

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE**

**ACTUALIZACIÓN DE GRADOS PG PARA ZONA NORTE DE CHILE
(XV REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA – V REGIÓN DE VALPARAISO)**

Memoria de título presentada por

VICTOR HUGO ARANA APATA

Como requisito parcial para optar al título de
Construcción Civil

Profesor Guía

Carlos Wahr Daniel

Profesor Correferente

Rodrigo Delgadillo Sturla

Agosto 2024

“Tu actitud, no tu aptitud, es la que determinará tu altitud”
(Zig, Ziglar)

AGRADECIMIENTOS

Culminando la realización de la presente memoria de investigación es inevitable no revivir la etapa universitaria que desarrollé en mi casa de estudio dentro la V región de Valparaíso, donde me encontré distintas personas, culturas, costumbres, arquitectura, entorno, clima, entre algunos factores que marcaron mi estadía por ser originario de la comuna de Arica.

Empezando con los agradecimientos en primer lugar quiero destacar a mi madre Isabel por brindarme todos sus valores, darme la energía para terminar mi carrera y tener la fortaleza de dejarme partir siendo que desde siempre fuimos solamente nosotros dos que salimos adelante. También incluir a mi padre que estos últimos años nos hemos permitido compartir más y me ha dado sus buenas vibras.

Continuando, debo dar gracias a mi profesor guía Carlos Wahr una persona de mucha trayectoria y reconocimiento en el área de la ingeniería vial; muy importante en esta última etapa puesto que me recibió como memorista, me dio las directrices necesarias, me dio la confianza y siempre tuvo gran disposición con reuniones para eliminar dudas.

En general a todos mis familiares que me compartieron su apoyo vía llamada o presencial en mis pocas visitas a Arica.

Agradecimientos a mis amistades que hice en lo académico, como también en lo deportivo con mi participación en cada equipo que me tocó dar lo mejor de mí en algunas ocasiones teniendo buenos logros que sin duda me liberaban mentalmente. Del mismo modo en lo laboral a cada constructora que me acogió bien, pudiendo aplicar y fortalecer mis conocimientos.

Por último una dedicatoria a mi abuela Cecilia que me hubiese encantado que estuviera conmigo pero que hoy en día se encuentra en un mejor lugar.

RESUMEN

En Chile se tendrá próximamente una versión actualizada de la norma actual NCh2440/1998 Asfaltos para Pavimentos – Clasificación y Requisitos, desarrollada por el INN (Instituto Nacional de Normalización), dentro la cual se incorporará la especificación SUPERPAVE. En este sentido ya existe aportes como la memoria “Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico” de Leandro Arteaga publicada en 2017, la cual entrega conocimiento sobre las condiciones y exigencias a las que se ven enfrentados los pavimentos asfálticos en distintas regiones del país.

Para efectos de la presente memoria de título, se utilizó como referencia la memoria de Leandro Arteaga, considerando los grados PG resultantes en las 43 estaciones climatológicas (6 correspondientes a la DMC y 37 a la DGA) comprendidas entre la XV Región de Arica y Parinacota y la V Región de Valparaíso, estaciones climatológicas que fueron seleccionadas de acuerdo a su cumplimiento con el criterio de 20 años mínimo de datos entre otros que especifica el sistema SUPERPAVE. La presente memoria propone incorporar nuevas estaciones disponibles y sobre todo actualizar los grados PG de las estaciones climatológicas seleccionadas ubicadas entre las regiones XV Arica y Parinacota y V Valparaíso de Chile, para esto se tuvo que extraer las temperaturas extremas diarias del aire hasta el año completo 2022 para todas las estaciones comprendidas entre las regiones de interés, posteriormente estos nuevos valores fueron empleados según determinan los modelos computacionales expuestos en la memoria de Arteaga, los cuales conocemos como LTPP Bind 2.1 y LTPP Bind 3.1, para ambos modelos se efectuaron cálculos con 50% y 98% de confiabilidad considerando todo un margen de temperaturas de diseño para situaciones desfavorables tomando en cuenta la variabilidad que existe hoy en día por el cambio climático. Obtenido las temperaturas de pavimentos se seleccionó el grado PG de un asfalto capaz de lograr mantener un pavimento estable con sus propiedades físicas y mecánicas durante su ciclo de vida proyectado en diseño. Por último se hace elección de un ligante asfáltico tradicional que cumpla con las altas y bajas temperaturas, como también de las temperaturas intermedias causantes del agrietamiento por fatiga.

