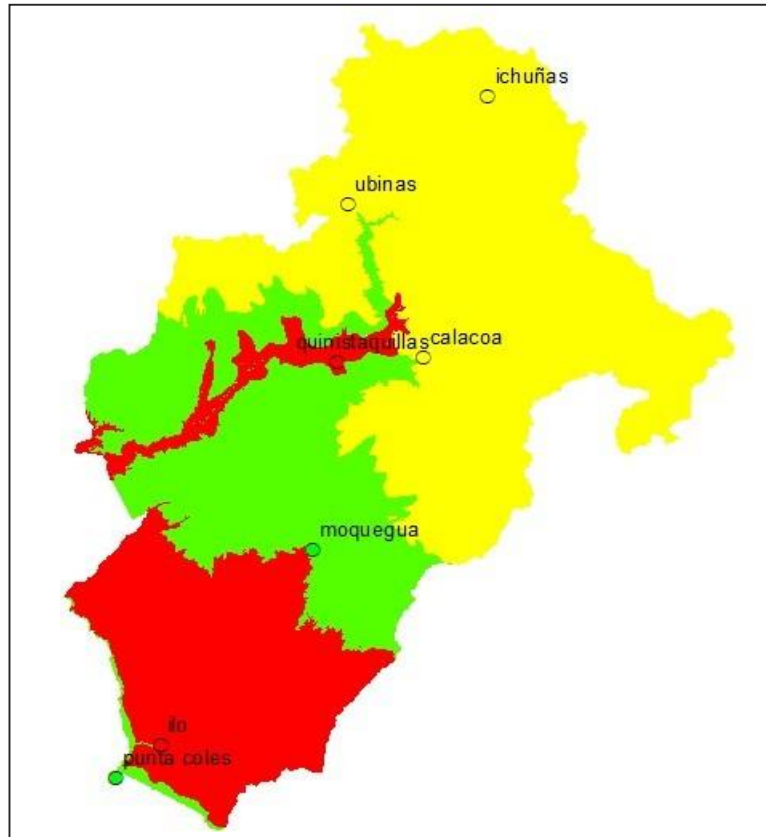


Figura N° 34: Mapa de grado de desempeño PG para el departamento de Moquegua

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

De la Figura N°34, al igual que el mapa PG de Arequipa en la Figura N°31, las estaciones que se ubican en la costa, con cotas promedio de 25 a 100 metros presentan un PG 64-10, en las zonas más elevadas entre 3400 a 3800 metros presentas PG 58-16.

5.6.3. Corrección del grado de desempeño (PG) en función al nivel de tráfico y velocidad

Del expediente técnico “MEJORAMIENTO DE LA RED VIAL DEPARTAMENTAL MOQUEGUA – AREQUIPA TRAMO MO-108: CRUZ DE FLORES, DISTRITOS TORARA, OMATE, COALAQUE, PUQUINA, LIMITE DEPARTAMENTAL PAMPA USUÑA, MOQUEGUA; TRAMO AR-118, DISTRITOS POLOVALLA POCSI MOLLEVALLA, AREQUIPA.”

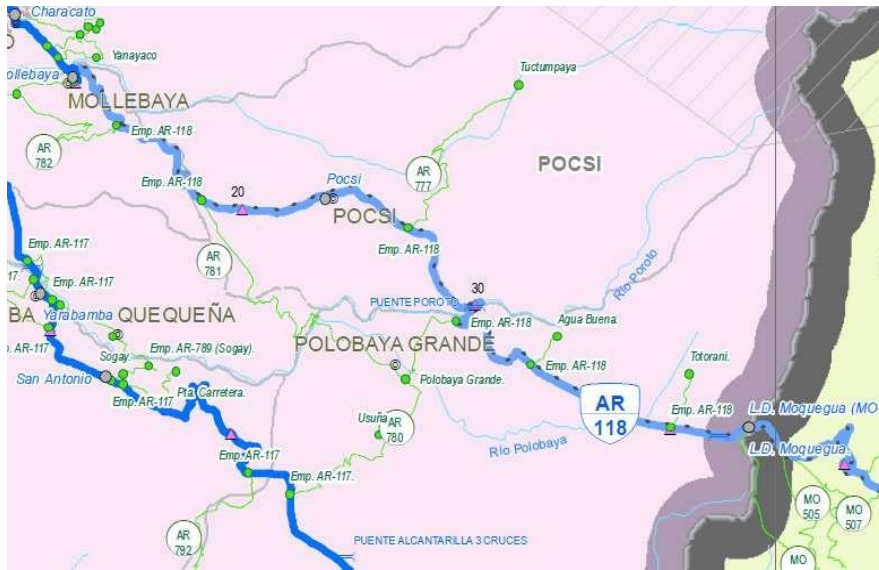


Figura N° 35: Red vial departamental tramo AR-118

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019)

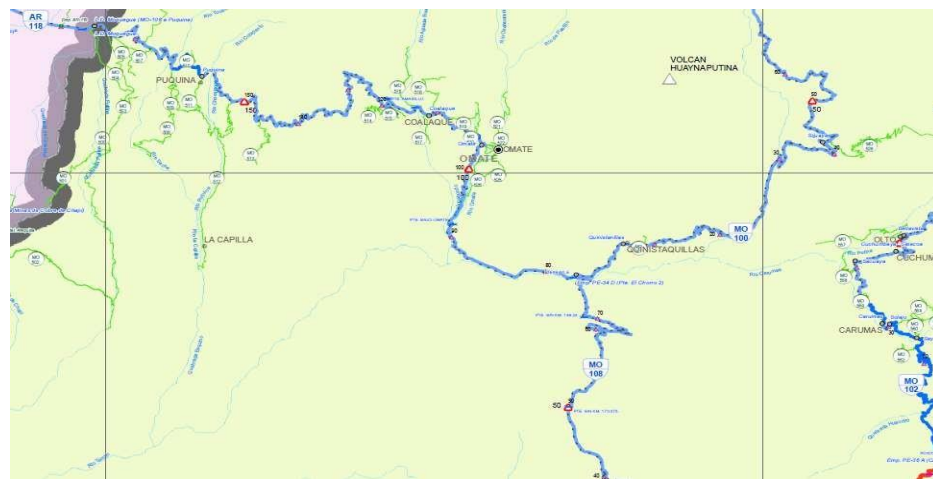


Figura N° 36: Red vial departamental tramo MO-108

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2019)

El tramo de carretera comprende las progresivas **Km. 35+000 al Km. 153+500** y se ubica en la Región Moquegua.

El tramo se inicia en el Km. 35+000 a 3,013 m.s.n.m. y termina en el Km. 153+500, a 3,153 m.s.n.m.

Las coordenadas del Km. 35+000, son las siguientes:

N = 8°124,766.785

E = 300,350.573

Las coordenadas del Km. 75+940, son las siguientes:

N = 8°144,257.152

E= 295,828.472

El tramo concluye en la progresiva Km. 153+500 cuyas coordenadas son las siguientes:

N = 8'161,244.707

E = 266,965.481

Estación: E-1	Tramo Ubicación Fecha	Cruce Cruz de Flores - Otorá Otorá km 12+000 Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-2	Tramo Ubicación Fecha	Otorá-Puente El Chorro Tambo Corral Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-3	Tramo Ubicación Fecha	Puente el Chorro - Omate Ingreso a Omate Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-4	Tramo Ubicación Fecha	Omate - Puquina Salida de Omate Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-5	Tramo Ubicación Fecha	Puquina – Dv. Polobaya Bellavista Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-6	Tramo Ubicación Fecha	Dv. Polobaya - Mollebaya Ingreso Mollebaya Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-7	Tramo Ubicación Fecha	Dv. Polobaya - Polobaya Ingreso Polobaya Del 15 al 21 de enero de 2016
Estación: E-8	Tramo Ubicación Fecha	Moquegua - Ilo Peaje Montalvo Del 15 al 21 de enero de 2016

Figura N° 37: Estación de cada tramo

Fuente: (Provias Nacional, 2016)

Tabla N° 18: Resumen de Ejes Estandar de Carga Equivalentes por Estaciones

Estación N°	E - 1	E - 2	E - 3	E - 4	E - 5	E - 6	E - 7
	OTORA	PUENTE EL CORRO	OMATE	PUQUINA	TALAMOLLE	POLOBAYTA	MOLLEBAYA
ESAL (01 años)	9.087 E+03	1.110 E+04	1.071 E+04	4.760 E+04	5.485 E+04	3.268 E+04	1.138 E+05
ESAL (02 años)	1.983 E+04	2.423 E+04	2.338 E+04	1.039 E+05	1.197 E+05	7.132 E+04	2.484 E+05
ESAL (03 años)	3.096 E+04	3.783 E+04	3.650 E+04	1.621 E+05	1.868 E+05	1.114 E+05	3.879 E+05
ESAL (05 años)	5.444 E+04	6.654 E+04	6.420 E+04	2.847 E+05	3.284 E+05	1.959 E+05	6.822 E+05
ESAL (10 años)	1.210 E+05	1.480 E+05	1.428 E+05	6.307 E+05	7.288 E+05	4.357 E+05	1.517 E+06
ESAL (15 años)	2.005 E+05	2.455 E+05	2.368 E+05	1.042 E+06	1.206 E+06	7.227 E+05	2.517 E+06

ESAL (20 años)	2.956 E+05	3.622 E+05	3.493 E+05	1.530 E+06	1.774 E+06	1.066 E+06	3.713 E+06
----------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Fuente: Propia. Fuente: MTC, Expediente Técnico “mejoramiento de la red vial departamental moquegua – arequipa tramo mo-108: cruz de flores, distritos torara, omate, coalaque, puquina, limite departamental pampa usuña, moquegua; tramo ar-118, distritos polovalla pocsí mollevalla, arequipa.”

Considerando los datos que nos brindan en este expediente técnico procedemos a hacer la corrección del Grado de Desempeño (PG):

Como podemos observar en la Figura N°38, se superpuso la red vial departamental AR-118 y MO-108 con ayuda de las coordenadas brindadas por la memoria descriptiva del expediente técnico del MTC y descripción de tramos de la Figura N°37 sobre los mapas de grado de desempeño de Arequipa Y Moquegua de las Figuras N°31 y Figura N°34.

Como se aprecia en la Figura N°38, la carretera pasa por los 3 tipos de PG, encontrándose en su mayoría en la zona de PG 64-10

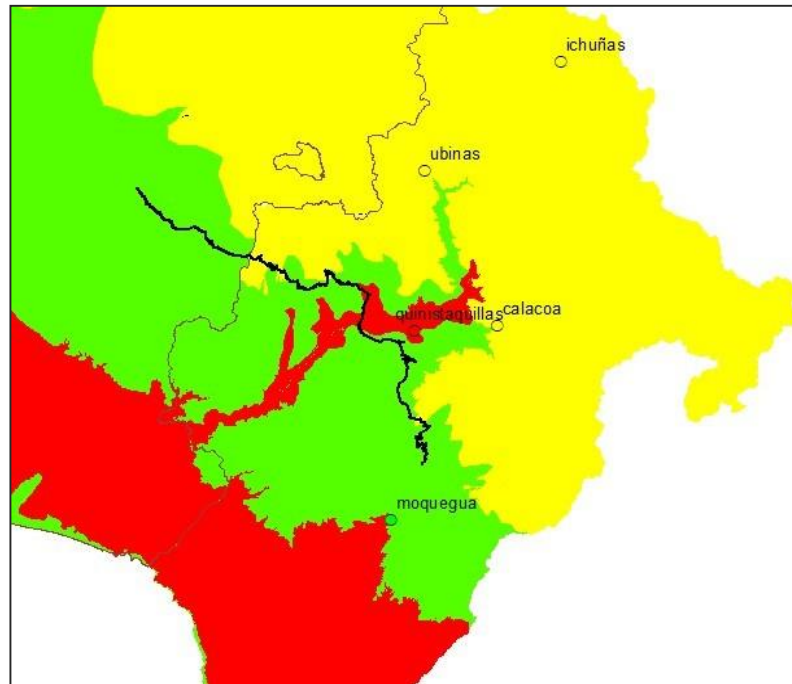


Figura N° 38: Red vial departamental AR-118 y MO-108 sobre mapa de grado de desempeño (PG)

Fuente: Propia, elaborada con el programa ArcGIS 10.5.1

Corrección en el departamento de Arequipa

Para el tramo AR-118, las estaciones E-5, E-6, E-7 según la tabla N° 18 de ESAL del expediente técnico obtenido de Provias (Provias Nacional, 2016).

ESAL: 1.774 E+06, proyectado a los 20 años para la E-5

ESAL: 1.066 E+06, proyectado a los 20 años para la E-6

ESAL: 3.713 E+06, proyectado a los 20 años para la E-7

Para ESAL (0.3 a 3) E+06 como en las estaciones E-5 / E-6 y velocidad entre 20 a 70 km/h el PG 64-10 aumenta a PG 70-10, según Figura N° 11.

Para ESAL (3 a 10) E+06 como en las estaciones E-7 y velocidad entre 20 a 70 km/h el PG 64-10 aumenta a PG 70-10, según Figura N° 11.

Corrección en el departamento de Moquegua

Tenemos de la tabla N° 18:

ESAL = 1.530E+06, proyectado a los 20 años para la E-4 Puquina

Velocidad = 30 km/h, de la memoria descriptiva del expediente técnico (Provias Nacional, 2016)

Según la Figura N° 11 Ajuste de PG del capítulo II de corrección por tráfico y velocidad, tenemos que:

Para ESAL entre 0.3 a 3 E+06 y para velocidades entre 20 y 90 km/h, que es lo que tenemos para este tramo, se debe de aumentar 1 Grado de Desempeño (PG), como inicialmente se obtuvo el PG 64-10 sin considerar los factores de carga vehicular y velocidad, para hacer efecto de estos, este se modifica y aumenta a PG 70-10, con este resultado tenemos ya el Grado de Desempeño (PG) corregido para estos factores. Para nuestra investigación se consideró solo el tramo de Puquina (E-4) debido a que las primeras estaciones tienen un ESAL menor a 1.00 E+06.

5.7. Comparación del Grado de Desempeño (PG) por modelo matemático

5.7.1. Arequipa

Tabla N° 19: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 50% para Arequipa

ESTACION	CONFIABILIDAD AL 50%					
	MODELO SHRP ORIGINAL (1994)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (1996)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (2004)	
	T. máx	T.mín	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín
Machahuay	38.26	-2.00	48.82	5.00	55.30	-1.33
Imata	34.92	-17.57	46.14	-6.21	52.21	-11.56
Pillones	35.89	-17.38	46.97	-6.09	54.16	-12.05
Sibayo	40.22	-11.28	50.36	-1.65	56.83	-8.13
Yanaquihua	42.33	3.02	52.15	8.58	60.33	3.47
Pullhuay	39.50	1.31	49.70	7.44	56.13	2.49
Cotahuasi	43.80	3.43	53.21	8.95	59.86	3.41

Pampa Blanca	47.30	8.13	56.52	12.09	66.13	6.37
Salamanca	38.79	1.28	49.21	7.37	55.82	1.94
Madrigal	41.21	-7.83	51.20	0.81	59.85	-5.53
Choco	46.05	5.75	55.13	10.57	62.23	5.18
Chachas	41.81	0.95	51.66	7.13	59.19	1.76
Ayo	48.02	2.00	56.75	7.87	64.67	1.99
Andahua	37.28	-2.08	47.98	4.96	54.16	-0.63
Aplao	48.43	5.20	57.19	10.12	64.83	5.01
Punta Atico	43.57	10.48	53.28	13.89	60.90	8.19
Caraveli	48.03	6.12	56.79	10.81	65.77	5.67
La Joya	46.74	1.69	55.94	7.53	65.42	0.95
Pampa de Majes	44.28	3.97	53.88	9.20	61.31	3.41
Huambo	38.20	-0.21	48.78	6.27	55.46	1.15
La Angostura	37.18	-14.24	47.82	-3.74	54.07	-9.10
Chivay	41.33	-5.36	51.31	2.58	59.95	-2.61
Orcopampa	39.11	-6.84	49.41	1.57	56.60	-5.06
El Frayle	36.46	-14.33	47.48	-3.92	53.74	-9.49
Chiguata	39.81	-0.98	50.26	5.63	57.95	0.16
Las Salinas	35.07	-15.59	46.39	-4.85	52.73	-10.87
La Pampilla	41.94	2.92	52.00	8.43	59.12	3.21
Chichas	43.25	3.16	52.84	8.72	59.63	2.29
Porpera	36.30	-11.97	47.14	-2.12	54.10	-9.51
Lomas	42.76	11.61	52.45	14.79	58.97	9.16
Visca Visca	37.91	-5.95	48.30	2.28	54.56	-2.76

Fuente: Propia

Tabla N° 20: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 98% para Arequipa

ESTACION	CONFIABILIDAD AL 98%					
	MODELO SHRP ORIGINAL (1994)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (1996)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (2004)	
	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín
Machahuay	29.55	-5.95	49.85	2.16	56.42	-4.18
Imata	25.63	-19.64	46.79	-7.69	52.90	-13.04
Pillones	28.18	-20.70	48.96	-8.47	56.31	-14.45
Sibayo	31.31	-15.45	51.17	-4.64	57.70	-11.14
Yanaquihua	35.35	1.51	54.65	7.50	63.02	2.39
Pullhuay	30.80	0.50	50.52	6.86	57.01	1.91
Cotahuasi	34.93	0.85	53.91	7.10	60.62	1.56
Pampa Blanca	40.64	5.18	59.84	9.97	69.71	4.25
Salamanca	30.34	-1.07	50.39	5.68	57.09	0.24
Madrigal	34.83	-11.79	54.11	-2.03	62.99	-8.38
Choco	37.59	3.48	56.33	8.94	63.52	3.55
Chachas	34.33	-1.26	53.63	5.55	61.32	0.18
Ayo	40.42	-1.23	58.70	5.55	66.77	-0.33
Andahua	28.10	-4.75	48.56	3.04	54.79	-2.56
Aplao	40.25	3.70	58.84	9.04	66.61	3.93
Punta Atico	35.66	7.56	55.22	11.79	62.99	6.09

Caraveli	41.47	4.50	59.63	9.65	68.84	4.51
La Joya	40.26	-2.64	59.19	4.42	68.92	-2.17
Pampa de Majes	36.03	0.90	55.59	6.99	63.16	1.20
Huambo	29.78	-1.75	50.09	5.17	56.87	0.04
La Angostura	28.42	-16.37	48.59	-5.26	54.91	-10.63
Chivay	34.94	-7.09	54.21	1.34	63.09	-3.86
Orcopampa	31.57	-11.22	51.22	-1.58	58.55	-8.21
El Frayle	27.25	-16.92	48.32	-5.78	54.65	-11.36
Chiguata	32.14	-3.42	52.48	3.88	60.35	-1.60
Las Salinas	26.09	-19.01	47.50	-7.30	53.93	-13.33
La Pampilla	33.44	1.07	53.54	7.10	60.79	1.87
Chichas	34.57	-0.96	53.85	5.76	60.72	-0.68
Porpera	28.67	-17.39	48.90	-6.01	55.99	-13.41
Lomas	33.50	8.82	53.00	12.78	59.57	7.15
Visca Visca	29.31	-7.13	49.01	1.42	55.33	-3.61

Fuente: Propia

5.7.2. Moquegua

Tabla N° 21: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 50% para Moquegua

ESTACION	CONFIABILIDAD AL 50%					
	MODELO SHRP ORIGINAL (1994)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (1996)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (2004)	
	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín
moquegua	46.18	3.53	56.37	9.94	62.41	3.84
quinistaquillas	49.45	5.10	58.88	11.07	65.55	4.82
calacoa	37.80	4.13	49.40	10.37	54.89	4.35
ichuñas	41.63	-6.46	52.32	2.76	58.18	-3.24
ubinas	40.15	-2.42	51.19	5.67	57.01	-0.40
punta coles	43.16	11.26	54.09	15.49	59.97	9.30
ilo	49.26	8.67	59.02	13.64	65.86	7.14

Fuente: Propia

Tabla N° 22: Comparación de temperaturas máximas y mínimas, confiabilidad al 98% para Arequipa

ESTACION	CONFIABILIDAD AL 98%					
	MODELO SHRP ORIGINAL (1994)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (1996)		Modelo LTPP (Long Term Pavement Performance) Bind (2004)	
	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín	T. máx	T. mín
Moquegua	46.89	2.06	56.21	7.72	63.03	2.62
Quinistaquillas	50.99	5.10	59.44	9.96	66.90	4.89
Calacoa	38.34	2.81	49.15	8.32	55.37	3.35
Ichuñas	42.44	-8.85	52.34	0.01	58.89	-5.18
Ubinas	41.14	-4.98	51.34	2.76	57.89	-2.47
Punta Coles	44.05	8.74	54.04	12.44	60.74	7.24
Ilo	51.14	4.46	59.79	9.38	67.51	3.63

Fuente: Propia

Como se aprecia en las tablas N°19 y N° 21 realizando la comparación entre

los modelos matemáticos del SHRP y LTPP, las temperaturas máximas y

mínimas de los modelos LTPP del 2000 y 2004 tienen resultados más conservadores, a consecuencia de que son ecuaciones más actualizadas a raíz de los estudios de campo.

5.8. Contrastación de Hipótesis

5.8.1. Hipótesis 1

Hipótesis Alterna (Hi1): Los componentes identificados permiten calcular el grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación SUPERPAVE.

Hipótesis Nula (H01): Los componentes identificados no permiten calcular el grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación SUPERPAVE.

Habiendo identificado los componentes como lo son las temperaturas que se obtuvieron de las estaciones del SENAMHI y con data del Power Data –Nasa, tal como se muestra en los Anexos 2 al 39, las latitudes de las estaciones (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2021) tal como se muestra en las tablas N°2 y N°3. Como se vio en el capítulo II los modelos trazados por los investigadores del SHRP permitieron calcular las temperaturas máximas y mínimas del pavimento tal como se puede apreciar en las tablas N°20 y N°22 y con estas se lograron asignar los valores PG establecidos en la Figura N°10 del capítulo II.

Según la investigación de Eduardo Sebastián 2018, se concluye que realizar un mapa de Grado PG es de gran ayuda ya que con la metodología propuesta consiste en identificar curvas de nivel que engloban a las estacionesclimatológicas de igual Grado PG. Anteriormente para determinar el Grado PG solo se consideraba la estación más cercana y los resultados no eran confiables. Estos componentes nos permitieron calcular los valores de PG tal como se ven las tablas N°15 y N°17 por lo que se acepta la hipótesis alterna (Hi1) y se rechaza la nula (H01).

5.8.2. Hipótesis 2

Hipótesis Alterna (Hi2): Son los modelos matemáticos más recientes los cuales nos dan los valores más conservadores del Grado de Desempeño (PG) en las regiones Arequipa y Moquegua.

Hipótesis Nula (H02): No son los modelos matemáticos más recientes los cuales nos dan los valores más conservadores del Grado de Desempeño (PG) en las regiones Arequipa y Moquegua.

El desarrollo de los modelos matemáticos SHRP y LTPP, para el cálculo de la temperatura máxima del pavimento se mejoró el año 2004 con la presentación del algoritmo mejorado de sus versiones anteriores basados en Modelo Climático Integrado (ICM) y se desarrolló con datos de aproximadamente 8000 estaciones meteorológicas y para el cálculo de la temperatura mínima se desarrolló en los años 1998-2000 con datos recopilados de 30 autopistas experimentales.

Después de aplicar estos modelos matemáticos que son los más recientes y mejorados con base de datos más sólida resultan los mejores valores para determinar las temperaturas máximas y mínimas para el cálculo del Grado de Desempeño por lo que se acepta la hipótesis alterna (Hi1) y se rechaza la nula (H01).

5.8.3. Hipótesis 3

Hipótesis Alterna (Hi3): Las correcciones en función al tráfico y la velocidad modifican el Grado de Desempeño (PG) en carreteras específicas de las regiones Arequipa y Moquegua.

Hipótesis Nula (H03): Las correcciones en función al tráfico y la velocidad no modifican el Grado de Desempeño (PG) en carreteras específicas de las regiones Arequipa y Moquegua.

La velocidad y carga de tráfico influyen y modifican el Grado de Desempeños por ello la importancia de realizar las correcciones, según a las condiciones climáticas de que la velocidad de los vehículos sea de 90 km/h o mayor, para velocidades menores o lentos es necesario incrementar el Grado de Desempeño requerido y este se incrementa en función a la velocidad detallado en la Figura N° 11.

Habiendo analizado el valor de los ESALs y velocidades brindadas por el expediente técnico de provias nacional:

Tabla N° 23: ESAL de estaciones (20 años)

Estación N°	E - 4	E - 5	E - 6	E - 7
	PUQUINA	TALAMOLLE	POLOBAYTA	MOLLEBAYA
ESAL (20 años)	1.530 E+06	1.774 E+06	1.066 E+06	3.713 E+06

Fuente: Provias Nacional (2019)

Pudimos ver cómo según la Figura N°11. Ajuste del Grado de Desempeño (PG) se aplicaron correcciones de 1 Grados de Desempeño (PG) debido a la velocidad y carga de tráfico que se aprecia en la anterior tabla N° 23 dentro de los tramos carretera evaluados en cada región detallada en la tabla N° 17, por lo que se acepta la hipótesis alterna (Hi1) y se rechaza la nula (H01).