Como resultados de la memoria, se pudo incorporar en el estudio las estaciones climatológicas de RODELILLO AD, MATAVERI ISLA DE PASCUA AP. y JUAN FERNANDEZ ESTACIÓN METEOROLÓGICA pertenecientes a la DMC (Dirección Meteorológica de Chile) como también CONAY ALBARICOQUE de la DGA (Dirección General de Aguas). Estaciones que de igual manera fueron trabajadas bajo la metodología SUPERPAVE, entregando de esta manera una mayor representatividad de los grados PG en las regiones de Valparaíso y Atacama. En relación al resultado de los grados PG actualizados realizados principalmente tomando en cuenta el método LTPP Bind 3.1 y llevado a un panorama exigente entregado por la confiabilidad al 98%, se logra identificar variaciones en algunas estaciones meteorológicas. Estas variaciones, sin embargo, no implican necesariamente modificaciones en la zonificación climática desarrollada por Arteaga, pues en ella se utilizó una combinación de los métodos SHRP, LTPP 2.1 y LTPP 3.1. Considerando que ninguno de estos tres modelos fue desarrollado para Chile, la utilización de cualquiera de ellos por sí solo no entrega certeza de que las temperaturas son las apropiadas. La zonificación utilizando los tres modelos en conjunto hecha por Arteaga entrega una mayor confiabilidad para el desarrollo de la zonificación climática, por lo que se sugiere a futuro seguir considerando una zonificación que considere conjuntamente los tres modelos.

Palabras clave: Chile, INN, NCh2440/1998, SUPERPAVE, estaciones climatológicas, actualización, ligante asfáltico, temperatura de pavimento, memoria Leandro Arteaga, regiones, grados de desempeño PG, LTPP Bind 2.1, LTPP Bind 3.1, cambio climático, confiabilidad.

ABSTRACT

In Chile there will soon be an updated version of the current standard NCh2440/1998 Asphalt for Pavements - Classification and Requirements, developed by the INN (National Institute for Standardization), within which the SUPERPAVE specification will be incorporated. In this sense, there are already contributions such as the report "Comparison of SUPERPAVE Zoning for Chile and Quantification of the influence of Climate Change in the Selection of Asphalt Binder" by Leandro Arteaga published in 2017, which provides knowledge about the conditions and demands to which Asphalt pavements are facing conflict in different regions of the country

For the purposes of this title report, Leandro Arteaga's report was used as a reference, considering the resulting PG degrees in the 43 climatological stations (6 corresponding to the DMC and 37 to the DGA) included between the XV Region of Arica and Parinacota. and the V Region of Valparaíso, climatological stations that were selected according to their compliance with the criterion of a minimum of 20 years of data among others specified by the SUPERPAVE system. This report proposes to incorporate new available stations and above all update the PG degrees of the selected climatological stations located between the regions XV Arica and Parinacota and V Valparaíso of Chile, for this the daily extreme air temperatures had to be extracted up to the entire year 2022 for all stations included in the regions of interest, subsequently these new values were used as determined by the computational models exposed in Arteaga's memory, which we know as LTPP Bind 2.1 and LTPP Bind 3.1, for both models calculations were carried out with 50% and 98% confiability considering a full range of design temperatures for unfavorable situations, taking into account the variability that exists today due to climate change. Once the pavement temperatures were obtained, the PG grade of an asphalt capable of maintaining a pavement was selected. stable with its physical and mechanical properties during its projected life cycle in design. Finally, a traditional asphalt binder is chosen that meets high and low temperatures, as well as the intermediate temperatures that cause fatigue cracking.