5.8.4. Hipótesis Principal

Hipótesis Alterna (Hi): Con los datos obtenidos en SENAMHI Y POWER DATA NASA, se puede confeccionar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según la clasificación SUPERPAVE en las regiones de Arequipa- Moquegua.

Hipótesis Nula (H0): Con los datos obtenidos en SENAMHI Y POWER DATA NASA, no se puede confeccionar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según a la clasificación SUPERPAVE en las regiones de Arequipa- Moquegua. Habiendo analizado los datos extraídos de SENAMHI Y POWER DATA NASA y aplicando los modelos matemáticos SHRP (Strategic Highway Research Program) – LTPP (Long Term Pavement Performance 2004) para ligantes asfálticos según la clasificación SUPERPAVE en las regiones Arequipa – Moquegua, con los datos extraídos se obtiene las temperaturas máximas y mínimas de los últimos 20 años, así mismo las alturas en el que cada una de las estaciones se encuentran para finalmente usar los modelos matemáticos.

Al constatar que con los datos obtenidos SENAMHI Y POWER DATA NASA podemos calcular el PG, que los modelos matemáticos SHRP y LTPP son cada vez más conservadores y que se realizó las correcciones según al tráfico y la velocidad, con ello se demuestra que si es posible confeccionar el Mapa de Grado de Desempeño PG.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvieron zonificaciones mediante un Mapa de Grado de Desempeño (PG) según clasificación SUPERPAVE para la elección del ligante asfáltico en las zonas de Arequipa y Moquegua, mediante la recopilación de la información de un total de 38 estaciones extraídas del SENAMHI y complementándolos con los datos de temperatura del programa Power Data de la NASA distribuidas en el área de estudio comprendida por las regiones de Arequipa y Moquegua, aplicando también los modelos matemáticos del SHRP y LTPP en todas sus versiones.
2. Se identificó los componentes dentro de la base de datos dentro de un total de 38 estaciones meteorológicas, las cuales fueron extraídas del SENAMHI, dentro de esta base de datos encontramos algunas estaciones con datos incompletos por lo cual lo complementamos con los datos de temperatura del programa Power Data de la NASA, con respecto al mapa climático, este se obtuvo de la base de datos del SENAMHI, el cual para nuestro país es clasificado según Thornthwaite, este junto a las curvas de nivel (cada 100 metros) fueron la base para la generación del Mapa de Grado de Desempeño (PG).
3. Las principales diferencias del cálculo de Grado de Desempeño (PG) para los modelos SHRP (1994), LTPP (1996), LTPP (1998-2000) y LTPP (2004), son las modificaciones que a lo largo del tiempo se realiza, con la actualización de nuevos estudios diseñadas con este método, también añadieron recopilación de datos meteorológicos y llegando a los modelos que rigen en la actualidad LTPP (1998-2000) y LTPP (2004) para temperaturas mínimas y máximas respectivamente.
4. Los valores que presentamos en el Mapa de Grado de Desempeño (PG) son únicamente por temperaturas, al aplicar las correcciones por tráfico y velocidad en las vías de estudio, los valores de Grado de Desempeño (PG) fueron modificados teniendo en consideración las cargas de tráfico vehicular a las que estas son sometidas, de la misma forma con la velocidad, de esta manera obtener un diseño óptimo abarcando todos los factores: clima, carga de tráfico y velocidad.

RECOMENDACIONES

5. Se recomienda a los futuros investigadores usar el programa Power Data de la NASA ya que en las instituciones estatales como ANA y SENHAMI no se encuentra con la data total de temperaturas para los requerimientos del cálculo de Grado de Desempeño (PG) según la clasificación SUPERPAVE.
6. Se recomienda a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma, implementar un laboratorio de pavimentos asfálticos con tecnología SUPERPAVE a fin de fomentar la investigación de vanguardia y brindar servicios especializados en esta materia.
7. Se recomienda evaluar los ligantes asfálticos desde la óptica del Grado de Desempeño SUPERPAVE (PG) a fin de tener un conocimiento adecuado e integral sobre el comportamiento reológico y predicción de los pavimentos asfálticos cuando estas se encuentren en servicio bajo condiciones de exigencias climáticas y de tráfico.
8. Se recomienda hacer una divulgación adecuada de esta tecnología SUPERPAVE, además de profundizar en la data del POWER DATA – NASA buscando no solo la participación de futuros investigadores en el desarrollo de la misma si no también su consolidación como su uso frecuente para los ligantes asfálticos.
9. Se recomienda que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), previa evaluación pueda integrar la presente investigación dentro de las especificaciones técnicas nacionales a fin de validar los Grados de Desempeño (PG) encontrados a través del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agramonte Pacori, A. (2020). *Características volumétricas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con la aplicación del método Marshall y granulometría superpave en ciudad de Juiaca*. Perú.
- Aguilar Velasquez, D. A. (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave*. Arequipa.
- Alcalá Pascual, R. F., & Delgado Ramirez, C. J. (2020). *Mapa de grado de desempeño (PG) para ligantes asfálticos según clasificación superpave, aplicado a las regiones Lima, Ancash e Ica*. Lima: Universidad Particular Ricardo Palma.
- Arteaga Jaramillo, L. A. (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.
- Bisso F., R., & Escobar Z., W. (25 de 08 de 2021). *Asfaltos superpave evaluación de cementos asfálticos de refinería Conchan, ensayos de especificaciones convencional y superpave*. Obtenido de ASFATOS PETROPERU: <https://asfaltos.petroperu.com.pe/docs/especificaciones/RevEvaluacionCementosAsfalticos.pdf>
- Cominsky, R. J., Huber, G. A., Kennedy, T. W., & Anderson, M. (1994). *The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays*. Washington DC: Strategic Highway Research Program.
- Contreras López, C. (2007). *Mapa de recomendación de uso de Ligantes asfálticos según Superpave, Aplicado al tramo entre Santiago y Los Angeles*. Chile.
- Crespin Molina, R. A., Santa Cruz Jovel, I. E., & Torres Linares, P. A. (2012). *Aplicación del método Marshall y granulometría superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño*. El Salvador.
- Cusi Ramos, J. C., & Duran Egoavil, M. R. (2021). *Determinación del grado de desempeño – superpave de cementos asfálticos en control de fallas de pavimentos flexibles, carretera Huancavelica – Santa Inés*. Huancavelica.

- Escalante, J. (29 de septiembre de 2020). *Conferencia virtual de Determinación del PG del asfalto para los proyectos de Infraestructura vial*. Obtenido de Webinar CIP: <https://www.youtube.com/watch?v=OYrCzN7ahhA>
- Geo GPS Perú. (02 de 09 de 2021). *Mapa Climático del Perú - Clasificación de climas de Werren Thornthwaite*. Obtenido de geo gps Perú: <https://www.geogpsperu.com/2019/06/mapa-climatico-del-peru-clasificacion.html>
- Geo GPS Perú. (11 de 07 de 2021). *Redes viales departamentales Perú*. Obtenido de geo gps Perú: <https://www.geogpsperu.com/>
- Lorca Cortez, V. M. (2016). *Diseño volumétrico de una mezcla asfáltica en caliente mediante la metodología superpave*. Chile.
- Mc Gennis, R. B., Anderson, R. M., Kennedy, T. w., & Solaimanian, M. (s.f.). *Background of Superpave asphalt mixture design and analysis*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/013177.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2019). *Mapa vial Arequipa*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (01 de 09 de 2021). *Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional*. Obtenido de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=estaciones>
- Mohseni, A. (1996). *LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperature Models*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/97103/97103.pdf>
- NASA POWER. (2021). *Prediction Of Worldwide Energy Resources*. Obtenido de The power project: <https://power.larc.nasa.gov/>
- Ortiz Medina, H. G. (2020). *Análisis del clima para la predicción de grados de desempeño empleando el método superpave en la carretera – tramo Chincha Alta - Huancavelica*. Lima: Universidad San Martín de Porres.
- Provias Nacional. (2016). *Expediente técnico para el mejoramiento de la red vial departamental Moquegua-Arequipa, Tramo MO-108: Cruz de Flores, Distrito*

Torata, Omate, Coalaque, Puquina, Limite departamental Pampa Usuña, Moquegua; Tramo AR-118, Arequipa. Moquegua-Arequipa.

Rubio Torres, E. S. (2018). *Metodología para la construcción de mapas de temperatura basada en la influencia termo-topográfica y el grado de desempeño (PG) aplicada en la sección de cementos asfálticos*. México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Sampieri Hernández, R., Collado Fernández, C., & Lucio Baptista, P. (2003). *Metodología de la investigación*. Mexico D. F.: MacGray-Hill Interamericana. Obtenido de <http://metodos-comunicacion.sociales.uba.ar/wp-content/uploads/sites/219/2014/04/Hernandez-Sampieri-Cap-1.pdf>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2021). *Datos meteorológicos*. Obtenido de SENAMHI: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	ESCALA DE MEDICION	
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	Variable Independiente (X):	DIMENSIONES	ESCALA DE MEDICION	Instrumento
¿Se podría elaborar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según la clasificación Superpave en las regiones de Arequipa - Moquegua?	Establecer un Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para seleccionar ligantes asfálticos según la clasificación Superpave en las regiones de Arequipa - Moquegua	Con los datos obtenidos en SENAMHI Y POWER DATA NASA se puede confeccionar el Mapa de Grado de Desempeño (PG) aplicando los modelos matemáticos del SHRP y LTPP para ligantes asfálticos según a la clasificación Superpave en las regiones de Arequipa - Moquegua	Modelos matemáticos para ligantes asfálticos	SHRP y LTPP		Cálculos matemáticos
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	Variable dependiente (Y):			Base de Datos de SENAMHI y POWER DATA NASA de las estaciones meteorológicas
1. ¿Cuáles componentes que se necesitan para calcular el grado de desempeño (PG) para la clasificación Superpave en las regiones Arequipa - Moquegua ?	1. Identificar los componentes que se necesitan para calcular el grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación Superpave en las regiones de Arequipa - Moquegua	1. Los componentes identificados permiten calcular el grado de desempeño (PG) de acuerdo a la clasificación superpave.		Temperaturas	°C	
2. ¿Cuáles son las diferencias de los valores entre los modelos matemáticos existentes del Grado de Desempeño (PG) aplicados en las regiones Arequipa - Moquegua?	2. Establecer las diferencias entre los valores de los modelos matemáticos existentes del Grado de Desempeño (PG) aplicados en las regiones de Arequipa - Moquegua	2. Son los modelos matemáticos más recientes los cuales nos dan los valores más conservadores para la elección del ligante asfáltico en las regiones de Arequipa - Moquegua	Mapa de grado de desempeño (PG)			
3. ¿Cuáles serán las correcciones en función al tráfico y la velocidad para el Grado de Desempeño (PG) en carreteras específicas en la región de Arequipa - Moquegua.	3. Aplicar las correcciones al mapa de Grado de Desempeño (PG) en función al tráfico y la velocidad en carreteras específicas en la región de Arequipa - Moquegua.	3. Las correcciones en función al tráfico y la velocidad modifican el Grado de Desempeño (PG) en carreteras específicas en la región de Arequipa - Moquegua.				

Fuente: Propia

Anexo 2. Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Machahuay – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: MACHAHUAY

Latitud: -15.6532

Longitud: -72.5032

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	21.8	21	20.5	20.5	20.5	20.5	20.2	2
2002	23	23	22.5	21	20.5	20.5	20.5	0.1
2003	22.5	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.2	1.3
2004	22.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	2
2005	22.5	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.1	1.5
2006	24	22.5	21.5	21.5	21.5	21	21	0.1
2007	22.2	22.2	22	22	21.8	21.6	21.5	-5
2008	22	21.5	21.5	21.5	21.1	21	21	-2
2009	22.5	22.4	22.2	22.2	22.2	22.1	22	1
2010	23	22.7	22.6	22.6	22.2	22.2	22.2	1.6
2011	22	21.8	21.2	21	21	21	20.8	2
2012	23.3	22.4	22.4	22.2	22.2	22.2	22	2
2013	22.1	21.6	21.3	21.3	21.1	21.1	21	-2.3
2014	20.6	20.1	20.1	19.8	19.7	19.7	19.6	3.7
2015	20.8	20.8	20.8	20.4	20.3	20.2	20.2	-2.38
2016	20.9	20.9	20.8	20.7	20.6	20.6	20.2	-3.05
2017	21.2	21.2	20.5	20	20	19.8	19.2	-2.28
2018	21.5	21.5	20.9	20.9	20.4	20.1	20.1	-2.76
2019	21.1	20.6	20.1	20.1	19.3	19.1	19	-2.7
2020	20.2	20.2	20.1	20.1	19.9	19.9	19.9	-2.44

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo 3. Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Imata– Arequipa. 2001 - 2020

Estación: IMATA

Latitud: -15.8427

Longitud: -71.0906

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	18.8	18.6	18.4	18.4	18	17.8	17.6	-16
2002	17.6	17.4	17.4	17.2	17	17	17	-15
2003	18.6	18.4	18.4	18.2	18.2	18	17.6	-16.4
2004	18.2	18	17.6	17.4	17.4	17.4	17.4	-16.6
2005	17.8	17.8	17.4	17.2	17.2	17	17	-18.4
2006	18.2	18.2	18	17.6	17.2	17.2	17.2	-18
2007	18.6	18.4	17.6	17.4	17.2	17.2	17.2	-16.2
2008	18.2	18	17.8	17.6	17.4	17.4	17.2	-18
2009	18.4	18.2	18	17.6	17.2	17.2	17	-19.8
2010	18.6	18.2	18.2	18.2	17.8	17.6	17.2	-17.8
2011	18.2	18.2	18.2	18	17.8	17.8	17.8	-15.8
2012	18.6	18.4	18	18	17.4	17.2	17.2	-18
2013	17.8	17.4	17.4	17.4	17.4	17.2	17	-16.8
2014	19	18.8	18.6	18	17.8	17.8	17.6	-16.4
2015	17.2	17.2	17.2	16.8	16.4	16.4	16.2	-15.8
2016	20.1	19.2	18.5	18.5	18	17.1	16	-15.6
2017	18.9	17.3	17.2	17.2	16.8	16.8	16.5	-15.1
2018	20.3	19.1	18.8	18.3	18.1	17.8	17.4	-16.7
2019	20.1	19.2	18.6	18.3	17.9	17.1	16.9	-15.3
2020	19.1	19.1	18.6	18.1	17.6	17.3	17.2	-16.8

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 4 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Pillones – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: PILLONES

Latitud: -15.9813

Longitud: -71.2167

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20.4	20.1	19.1	18.5	18.3	18.1	18.1	-5.38
2002	20.1	19.9	19.5	19.2	18.1	17.9	17.8	-6.02
2003	17.6	17.6	17.4	17.2	16.8	16.8	16.8	-17.6
2004	17.2	16.8	16.8	16.8	16.8	16.4	16.4	-15.4
2005	17.8	17	16.6	16.4	16.2	16	15.8	-17.8
2006	18.4	18	17.8	17.8	17	16.8	16.8	-17.2
2007	17.8	17.2	17	17	16.8	16.8	16.6	-16
2008	18.8	17.6	17.2	17.2	17.2	17	17	-17.8
2009	18.8	18.2	17.6	17.2	17.2	17	16.8	-19.2
2010	17.2	16.8	16.6	16.2	16.2	16	16	-17.6
2011	17.8	16.1	16.3	15.9	15.8	15.9	16	-15.8
2012	19.8	18	17	16.8	16.8	16.6	16	-18.4
2013	18	18	18	17.6	17.6	17.4	17.4	-16
2014	17.4	16.4	16.4	16	16	15.6	15.6	-9.6
2015	21.2	21	20.1	19.9	19.5	19.2	19.1	-5.69
2016	20.9	20.3	20.1	20	19.9	19.8	19	-5.58
2017	19.8	19.8	19	19	18.9	18.6	18.6	-5.12
2018	20.2	20.1	19.9	19.8	19.8	19.5	19.2	-4.74
2019	20.4	20.4	19.6	19.6	19.4	19	19	-5.33
2020	21	20.8	20.5	19	19	19	18.9	-4.78

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 5 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Sibayo – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: SIBAYO

Latitud: -15.4892 Longitud: -71.4570

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	23.9	23.5	23.5	23.3	23.3	23.3	23.3	-10.6
2002	23.1	22.9	22.9	22.8	22.7	22.5	22.4	-9.4
2003	24.9	24.8	24.4	23.7	23.7	23.7	23.5	-11.4
2004	24.8	23.8	23.6	23.5	23.5	23.3	23.3	-11.4
2005	24.6	24.5	23	23	22.9	22.9	22.9	-12.3
2006	23.7	23.4	23.2	23.2	23	22.9	22.9	-12.6
2007	24.4	24.4	23.4	23.3	23.1	22.9	22.8	-10.3
2008	23.3	23.2	23.1	23	22.9	22.9	22.8	-12
2009	23.6	23.4	23.2	23.2	22.8	22.8	22.7	-12.6
2010	24.5	24.3	24.3	23.5	23.5	23.4	22.9	-12.3
2011	24.1	24	23.9	23.8	23.7	23.6	23.6	-10.6
2012	23.7	23.5	23.5	23.3	23.3	23.2	23.1	-10.4
2013	24.4	24.4	24.2	24.2	24.1	24	24	-10.4
2014	24.7	24.3	23.2	22.5	22.2	21.8	21.8	-5.2
2015	20.5	20.4	20.3	19.9	19.9	19.5	19.3	-7.2
2016	20.6	20.1	19.9	19.8	19.7	19.6	19	-7.6
2017	19.7	19.5	19.5	19.3	19.2	18.3	18.1	-6.67
2018	19.4	19.2	19.1	19	19	18.4	18.2	-6.1
2019	19.8	19.4	18.6	18.5	18.2	18.2	18.1	-6.02
2020	21.5	20.4	20.3	20.1	19.8	19.8	19.2	-6.35

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 6 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Yanaquihua – Arequipa.2001-2020

Estación: YANAQUIHUA

Latitud: -15.7765

Longitud:

-72.8758

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	24.6	24.2	24.2	24.2	24	24	24	5
2002	25.6	25	25	24.6	24.6	24.6	24.4	4.8
2003	25.4	25.2	25	24.8	24.8	24.6	24.6	3
2004	24.2	24.2	24	23.8	23.8	23.8	23.6	5
2005	23.8	23.4	23.4	23.2	23	22.8	22.8	4.8
2006	23.8	22.8	22.2	22.2	22.2	22.2	22.2	2.2
2007	23.6	23.4	23.4	23	23	22.8	22.2	3.8
2008	22.8	22.6	22.4	22.2	21.8	21.8	21.8	5
2009	23.6	23.6	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	4.2
2010	25.2	23.6	23.4	23	22.8	22.8	22.8	4.2
2011	24.2	23.6	23.2	22.4	22.4	22	21.8	3.8
2012	23.2	23	23	22.6	22.6	22.4	22.4	2.8
2013	22.6	22.6	22.4	22.4	22.2	22	22	0.6
2014	26.9	26.9	26.9	26.8	26.8	26.5	25.9	3.01
2015	27.9	27.9	27.9	27.8	27.8	27.7	26.9	2.76
2016	27.9	27.8	27.6	27.5	27.4	27.1	27.1	3.23
2017	27.4	27	26.5	26.4	26.4	26.2	26.1	3.06
2018	27.1	26.9	26.9	26.8	26.4	26.2	26.1	3.34
2019	27.1	27.1	27.1	27	26.9	26.8	26.1	2.69
2020	27.6	27.4	27.2	26.4	26.2	26	26	3.37

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 7 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Pullhuay – Arequipa. 2001-2020

Estación: PULLHUAY (AYAHUASI)

Latitud: -15.1459

Longitud:

-72.7439

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	23.6	23	22.9	22.9	22.9	22.8	22.1	1.31
2002	23.4	23.1	22.6	22.3	22.1	22	22	2.56
2003	22.9	22.8	22.6	22.4	22.3	22.2	22.2	1.2
2004	23	22.8	22.8	22.6	22.6	22.6	22.6	1.4
2005	20.4	18.2	19.6	18	16.8	20	19.6	1.4
2006	23.2	22.8	22.8	22.6	22.2	22.2	22	1.2
2007	23.6	23.4	23.4	23.2	22.8	22.4	22.4	1
2008	23.2	22.8	22.8	22.6	22.6	22.4	22	1
2009	22.8	22.8	22.8	22.6	22.6	22.6	22.4	1.2
2010	23.4	23	22.8	22.8	22.8	22.6	22.6	1.6
2011	23	23	22.8	22.6	22.6	22.4	22.4	2
2012	22.8	22.2	22.2	22	22	22	22	1.8
2013	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.6	1.6
2014	22	22	21.6	21	21	21	21	2.6
2015	22.2	22.1	21.9	21.7	20.6	20.3	20.1	2.28
2016	22.4	22.3	22.1	22.1	20.8	20.5	20.2	1.51
2017	22.9	22.9	22.6	21.9	21.2	20.5	20	1.41
2018	22.6	22.4	21.8	21.7	21.6	20.9	20.6	1.74
2019	22.6	22.1	21.8	21.6	21.5	20.9	20.9	2.38
2020	22.6	22.2	22.1	21.2	21.1	20.8	20.2	1.62

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 8 Temp de los 7 días máx. y mín anual, EC Cotahuasi – Arequipa.2001-2020

Estación: COTAHUASI

Latitud: -15.2113

Longitud: -72.8933

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	26.4	26.2	26.2	26	25.8	25.6	25.6	5
2002	28	27.8	27.2	27	26.4	26.2	26.2	5.2
2003	27.4	27.4	26.8	26.8	26.8	26.8	26.6	2.2
2004	27.6	26.4	26.4	26.4	26	26	26	0.2
2005	27.2	27	26.4	26.4	26.2	26.2	26	2.8
2006	27	26.8	26.4	26.4	26.2	26	25.9	4.6
2007	26.9	26.8	26.7	26.6	26.6	26.6	26.6	4.2
2008	26.9	26.6	26.2	26.2	26	26	26	2.8
2009	27.6	27.6	27.4	27.2	27.2	27	26.6	6
2010	28.8	27.8	27.5	27.4	27.2	26.9	26.6	4.9
2011	26.6	26.6	26.6	26.4	26.4	26.3	26.3	4.2
2012	29	28.2	28	27.6	27.5	27.5	27.4	4.8
2013	28.4	28.2	28	28	28	27.6	27.6	5.2
2014	28.4	27.4	27.4	27	27	27	26.8	7.8
2015	27.6	27.1	26.9	26.9	26.8	26.8	26.7	4.88
2016	27.6	27.2	27.1	26.9	26.8	26.8	26.6	4.81
2017	26.9	26.5	26.2	25.9	25.9	25.8	25.8	4.7
2018	27.5	27.4	27.1	26.8	26.8	26.5	26.4	5.09
2019	27	26.8	26.6	26	25.9	25.9	25.5	5.77
2020	27.1	27.1	27.1	26.8	26.4	26.4	26.3	4.5

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 9 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC P. Blanca–Arequipa.2001-2020

Estación: PAMPA BLANCA

Latitud: -17.0716

Longitud: -71.7245

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	30.8	30.7	30.6	30.5	30.5	30.4	30.3	7.6
2002	30.4	29.9	29.9	29.8	29.7	29.6	29.6	7.5
2003	30.1	29.8	29.7	29.7	29.5	29.4	29.3	4.9
2004	30.8	30.8	30.4	30.4	30.4	30.2	30.2	8.4
2005	31.3	31	30.8	30.8	30.7	30.6	30.5	9
2006	32.4	32.4	31.6	31.4	31.2	31	31	9.8
2007	31.8	31.6	31.4	31.2	31.2	30.7	30.6	7.6
2008	33.8	33.4	33	33	32.8	32.8	32.6	8.6
2009	34	33.8	33.6	33.4	32.8	32.7	32.6	9.9
2010	33.4	33.4	33.2	33.2	33.1	33	32.9	7.9
2011	32.1	31.9	31.8	31.8	31.8	31.6	31.6	9.2
2012	32.4	31.8	31.8	31.6	31.5	31.4	31.4	10.8
2013	30.2	30.1	29.8	29.8	29.4	28.8	28.8	8.2
2014	31.4	31	30.9	30.8	30.6	30.6	30.6	10.2
2015	32.2	32	31.6	31.6	31.4	31.3	31.2	10.4
2016	26.5	26.3	25.9	25.8	25.8	25.6	25.6	12.35
2017	26.2	26.1	25.9	25.9	25.9	25.9	25.8	11.03
2018	25.8	25.6	25.5	25.5	25.4	25.1	25.1	11.69
2019	26.1	26.1	25.9	25.8	25.6	25.6	25.4	10.54
2020	26.1	26.1	25.9	25.9	25.8	25.7	25.7	11.25

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 10 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Salamanca–Arequipa.2001-2020

Estación: SALAMANCA

Latitud: -15.5029

Longitud: -72.8320

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	23	22.6	22.5	22.5	22.5	22.5	22	4.2
2002	22.8	22.8	22.6	22.5	22.2	22	22	3.8
2003	23.6	23.5	23	22.5	22.4	22	22	-0.4
2004	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.2	21.2	0.2
2005	21.2	21.2	21	21	21	21	20.8	2
2006	21.6	21.6	21.4	21.4	21.2	21.2	21.2	3.6
2007	21.2	21.2	21	20.8	20.8	20.8	20.6	1.6
2008	20.4	20	20	19.8	19.8	19.8	19.6	0.8
2009	21.4	21	21	20.9	20.8	20.8	20.6	1.6
2010	21.5	21.5	21.4	21.2	21	21	20.8	2.4
2011	20	20	19.8	19.8	19.8	19.8	19.6	2.6
2012	21.8	21.6	21.6	21.4	21.4	21.2	21	4.6
2013	21.6	21	21	21	21	21	21	0.2
2014	21.2	20.4	20.4	20.4	20.2	20	20	4.8
2015	26.8	26.1	26.1	26	25.9	25.5	25.4	1.96
2016	26.2	26.1	26	25.1	25.1	25.1	25.1	2.3
2017	25.8	25.2	25.2	25.2	24.9	24.8	24.8	2.2
2018	26.8	26.6	26.6	26.4	25.4	25.2	25	2.48
2019	25.9	25.6	25.6	25.4	25	25	25	1.98
2020	26.1	26.1	26	26	25.6	25.6	25.4	2.05

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 11 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Machahuay–Arequipa.2001-2020

Estación: MACHAHUAY

Latitud: -15.6532

Longitud: -72.5032

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	21.8	21	20.5	20.5	20.5	20.5	20.2	2
2002	23	23	22.5	21	20.5	20.5	20.5	0.1
2003	22.5	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.2	1.3
2004	22.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	2
2005	22.5	21.8	21.5	21.5	21.5	21.2	21.1	1.5
2006	24	22.5	21.5	21.5	21.5	21	21	0.1
2007	22.2	22.2	22	22	21.8	21.6	21.5	-5
2008	22	21.5	21.5	21.5	21.1	21	21	-2
2009	22.5	22.4	22.2	22.2	22.2	22.1	22	1
2010	23	22.7	22.6	22.6	22.2	22.2	22.2	1.6
2011	22	21.8	21.2	21	21	21	20.8	2
2012	23.3	22.4	22.4	22.2	22.2	22.2	22	2
2013	22.1	21.6	21.3	21.3	21.1	21.1	21	-2.3
2014	20.6	20.1	20.1	19.8	19.7	19.7	19.6	3.7
2015	20.8	20.8	20.8	20.4	20.3	20.2	20.2	-2.38
2016	20.9	20.9	20.8	20.7	20.6	20.6	20.2	-3.05
2017	21.2	21.2	20.5	20	20	19.8	19.2	-2.28
2018	21.5	21.5	20.9	20.9	20.4	20.1	20.1	-2.76
2019	21.1	20.6	20.1	20.1	19.3	19.1	19	-2.7
2020	20.2	20.2	20.1	20.1	19.9	19.9	19.9	-2.44

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 12 Temper. de los 7 días máx. y mín anual, EC Choco – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: CHOCO

Latitud: -15.577 Longitud: -72.1296

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	29.2	28.8	28.6	28.6	28.2	28.2	28.2	7.6
2002	28.6	28.6	28.4	28.4	28.2	28.2	28.2	7.6
2003	30.2	29.6	29.6	29.4	29.4	29.2	29.2	6.8
2004	29.2	28.8	28.8	28.6	28.6	28.6	28.6	6.8
2005	30	30	30	30	29.8	29.8	29.8	6.6
2006	30.2	30.2	29.8	29.6	29.6	29.6	29.4	8
2007	31.2	31	30.8	30.4	30.2	30.2	30.2	7.8
2008	30.8	30.6	30.4	30.2	30.2	30.2	30.2	6.8
2009	30.8	30.6	30.6	30.4	30.4	30.2	30.2	7.2
2010	30.2	30	30	29.8	29.8	29.8	29.6	7.8
2011	29.8	29.8	29.6	29.2	29.2	29	29	6.6
2012	29	29	29	29	28.8	28.6	28.6	5.8
2013	30.4	30.2	30	30	29.8	29.8	29.8	7.4
2014	28.8	28.8	28.8	28.6	28.6	28.6	28.6	10.2
2015	29.5	29.5	29.3	29.1	29	28.8	28.8	5.17
2016	28.9	28.9	28.6	28.4	28.3	28.2	28.2	5.74
2017	27.8	27.8	27.6	27.1	27.2	27.2	27	4.72
2018	28.5	28.5	28.4	27.8	27.8	27.7	27.7	4.59
2019	28.1	28.1	27.8	27.4	27.3	27.3	27.3	5.35
2020	28.5	28.4	27.8	27.8	27.7	27.7	27.7	4.95

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 13 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chachas –Arequipa. 2001 - 2020

Estación: CHACHAS

Latitud: -15.5025

Longitud: -72.2686

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	23.9	23.9	23.5	23.5	23.4	23.2	23.1	2.76
2002	22.5	22.5	22.4	22.2	22.1	22	22	2.99
2003	23.6	23.5	23.2	22.9	22.8	22.8	22.5	3.09
2004	28.8	28.2	27.8	25.8	25.4	25	24.8	2.4
2005	27.2	27	26.8	26.4	26.4	26.2	26.2	0.2
2006	28.2	27.4	27	26.4	26.2	25.4	25.2	0.4
2007	27.2	25.8	25.4	25.2	25.2	25.2	25.2	-0.8
2008	29	27.4	27.2	26.8	25.6	25.4	25.4	0.2
2009	27.6	26.2	26	25.6	25.4	25.4	25.2	-0.4
2010	25	24.6	24.6	24.4	24.4	24.2	24.2	1.2
2011	25	24.4	24.2	24.2	24	23.6	23	2
2012	24.2	23.8	23.4	23.4	23.4	23.2	23.2	2.6
2013	26.6	24.6	24	23.6	23.6	23.2	23.2	0.8
2014	23.6	23.6	23.2	23	23	22.8	22.6	4
2015	22.8	22.8	22.6	22.4	22.4	22.1	22	2.38
2016	22.7	22.7	22.4	22.4	22.4	22.3	22.1	3.05
2017	24.2	24.2	24.1	23.8	23.8	23.7	23.7	2.28
2018	23.9	23.9	23.6	23.6	23.2	23.2	23	2.76
2019	23.1	23.1	23	22.9	22.9	22.9	22.9	2.7
2020	22.5	22.5	22.4	22.1	22	22	22	2.44

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 14 Temper. de los 7 días máx. y mín anual, EC Ayo – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: AYO

Latitud: -15.6833

Longitud: -72.2704

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28	28	1.5
2002	29.1	28.7	28.7	28.4	28.2	28	28	5
2003	29.4	28.9	28.8	28.7	28.7	28.7	28.6	6
2004	29.8	29.6	29.4	29.3	29.3	29.3	29.3	6
2005	31	30.2	30	30	30	30	29.9	4
2006	31	30.2	30	29.9	29.7	29.7	29.6	4.5
2007	31.2	31	30.6	30.4	30.4	30.4	30.2	6
2008	30.2	30	30	30	30	30	30	1.5
2009	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	3.5
2010	31.5	31	31	31	31	31	30.8	1
2011	32.2	31.6	31.5	31.5	31.4	31.4	31.3	0.5
2012	32.2	32.2	32.1	31.9	31.9	31.7	31.5	1.3
2013	31.4	31	31	31	31	31	30.6	2.4
2014	30.4	30.4	30.4	30.4	30.2	30.2	30.2	7.6
2015	31	31	30.7	30.4	30.2	30.1	30	2.38
2016	31	30	30.8	30.3	30.3	30.3	30.1	3.05
2017	31	31	30.8	30	30	29.5	29.5	2.28
2018	30.5	30.1	29.2	28.2	28.1	28.1	28	2.76
2019	30.1	29.5	29.1	28.5	28.5	28.4	28.2	2.7
2020	29.5	29.5	29.4	29.1	29.1	28.8	28.8	2.44

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 15 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Andahua – Arequipa. 2001-2020

Estación: ANDAHUA

Latitud: -15.5009

Longitud: -72.3551

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20	20	19.2	19.2	19.2	19	19	4
2002	20.2	20	20	20	20	20	19.3	-1
2003	23.2	21.2	21.1	20.2	20.2	20.2	20.2	-1
2004	22.2	21	20.2	20	20	20	20	-1
2005	22	21	21	20.2	20.2	20.2	20.2	-0.2
2006	22	21	20.2	20	19.2	19.2	19.2	-1
2007	21	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	-2.2
2008	20.2	20	19.2	19.2	19.2	19.2	19.2	-1.2
2009	21.2	21	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	-0.2
2010	22	21	21	20.3	20.2	20.2	20.2	0.2
2011	21.2	21	21	20.2	20	19.3	19.2	-1
2012	20.2	20.1	20	20	20	19.3	19.3	-0.2
2013	21	20.2	20	20	20	20	20	-0.2
2014	21	19.3	19.2	19.1	19	19	19	1
2015	21	20.6	20.6	20.2	20.1	20.1	20	-2.38
2016	20.8	20.8	20.6	20.5	20.2	20.2	20.2	-3.05
2017	20	20	19.9	19.9	19.9	19.8	19.8	-2.28
2018	20.9	20.9	20.8	20.6	20.1	20.1	20.1	-2.76
2019	20.5	20.4	20.4	20.2	19.8	19.7	19.7	-2.7
2020	20.7	20.5	20.4	20.3	19.8	19.8	19.7	-2.44

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 16 Temper. de los 7 días máx. y mín anual, EC Aplao – Arequipa. 2001-2020

Estación: APLAO

Latitud: -15.0729

Longitud: -72.4923

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	33.3	32.9	32.8	32.3	32.3	32.2	32.1	5.3
2002	33.8	33.2	33.1	32.8	32.7	32.6	32.6	6.5
2003	32.4	32.1	31.8	31.7	31.6	31.4	31.3	6.2
2004	32.6	31.9	31.9	31.8	31.8	31.6	31.6	4.8
2005	33.2	33.2	32.8	32.2	32.2	32.1	32	4.8
2006	33	32.4	31.9	31.8	31.8	31.7	31.7	6
2007	31.4	31.4	31.2	31.1	31.1	31	31	5
2008	31.9	31.8	31.8	31.7	31.7	31.6	31.6	5.1
2009	32.4	31.9	31.5	31.3	31.2	31.2	31.2	5.2
2010	34.2	33.2	33.1	32.2	32	31.9	31.6	4.1
2011	31.6	31.4	31.2	31.2	31.2	31.2	31.1	5.2
2012	34.4	33.9	33.6	33.5	33.4	33.4	33.4	6.7
2013	32.8	32.5	32.4	32.1	31.8	31.8	31.7	4.8
2014	32.9	32.9	32.7	32.6	32.5	32.5	32.1	6
2015	33.5	33	32.8	32.7	32.5	32.5	32.4	7
2016	30.8	30.6	30.4	29.8	29.8	29.7	29.6	6.51
2017	29.9	29.9	28.6	28.2	28.2	28.1	28	6.41
2018	30.2	30.2	30.1	29.8	29.5	29.4	29.2	6.74
2019	29.6	29.6	29.4	29.1	29.1	29	29	7.38
2020	29.8	29.8	29.6	29.4	29.3	29.2	29.1	6.62

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 17 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC P. Atico – Arequipa. 2001-2020

Estación: PUNTA ATICO

Latitud: -16.2317

Longitud: 73.6964

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	28.6	28	27.9	27.8	27.8	27.7	27.6	12.8
2002	26.6	26.6	26.4	26.4	26.4	26.4	26.3	12.5
2003	28	27.1	27	26.6	26.6	26.6	26.6	12.7
2004	27.7	27.4	27.2	27	26.8	26.8	26.8	12.8
2005	28.5	28	27.8	27.6	27.2	27.2	27	12
2006	27.4	27.2	27.2	27	27	27	26.6	13.5
2007	28.5	27.6	27.5	27.5	27	26.8	26.6	11.5
2008	27.2	27	27	26.8	26.6	26.4	26.4	12.5
2009	28.5	27.8	27.6	27.4	27.2	27	27	12.2
2010	28.2	28	27.8	27.4	27.4	27.2	27	11.5
2011	27.8	27.2	26.6	26.6	26	26	25.8	12
2012	28.8	27.8	27.2	27	27	27	27	12.7
2013	28.6	28.2	28	27.8	27.4	27.2	27	12
2014	27.6	27	27	27	26.6	26.6	26.6	16
2015	21.8	21.8	21.7	21.4	21.4	21.3	21.3	9.68
2016	25.8	25.8	25.6	25.5	25.5	25.2	25.1	9.79
2017	25.4	25.4	25.2	25.2	24.8	24.7	24.6	9.08
2018	24.9	24.9	24.6	24.2	24	24	23.8	10.45
2019	25.6	25.5	25.5	25.1	25.1	25	24.8	8.6
2020	25.8	25.7	25.7	25.3	24.8	24.7	24.6	9.25

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 18 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Caraveli – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: CARAVELI

Latitud: -15.7757

Longitud: -73.3626

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	32	31.8	31.6	31.2	31.1	31	31	5.6
2002	32	31.5	31.5	31.1	31.1	31	31	5.8
2003	32	32	31.5	31.5	31.2	31.2	31.1	7.2
2004	32.6	32	32	31.5	31.5	31.5	31.5	6.4
2005	31.7	31.5	31.5	31.4	31.4	31.2	31.2	6.8
2006	33.1	32.3	32.1	32	31.7	31.4	31.3	6.2
2007	32.6	32.5	32	32	32	31.9	31.9	6.6
2008	32.4	31.8	31.7	31.5	31.5	31.5	31.4	6.6
2009	33	32.9	32.9	32.6	32.5	32.4	32	6.4
2010	33.5	33.5	33	32.6	32.2	32	32	5.2
2011	32.6	31.8	31.8	31.6	31.6	31.6	31.6	6
2012	32.2	32.2	32.2	31.8	31.8	31.6	31.6	5.6
2013	32.2	31.8	31.8	31.8	31.6	31.4	31.4	6.2
2014	31.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.6	30.6	7.6
2015	27.8	27.8	27.6	27.5	27.5	27.4	27.4	7.76
2016	28.8	28.5	28.5	28.1	28.1	27.8	27.7	8.23
2017	26.9	26.9	26.6	26.1	26.1	26	26	8.06
2018	26.8	26.8	26.4	26.2	26.2	26.1	26.1	8.34
2019	27.2	27.2	27.1	27	27	26.9	26.9	6.69
2020	27.2	27.1	27.1	27	26.9	26.9	26.9	8.37

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 19 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC La Joya – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: LA JOYA

Latitud: -16.5836 Longitud: -71.9246

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	30.6	30.4	30.2	30.2	30.2	30.2	29.9	2.6
2002	31	30.4	30.2	30.2	30.2	30	30	3
2003	31.6	30.6	30.6	30.6	30.2	30.2	30.2	1.8
2004	31	30.4	30.4	30.2	30.2	30.2	30.2	3
2005	31.2	30.8	30.6	30.6	30.4	30.4	30.4	0.4
2006	31.8	31.2	31	30.8	30.6	30.6	30.4	3.4
2007	30.4	30.2	30.2	29.8	29.8	29.8	29.6	1.4
2008	31.2	30.8	30.8	30.6	30.4	30.4	30.4	1.2
2009	32	32	31.8	31.8	31.6	31.6	31.6	0.8
2010	32.6	32.6	31.2	31.2	31	31	30.8	0.2
2011	31.2	31.2	30.8	30.4	30.2	30.2	30.2	0.4
2012	31.8	31.4	31.2	31.2	31	30.8	30.8	2.4
2013	32.6	31.6	31.4	31.2	31.2	31	30.6	2.2
2014	29.8	29.6	29.6	29.6	29.6	29.4	29.4	5
2015	27.5	27.4	27.3	27.1	26.9	26.7	26.6	6.48
2016	26.4	26.4	26.3	26.3	26.1	26	25.8	8.22
2017	22.9	22.8	22.8	22.8	22.5	22.3	22.2	6.44
2018	25.8	25.8	25.8	25.4	25.4	25.2	25.1	8.1
2019	26.5	26.5	26.4	26.4	26	26	25.7	6.01
2020	26.8	26.2	26.2	26	26	25.4	25.4	6.34

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 20 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC P. Majes–Arequipa. 2001-2020

Estación: PAMPA DE MAJES

Latitud: -16.3357

Longitud: -72.1527

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	28.6	28.2	28	28	28	27.8	27.6	4.6
2002	28.8	28.8	28.6	28.6	28.4	28.2	28	6
2003	28.4	28	27.8	27.8	27.6	27.6	27.4	5.2
2004	27.6	27.4	27	27	26.8	26.8	26.8	4.6
2005	29.6	28.8	28.2	28.2	27.8	27.8	27.6	3
2006	29	27.8	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	1.6
2007	27.8	27.4	27.4	27.4	27.4	27.2	27.2	3
2008	29.6	28.2	28	27.8	27.6	27.6	27.4	4.2
2009	29.6	29.4	29.2	28.8	28.8	28.8	28.8	4
2010	31	28.8	28.6	28	27.9	27.7	27.6	5
2011	29.2	28.8	28.4	28.2	28	28	27.8	4.2
2012	28.6	28.4	28.2	28	28	28	28	4.4
2013	29.4	29.2	29	28.4	28.4	28.3	28.2	4.2
2014	27.8	27	27	26.8	26.7	26.6	26.5	9
2015	27.5	27.4	27.3	27.3	27	28.7	28.6	6.48
2016	26.4	26.4	26.3	26.1	26.1	26	26	8.22
2017	25.5	25.4	25.4	25.3	25	25	24.8	6.44
2018	26.1	25.8	25.8	25.3	25.2	25.2	25	8.1
2019	26.6	26.4	26.3	26.1	26.1	26.1	25.9	6.01
2020	26.5	26.4	26.4	26.1	26	25.5	25.5	6.34

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 21 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Huambo – Arequipa. 2001-2020

Estación: HUAMBO

Latitud: -15.732

Longitud: -72.1069

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	19.1	18.9	18.9	18.5	18.1	18.1	18	1.2
2002	20.9	20.9	20.3	20.1	20.1	20.1	20.1	1
2003	21.4	21	20.9	20.8	20.7	20.7	20.6	1.8
2004	22.1	21.9	21.5	21.4	21.3	21.1	21.1	0.5
2005	21.9	21.4	21.1	21.1	21	20.7	20.7	0.4
2006	21.8	21.1	20.5	20.4	20.4	20.3	20.2	0.4
2007	23	21.5	21.5	21.4	21.2	21.1	21.1	0.1
2008	21.5	21.3	21.2	21.2	21.2	21.1	21.1	0.1
2009	22.5	22.5	22.3	22.2	22	21.9	21.8	0.2
2010	22.5	21.9	21.8	21.8	21.7	21.5	21.5	0.2
2011	24	23	22.2	22.1	21.7	21.5	21.5	0.2
2012	22.9	22.5	22.1	21.8	21.7	21.7	21.6	-0.5
2013	22.7	22	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	-1.8
2014	22.9	21.7	21.5	21.4	21.3	21.2	20.9	0.5
2015	20.6	20.6	20.3	20.3	20	19.8	19.7	1.17
2016	20.8	20.8	20.7	20.4	20.4	20.3	20	-0.74
2017	19.7	19.7	19.5	19.2	19.2	19	18.9	1.72
2018	20.4	20.3	20	20	19.9	19.9	19.8	1.59
2019	19.9	19.9	19.8	19.8	19.6	19.5	19.3	1.35
2020	20.4	20.4	20.1	19.6	19.6	19.5	19.5	-0.95

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 22 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC La Angostura – Arequipa.
2001-2020

Estación: LA ANGOSTURA

Latitud: -15.1667 Longitud: -71.6333

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20.4	20.4	19.8	19.8	19.8	19.8	19.6	-11.4
2002	20.2	20	19.6	19.6	19.6	19.6	19.2	-10.1
2003	20.4	20.2	20	19.9	19.8	19.7	19.6	-12.4
2004	20.4	20.4	20.4	19.8	19.8	19.8	19.7	-12
2005	20.1	20.1	20	20	19.9	19.9	19.8	-14.4
2006	20.2	20.2	19.6	19.4	19.2	19.2	19.2	-14.2
2007	20.2	20	20	19.8	19.8	19.8	19.6	-13.4
2008	19.9	19.8	19.8	19.6	19.6	19.6	19.4	-14.3
2009	21.8	21.4	20	20	19.9	19.8	19.8	-14.6
2010	21.4	21.1	20.8	20.6	20.4	20.4	20.4	-14
2011	21.4	21.2	20.8	20.8	20.6	20.4	20.4	-13.3
2012	21.2	21.2	21	21	20.8	20.4	20.2	-14.6
2013	20.6	20.4	20.3	20.1	19.8	19.8	19.6	-13.4
2014	21.2	21	20.8	20.6	20.6	20.2	20	-11.2
2015	19.8	19.6	19.4	19.4	19.3	19.3	19	-14.6
2016	20.1	20.1	19.9	19.9	18.2	18.2	18	-14.42
2017	19.6	19.6	18.7	18.7	18.7	18.7	18.7	-14.15
2018	19.2	19.2	19	19	19	18.9	18.9	-13.71
2019	19.9	18.6	18.6	18.8	18.6	18.3	18.3	-13.35
2020	19.9	19.8	19.7	19.7	19.7	19.6	19.6	-13.89

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 23 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chivay – Arequipa. 2001 - 2020

Estación: CHIVAY

Latitud: -15.6333

Longitud: -71.6017

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	25.4	25	24.9	24.6	24.3	24.2	24.1	-4.8
2002	24.6	24.4	24.3	24.2	24.2	24	23.9	-4.4
2003	21.7	17	19.4	18	19.8	19.4	16.8	-4.6
2004	24.9	24.8	24.1	23.9	23.6	23.5	23.4	-5.2
2005	26.8	25.6	25.5	25.4	24.8	24.8	24.6	-5
2006	24.6	24	24	23.5	23.4	23.2	22.8	-5.2
2007	25.5	25.2	25	24.6	24.5	24.4	24.4	-5.4
2008	25.9	25	25	25	24.8	24.6	24.4	-4.6
2009	26.2	26	25.2	25.2	25.2	25	25	-5.4
2010	25	25	25	25	25	24.9	24.8	-4.6
2011	26.6	25	25	24.8	24.6	24.4	24.4	-4.4
2012	24.6	24.6	24.4	24.4	24	23.8	23.8	-4.4
2013	25.4	25.2	24.8	24.6	24.6	24.4	24.2	-4
2014	24.2	23.4	23.2	23	23	22.8	22.4	-0.6
2015	20.6	20.2	20.1	19.9	19.9	19.9	19.9	-5.17
2016	20.9	20.8	20.8	20.8	20.1	20.1	20.1	-5.74
2017	19.7	19.6	19.6	19.6	19.2	19.2	19.2	-4.72
2018	20.5	20.5	20.5	20.2	20.2	19.9	19.9	-4.59
2019	20.3	20.3	20.2	19.8	19.8	19.9	19.9	-5.35
2020	20.3	20.3	20.8	19.6	19.6	19.6	19.6	-4.95

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 24 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Orcopampa–Arequipa.2001-2020

Estación: ORCOPAMPA

Latitud: -15.2639

Longitud: -72.3410

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	19.9	19.8	19.8	19.8	19.7	19.7	19.7	-2.76
2002	20.6	20.4	20.2	20.2	20.2	20.2	20	-2.99
2003	21.8	21.8	21.4	21	21	21	20.8	-3.09
2004	22.6	22.6	22.6	22.2	22.2	22	21.8	-9.4
2005	23	22.2	22.2	22	21.8	21.8	21.6	-7.2
2006	20.6	20.4	20.2	20.2	20.2	20.2	20	-7.6
2007	21.8	21.8	21.4	21	21	21	20.8	-8.4
2008	23	23	23	22.4	22	21.6	21.6	-9
2009	23	22.6	22.6	22	21.8	21.8	21.8	-8.4
2010	23.4	23	22.6	22.4	22.4	22.2	22.2	-7.2
2011	24.4	23.8	22.4	22.2	22	21.8	21.6	-6.8
2012	24.4	24	24	23.6	23	23	23	-6
2013	25.4	24.8	24.8	24.6	24.6	24.6	24.2	-4
2014	20.1	18.5	18.4	18.2	17.9	16.4	18	-1.9
2015	21.4	21.2	21.2	20.1	20.1	20.1	20	-2.38
2016	20.8	20.8	20.4	20.4	20.2	20.2	20.1	-3.05
2017	20.4	20.1	19.9	19.9	18.8	19.8	19.7	-2.28
2018	21	21	21	20.7	20.3	20.3	20.2	-2.76
2019	20.1	20.1	20	19.8	19.8	19.7	19.7	-2.7
2020	21.5	21.5	21.4	21.1	21.1	21	21	-3.05

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 25 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC El Frayle–Arequipa.2001-2020

Estación: EL FRAYLE

Latitud: -16.1548

Longitud: -71.1891

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20	19.9	19.6	19.4	19	18.7	18.6	-13
2002	18.9	18.8	18.5	18.4	18	17.9	17.9	-13.2
2003	20.2	19.6	19.4	19.4	19.2	18.9	18.7	-13.6
2004	19.6	19.5	19.4	19.1	19	18.9	18.8	-12.4
2005	20.6	19.8	19.3	19.2	19.2	18.8	18.6	-14.6
2006	19.9	19.3	19	18.9	18.9	18.2	18.2	-14.4
2007	18.9	18.9	18.8	18.8	18.7	18.6	18.6	-13.6
2008	19.8	19.4	18.7	18.6	18.6	18.5	18.3	-14.6
2009	20.6	20.6	20.3	20	19.6	19.3	19.1	-14.5
2010	20.6	19.7	19.6	19.5	19.4	19.3	19.1	-13.8
2011	20.8	20.6	20.3	19.1	19.1	18.8	18.4	-14.2
2012	20.8	20	19	19	18.9	18.9	18.8	-14
2013	19.2	19	18.6	18.3	17.9	17.8	17.4	-11.8
2014	20.4	20.4	20.3	20.1	20.1	20.1	20	-10.32
2015	20.6	20.6	20.4	20.4	20.3	20	20	-10.69
2016	20.6	20.6	20.3	20	19.6	19.3	19.1	-10.58
2017	20.1	19.7	19.6	19.1	19.1	19	19	-11.12
2018	20.5	20.5	20.4	19.9	19.9	19.8	19.8	-14.74
2019	20.5	20.5	20.1	19.9	19.8	19.7	19.6	-15.33
2020	20.9	20.8	20.4	20.4	20.1	20	20	-14.78

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 26 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chiguata – Arequipa.2001-2020

Estación: CHIGUATA

Latitud: -16.4064 Longitud: -71.4091

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	22.2	22	22	22	22	21.8	21.8	1
2002	22.8	22.8	22.6	22.6	22.4	22.4	22.4	0.2
2003	24	23	22.8	22.6	22.6	22.6	22.4	0.2
2004	24	23.2	23	23	23	22.8	22.8	0.2
2005	23.4	23.2	22.8	22.8	22.6	22.6	22.4	-5.2
2006	22.8	22.4	22	22	22	21.8	21.8	-1.2
2007	22.6	22.4	22.2	22.2	22.2	22	22	0.2
2008	22.2	22	21.6	21.6	21.6	21.4	21.4	0.6
2009	23.4	23	23	23	22.8	22.6	22.4	0.4
2010	24	23.6	23.4	23.2	23	23	23	0.8
2011	18.4	16.2	16.4	17.8	17	17.8	17	0.6
2012	23	22.8	22.8	22.6	22.4	22.4	22.2	1
2013	19	19.4	18.6	18.6	18.4	18.4	20	1.6
2014	22.8	22.4	22	21.4	21.4	21.4	21.4	2.2
2015	23.7	23.7	23.7	23.6	23.6	23.5	23.5	-0.4
2016	23.8	23.8	23.7	23.7	23.7	23.6	23.4	0.48
2017	22.7	22.7	22.6	22.6	22.3	22.2	22.1	-0.44
2018	23.7	23.7	23.6	23.5	23.4	23.4	23.3	-0.1
2019	23.6	23.6	23.5	23.4	23.2	23.1	23.1	-0.6
2020	23.8	23.8	23.6	23.6	23.6	23.4	23.4	-1.13

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 27 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Las Salinas–Arequipa.2001-2020

Estación: LAS SALINAS

Latitud: -16.3206

Longitud: -71.1521

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20.1	20.1	20	20	19.7	19.6	19.6	-14.56
2002	19.7	19.7	19.5	19.2	19.2	19	19	-13.06
2003	21.1	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.6	-16
2004	18.8	18.4	18.4	18.2	18	17.8	17.6	-12.8
2005	18.6	18.4	18.3	18.2	18.2	18	18	-18.4
2006	18	17	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	-13.2
2007	18	17.4	17.4	17.4	17.2	17.2	17	-14.2
2008	17.6	17.6	17.6	17.4	17.4	17.2	17.2	-17.2
2009	17.6	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	-16.2
2010	16.6	16.6	16.6	16.4	16.4	16.4	16.4	-16.8
2011	18.6	18.4	18.3	18.2	17.9	17.8	17.8	-11.8
2012	18.6	18.2	17.7	17.6	16.9	16.8	16.8	-12
2013	18.7	18.6	18.4	18.1	17.9	17.8	17.6	-12.2
2014	18.6	17.4	16.6	16.6	16.4	16.4	16.2	-7
2015	19.1	19	18.7	18.5	18.1	18	17.9	-12.4
2016	18.9	18.9	18.7	18.4	18.2	18.2	18.1	13.48
2017	17.7	17.6	17.4	17.4	17.1	17	17	-11.44
2018	18.1	17.6	17.4	17.4	17.1	17.1	17.1	-10.1
2019	19.1	19.1	18.8	18.7	18.5	18.3	18.3	-11.6
2020	18.9	18.9	18.6	18.6	18.2	18.2	18.1	-13.13

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 28 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC La Pampilla–Arequipa.2001-2020

Estación: LA PAMPILLA

Latitud: -16.4138

Longitud: -71.5345

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	26	25.6	25.6	25.4	25.2	25.2	25	4.9
2002	26	25.8	25.8	25.6	25.6	25.6	25.4	4.4
2003	25.8	25.4	25.2	25.2	25.2	25.2	25	4.6
2004	26.3	25.5	25.3	25.2	25.2	25.2	24.8	4.2
2005	25.8	25.5	25.5	25.2	25.2	25	25	3.7
2006	26.2	26	26	25.6	25.5	25.4	25.2	3.7
2007	25.9	25.6	25.4	25.4	25.3	25.2	25	4.3
2008	25.8	25.6	25.2	25	25	25	24.8	2.4
2009	27.4	26.7	26.6	26.4	26.4	26.2	26.2	3.2
2010	27.8	27.4	26.8	26.6	26.4	26.2	26.2	2.8
2011	27.2	27.2	26.2	25.8	25.6	25.4	25.4	3
2012	26.4	26.3	26.2	25.8	25.6	25.5	25.5	2.8
2013	26.4	26.4	26.3	26	25.8	25.8	25.8	2.4
2014	26.3	25.5	25.4	25.3	25.2	25.2	25.2	7
2015	24.1	24	23.6	23.6	23.3	23.1	23.1	4.4
2016	23.8	23.8	23.5	23.5	23.2	23.1	23.1	2.48
2017	22.6	22.5	22.3	22.1	22.1	22	22	2.44
2018	23.8	23.8	23.6	23.4	23.1	23.1	23	4.1
2019	23.5	23.5	23.4	23.1	23.1	22.9	22.9	3.6
2020	23.8	23.6	23.6	23.4	23.2	23.2	23.2	3.13

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 29 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Chichas – Arequipa. 2001-2020

Estación: CHICHAS

Latitud: -15.5481

Longitud: -72.9183

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	25.1	25.1	24.8	24.6	24.6	24.5	24.5	7.68
2002	27.5	27.5	27	27	26.7	26.6	26.5	8
2003	28	27.4	27.3	27.3	27.1	27	27	8
2004	28	27.5	27.5	27	27	26.6	26.6	8
2005	27.5	27	26.6	26.5	26.5	26.5	26.5	7
2006	28	27.9	27.8	27.7	27.2	27	27	7.8
2007	28.5	27.6	27.5	26.9	26.6	26.5	26.4	6.9
2008	25.6	25.6	25.5	25.4	25.2	25	24.9	7.4
2009	27.1	26.7	26.5	26.4	26.4	26.3	26.3	4.1
2010	26.8	26.8	26.6	26.1	26	26	26	5.3
2011	26.4	26	25.9	25.9	25.6	25.4	25.4	3.1
2012	26.6	26.4	26.2	25.9	25.9	25.8	25.7	4.5
2013	27.4	27.3	27.2	27	27	26.9	26.8	1.7
2014	26.9	26.8	26.7	26.5	26.3	26.2	26.2	4.6
2015	26.1	26.1	26	25.8	25.7	25.6	25.6	1.96
2016	25.8	25.6	25.5	25.4	25.2	25.2	25.2	2.3
2017	25.4	25.3	25.2	25.2	25	24.9	24.8	2.2
2018	26.4	26.4	26.1	25.8	25.7	25.6	25.6	2.48
2019	25.8	25.6	25.3	25.1	24.9	24.9	24.9	1.98
2020	26.1	26.1	25.7	25.6	25.6	25.5	25.5	2.05

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 30 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Porpera–Arequipa.2001-2020

Estación: PORPERA

Latitud: -15.3142

Longitud: -71.3064

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	19.4	19.4	19.3	19.3	19.1	19	19	-6.12
2002	19.2	19.2	19.1	18.9	18.9	18.8	18.9	-6.78
2003	20.5	20.5	19.2	19.2	19.1	18.4	18.4	-16.1
2004	17.3	17.1	17.1	16.4	16.4	16.2	16.2	-11.4
2005	18.4	18	18	18	18	17.2	17.2	-11.8
2006	18.6	18	18	17.4	17	17	17	-13.4
2007	18.4	18.2	18	17.8	17.8	17.4	17.2	-11.2
2008	19.4	19	18.6	18.6	18.4	18.4	18.4	-12.6
2009	19.6	18.2	18.2	18	18	17.8	17.8	-12.4
2010	16.2	15.8	15.6	15.6	15.4	15.4	15.4	-12.6
2011	19	19	18.8	18.6	18.6	18.4	18.2	-12
2012	12.8	12	13	13.8	13.8	14.4	13.4	-12
2013	19.6	18.4	18.4	18.4	18.2	18	17.8	-11.8
2014	16	15.4	15.4	15.2	15.2	15.2	15.2	-4.8
2015	20.3	20.3	20.1	20	20	19.7	19.7	-7.2
2016	20.3	20.2	20.2	20	20	19.8	19.6	-7.6
2017	20.1	20.1	20	19.9	19.8	19.8	19.8	-6.67
2018	19.5	19.4	19.2	19.1	18.8	19.7	19.7	-6.1
2019	19.4	19.3	19.3	19	18.9	18.7	18.7	-6.02
2020	20.5	20.5	20.4	20	20	19.9	19.9	-6.35

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 31 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Lomas – Arequipa. 2001-2020

Estación: LOMAS

Latitud: -15.5112

Longitud: -74.8503

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	26.06	25.93	25.9	25.83	25.81	25.79	25.79	12.1
2002	26.9	26.34	26.15	26.15	26.12	26.1	26.08	12.55
2003	26.54	26.37	26.33	26.01	25.98	25.87	25.86	12.6
2004	26.06	25.88	25.86	25.79	25.67	25.55	25.53	12.11
2005	26.38	26.02	25.94	25.85	25.8	25.8	25.79	11.37
2006	26.81	26.61	26.56	26.56	26.5	26.47	26.4	13.23
2007	23.61	23.18	24.19	24.23	24.76	24.13	24.59	11.3
2008	26.17	26.1	26.08	25.98	25.96	25.82	25.76	12.38
2009	26.75	26.57	26.48	26.34	26.27	26.16	26.03	12.57
2010	25.94	25.72	25.69	25.57	25.55	25.55	25.52	11.84
2011	26.02	25.83	25.83	25.58	25.52	25.34	25.28	12.15
2012	26.38	26.16	26.14	26.12	25.98	25.98	25.94	12.65
2013	26.43	26.33	26.15	26.12	26.03	25.98	25.85	12.12
2014	25.65	25.59	25.54	25.43	25.42	25.31	25.3	12.28
2015	26.48	26.11	25.77	25.67	25.63	25.62	25.62	13.68
2016	26.73	26.57	26.53	26.41	26.34	26.3	26.29	13.02
2017	27.47	27.05	27.04	26.93	26.91	26.86	26.83	12.53
2018	25.55	25.31	25.23	25.15	25.15	25.1	25.09	12.85
2019	27.03	26.35	26.32	26.31	26.27	26.2	26.05	12.26
2020	26.63	26.62	26.5	26.37	26.37	26.33	26.26	19.55

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 32 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Visca Visca–Areq. 2001-2020

Estación: VISCA VISCA

Latitud: -14.7228

Longitud: -71.9787

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20.32	20.21	19.9	19.72	19.31	19.08	18.98	2
2002	20.66	20.65	20.61	19.94	19.65	19.58	19.58	3
2003	21.86	21.65	21.19	21.16	21.12	20.91	20.71	4.2
2004	20.98	20.98	20.58	20.44	20.31	20.21	19.98	3.6
2005	21.33	21.26	21.09	20.84	20.69	20.44	20.21	3.6
2006	21.25	20.93	20.74	20.65	20.62	20.4	19.9	3.2
2007	20.69	20.6	20.48	20.43	20.33	20.33	20.26	3.8
2008	21.07	20.77	20.24	20.15	19.78	19.64	19.38	5.3
2009	21.12	20.85	20.66	20.58	20.37	20.36	20.3	6
2010	20.45	20.31	20.28	20.08	19.98	19.89	19.87	6.8
2011	21.72	20.3	20.18	20.18	19.85	19.83	19.69	6.2
2012	21.05	21.05	20.53	20.27	20.23	20.02	19.8	9.5
2013	20.75	20.08	19.52	19.5	19.13	19.1	18.85	4
2014	21.35	21.14	20.95	20.65	20.46	20.32	20.19	4
2015	21.82	21.37	21.33	21.15	21.13	20.74	20.7	7.67
2016	21.03	20.72	20.62	20.57	20.51	20.45	20.44	9.08
2017	20.95	20.44	20.31	20.25	20.15	20.09	19.9	7.64
2018	21.08	20.97	20.73	20.34	20.26	20.07	19.95	8.43
2019	20.32	20.15	20.05	20.05	19.59	19.38	19.3	6.47
2020	22.82	22.55	21.83	21.74	21.58	21.55	21.47	8.05

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 33 Temp. de los 7 días máx. y mín anual, EC Moquegua–Moquegua.2001-2020

Estación: MOQUEGUA

Latitud: -17.1787

Longitud: -70.9327

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	30.9	30.7	30.3	30.1	30.1	30	29.6	5.4
2002	31.1	30.4	30.2	30.1	30.1	29.9	29.8	4.1
2003	31.2	31.1	31	30.7	30.6	30.3	30.1	4.8
2004	30.2	30.1	30	30	29.6	29.6	29.6	4.6
2005	19.5	24.6	25.6	25.1	24.1	28	26.3	2.7
2006	30.9	30.8	30.5	30.3	30	29.9	29.9	5
2007	30.5	30.4	30.3	30.2	30.2	29.8	29.6	4
2008	31.6	30.2	30	29.7	29.6	29.4	29.2	5.2
2009	31	30.6	30.5	30.3	30.3	30.2	30.2	5
2010	32.2	30.4	30.2	30.2	30.1	30	29.8	2.6
2011	30.4	30.2	30.1	30.1	30.1	29.8	29.6	3.3
2012	32	30.9	30.9	30.7	30.7	30.6	30.4	2.8
2013	31.4	31.2	30.9	30.9	30.9	30.5	30.4	5
2014	30.4	30.1	30.1	30	30	30	29.6	3.7
2015	31.0	30.8	30.3	30.8	30	30	30.6	-4.31
2016	30.5	30.7	30.2	30.8	29.75	29.75	30.4	-3.74
2017	30.4	30.1	30.1	29.4	30.2	29.9	29.6	-3.73
2018	30.9	30.1	30.1	30	30.8	30.7	29.6	-3.52
2019	29.6	29.4	29.3	28.4	28.5	29.3	29.6	-3.77
2020	30.3	30.2	30.56	30.5	30.4	30.9	29.6	-3.41

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 34 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Quinistaquillas–Moquegua
2001-2020

Estación: Quinistaquillas

Latitud: -16.7497

Longitud: -70.8786

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	21.8	21.8	21.6	21.3	21.2	21.2	21	-4.77
2002	35	33.5	33	33	33	33	33	8
2003	33.5	33	33	32.5	32.5	32.5	32.5	8.5
2004	33.5	33.5	33	32.5	32.5	32.5	32.5	7.5
2005	32.5	32.5	32.5	32.5	32	32	32	7.4
2006	34.4	33.6	33.5	33	32.8	32.6	32.6	7.2
2007	34.5	34.2	34	33.6	33.6	33.5	33.2	7.8
2008	34.2	34.2	34	34	33.6	33.2	33.2	7
2009	35.4	35	34.5	34	34	34	34	7.2
2010	34.8	34.8	34.6	34.6	34.5	34.5	34.4	6
2011	34.6	34	33.2	33	33	32.6	32.6	6.5
2012	33.5	33.4	33.2	33	32.8	32.6	32.6	7
2013	34.5	33.6	33.5	33.4	33.2	33.2	33	7.4
2014	33	33	32.8	32.6	32.6	32.6	32.5	6.5
2015	22.1	22	21.9	21.7	21.6	21.4	21.4	-6.17
2016	22	22	21.9	21.8	21.7	21.7	21.6	-5.71
2017	21.9	21.9	21.7	21.5	21.5	21.2	21.2	-4.81
2018	21.1	20.9	20.9	20.9	20.6	20.6	20.4	-5.06
2019	21.8	21.8	21.6	21.6	21	21	20.5	-5.42
2020	22.2	22	22	21.7	21.6	21.5	21.5	-5.52

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 35 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Calacoa – Moquegua.2001-2020

Estación: CALACOA

Latitud: -16.7399

Longitud: -70.6876

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	22.15	21.76	21.48	21.29	21.24	21.15	20.75	-4.77
2002	21.83	20.83	20.78	20.76	20.46	20.35	20.33	-6.31
2003	21.85	21.85	21.55	21.53	21.34	21.33	21.31	-5.44
2004	21.85	21.69	21.08	21.04	20.94	20.92	20.89	-5.01
2005	21.4	21.24	21.15	20.99	20.75	20.73	20.71	-5.56
2006	22.09	21.76	21.63	21.61	21.38	21.13	21.12	-6.28
2007	22.56	22.43	21.93	21.84	21.8	21.62	21.59	-4.43
2008	21.87	21.46	21.41	21.16	20.74	20.65	20.59	-4.97
2009	21.55	21.46	21	20.8	20.79	20.68	20.58	-4.73
2010	21.84	21.75	21.58	21.26	21.24	21.12	21.12	-5.82
2011	22.51	21.71	21.36	21.24	21.23	21.01	20.98	-5.48
2012	21.65	21.65	21.58	21.34	20.84	20.72	20.71	-5.87
2013	22.15	21.47	21.23	21.12	20.99	20.88	20.71	-4.52
2014	21.9	21.69	21.35	20.92	20.92	20.76	20.75	-5.13
2015	22.62	22.12	21.9	21.84	21.72	21.26	21.08	-6.17
2016	22.32	21.94	21.94	21.87	21.87	21.74	21.54	-5.71
2017	22.46	21.93	21.78	21.7	21.3	21.27	20.78	-4.81
2018	21.44	20.87	20.8	20.8	20.65	20.65	20.63	-5.06
2019	21.68	21.48	21.4	21.18	21.07	20.96	20.87	-5.42
2020	23.05	22.09	21.98	21.55	21.45	21.3	21.26	-5.52

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 36 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Ichuña – Moquegua. 2001-2020

Estación: ICHUÑA

Latitud: -16.1411 Longitud: -70.5427

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	20.1	20.1	19.8	19.6	19.1	18.8	18.7	-6.88
2002	25.5	25.5	25	24.5	24	24	23.5	-3.5
2003	26.5	25.8	25.7	25.5	25.2	25	24.9	-6.7
2004	26.4	25.7	25.7	25.5	25	24.7	24.6	-6
2005	24.9	24.6	24.2	24.1	23.8	23.8	23.7	-7
2006	26.3	25.5	25	25	24.8	24.7	24.6	-6.6
2007	25.7	25.5	25.5	25.4	24.8	24.7	24.6	-5.7
2008	25.2	25	24.8	24.8	24.7	24.7	24.6	-6.7
2009	25.5	25.2	25	25	25	24.7	24.6	-6.8
2010	27.4	25.9	25.6	25.2	24.8	24.7	24.6	-6.7
2011	26.2	25.6	25.5	25.2	25.2	25	25	-6.5
2012	27	26.7	26.4	26	26	25.7	25.6	-6.6
2013	26.8	26.5	25.2	25.2	25	25	25	-5
2014	24.4	24.2	24	23.8	23.8	23.5	23.5	-5
2015	19.8	19.5	19.5	19.1	19.1	19	18.8	-7.38
2016	19.7	19.7	19.6	19.4	19.2	19.1	19	-8.31
2017	19.6	19.6	19.5	19.4	19.4	19.4	19.3	-7.29
2018	19.7	19.7	19.6	19.4	19.2	19.1	19	-7.02
2019	19.7	19.6	19.6	19.2	19.2	18.8	18.7	-6.64
2020	19.6	19.6	19.6	19.5	19.1	19.1	19.1	-6.95

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 37 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Ubinas–Moquegua.2001 - 2020

Estación: UBINAS

Latitud: -16.3888

Longitud: -70.8541

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	23.4	22.8	22.8	22.7	22.4	22.4	22.2	-0.8
2002	23.9	23.8	23.6	23.5	23.2	23.2	23	-1.1
2003	24.4	24.2	24	23.8	23.8	23.6	23.5	-1.4
2004	24.5	24.2	23.8	23.4	23	22.8	22.8	-1.1
2005	24.2	24.2	24.1	23.5	23.2	23.1	23	-1.9
2006	25	24.2	23.6	23.4	23.2	23.2	23	-1.4
2007	25.3	24.6	24.3	24	24	23.8	23.6	-0.2
2008	28.4	23.8	23.6	23.6	23.4	23.2	23	-3
2009	26	25	24.5	24.4	24.2	24.2	24	-2.6
2010	24.8	24.8	24.2	23.6	23.6	23.6	23.6	-3.8
2011	23.6	22.8	22.2	22.2	22.2	21.8	21.8	-3.2
2012	23.6	23.2	22.8	22.6	22.4	22.4	22.2	-2.2
2013	22.8	22.8	22	22	22	21.8	21.8	-3.2
2014	24.8	24.8	24.6	23.2	22.8	22.6	22.6	-2.6
2015	24	23.6	23.4	23.2	23.2	23	22.8	-2.4
2016	22.2	22.1	22.8	22.7	22.6	22.6	22.5	-5.71
2017	21.9	21.9	21.7	21.4	21.4	21.3	21.3	-4.81
2018	21	21	20.9	20.9	20.7	20.6	20.6	-5.06
2019	21.6	21.6	21.5	21.3	21.3	21.1	20.8	-5.42
2020	22.1	22	21.9	21.7	21.7	21.6	21.6	-5.52

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 38 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Puntacoles–Moquegua.2001-2020

Estación: PUNTACOLES

Latitud: -17.6986		Longitud: -71.3733						Temperatura mínima anual (°C)
AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	28.2	27.8	27.2	27.2	27.2	27	27	12
2002	26.8	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	12
2003	27.4	27.4	27.4	27.2	27.2	27.2	27	12
2004	27.4	27	26.8	26.8	26.6	26.6	26.6	12
2005	28	27.6	27.6	27.4	27.2	27	26.8	12.4
2006	27.6	27.4	27	27	26.8	26.8	26.8	13
2007	27.2	27.2	27	26.8	26.8	26.8	26.6	10.2
2008	27.2	27	26.8	26.6	26.4	26.4	26	11.2
2009	27.2	26.8	26.6	26.6	26.6	26.4	26.4	12.6
2010	27.8	27.6	27.2	27.2	27.2	27	27	10
2011	27.2	27.2	26.8	26.4	26.4	26	25.8	8.5
2012	28.2	27.6	27.5	27.3	27.2	27.2	27.2	11.2
2013	28	27.8	27.8	27.6	27.2	27	26.6	12
2014	26.8	26.8	26.4	26.4	26.2	26.2	26.2	12.4
2015	28.3	28.3	28.1	27.8	27.5	27.5	27.3	10.61
2016	28.6	28.6	28.4	28.4	28.1	28.1	28	11.15
2017	28.1	28	27.9	27.9	27.6	27.6	27.4	10.07
2018	27.6	27.6	27.3	27	26.8	26.8	26.7	11.35
2019	28.1	28	28	27.9	27.8	27.6	27.6	9.92
2020	28.9	28.9	28.5	28.3	27.8	27.8	27.5	9.58

Fuente: SENHAMI-POWER DATA

Anexo N° 39 Temp. de los 7 días máx. y mín. anual, EC Ilo –Moquegua. 2001-2020

Estación: ILO

Latitud: -17.6238 Longitud: -71.2719

AÑO	Temperatura de días más calientes anuales (°C)							Temperatura mínima anual (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
2001	35.2	34.8	34.6	34.2	34	33.8	33.8	7.4
2002	33.2	32.8	32.8	32.6	32.6	32.4	32.4	9
2003	33.4	32.8	32	32	32	32	32	7.2
2004	34.3	33.6	33.6	33.4	33.2	33.2	33	7.6
2005	34	33.3	33	32.8	32.5	32.5	32.5	8.1
2006	33.5	33.5	33.5	33.3	33	32.7	32.5	8.2
2007	33.2	33	33	32.8	32.7	32.5	32.5	6.2
2008	33.6	33.5	33.2	33	33	32.8	32.7	6
2009	34.2	33	32.6	32.5	32.5	32.4	32.2	8
2010	33.6	33.2	33.2	33	33	32.5	32.5	5.5
2011	33	32.7	32.5	32.5	32.2	32.2	32.2	6.8
2012	34.5	34.2	34.2	34	34	33.7	33.4	11
2013	34.5	33.4	33.4	33.4	33.2	33.2	32.7	9.8
2014	33.5	33.4	33	32.8	32.5	32.5	32.5	10
2015	28.1	28	27.8	27.6	27.6	27.5	27.5	10.61
2016	28.8	28.7	28.7	28.5	28.1	28	27.8	11.15
2017	28.6	28	28	27.8	27.5	27.4	27.2	10.07
2018	27.8	27.5	27.3	27	26.9	26.9	26.8	11.35
2019	28.2	28.2	28.1	28	27.9	27.6	27.5	9.92
2020	28.6	28.6	28.2	28	27.9	27.8	27.7	9.58

Fuente: SENHAMI-POWER DATA