As results of the memory, the climatological stations of RODELILLO AD, MATAVERI EASTER ISLAND AP could be incorporated into the study. and JUAN FERNANDEZ ESTACIÓN METEOROLOGICA belonging to the DMC (Meteorological Directorate of Chile) as well as CONAY ALBARICOQUE of the DGA (General Directorate of Water). Stations that were also worked under the SUPERPAVE methodology, thus providing greater representation of PG degrees in the regions of Valparaíso and Atacama. In relation to the result of the updated PG grades carried out mainly taking into account the LTPP Bind 3.1 method and taken to a demanding panorama delivered by 98% reliability, it is possible to identify variations in some meteorological stations. These variations, however, do not necessarily imply modifications in the climatic zoning developed by Arteaga, since a combination of the SHRP, LTPP 2.1 and LTPP 3.1 methods was used. Considering that none of these three models was developed for Chile, the use of any of them alone does not provide certainty that the temperatures are appropriate. The zoning using the three models together made by Arteaga provides greater reliability for the development of climatic zoning, so it is suggested in the future to continue considering a zoning that jointly considers the three models.

Keywords: Chile, INN, NCh2440/1998, SUPERPAVE, weather stations, update, asphalt binder, pavement temperature, Leandro Arteaga memory, regions, PG performance grades, LTPP Bind 2.1, LTPP Bind 3.1, climate change, confiability.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT.....	VI
1 ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
2 INTRODUCCIÓN	1
2.1 Antecedentes Generales	1
2.2 Objetivos	2
2.2.1 Objetivo General	2
2.2.2 Objetivos Específicos.....	2
2.3 Metodología de Investigación.....	3
2.4 Alcance y Limitaciones	5
3 MARCO TEÓRICO.....	6
3.1 SUPERPAVE.....	6
3.1.1 Introducción	6
3.2 SUPERPAVE en Chile.....	7
3.2.1 Aporte de estudios previos	7
3.2.2 Necesidades de desarrollo	7
3.3 Aplicación Metodología SUPERPAVE	8
3.3.1 Criterios para selección de estaciones climatológicas chilenas	8
3.3.2 Estaciones climatológicas resultantes de estudios anteriores.....	10
3.3.3 Confiabilidad.....	11
3.3.4 Modelos de cálculo para temperaturas de pavimento	12
3.3.5 Asignación del grado de desempeño SUPERPAVE	17
3.4 Envejecimiento y Ensayos SUPERPAVE.	18
3.4.1 Envejecimiento del asfalto	18
3.4.2 Requisitos para clasificar ligantes asfálticos en grados PG, mediante ensayos.	19
3.4.3 Ensayos SUPERPAVE.....	22
4 SELECCIÓN ACTUAL DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS.....	28
4.1 Determinación Estaciones Climatológicas DGA Actuales.....	28

4.2	Determinación Estaciones Climatológicas DMC Actuales.....	31
4.3	Resumen de estaciones consideradas en la memoria	32
5	CÁLCULO DE VARIABLES ESTADÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS	37
6	ACTUALIZACIÓN GRADOS PG SEGÚN LTPP BIND 2.1	39
7	ACTUALIZACIÓN GRADOS PG SEGÚN LTPP BIND 3.1	41
8	SELECCIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS TRADICIONALES.....	44
8.1	Alternativas de Ligantes Asfálticos Tradicionales Disponibles	44
8.2	Resumen de Ligantes Asfálticos Agrupados por Región	47
9	COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS ACTUALES 2023 Y DE ARTEAGA 2017	49
9.1	50% de Confiabilidad.....	50
9.2	98% de Confiabilidad.....	53
10	CONCLUSIONES	57
11	GLOSARIO	60
12	REFERENCIAS.....	61
13	ANEXOS	63

1 ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y ESTRUCTURA DE MEMORIA (ELABORACIÓN PROPIA).....	4
FIGURA 3-1: EJEMPLOS DE ACEPTACIÓN EN AÑOS SEGÚN CRITERIO 2	9
FIGURA 3-2: TABLA DE PROBABILIDADES DE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL	11
FIGURA 3-3: FÓRMULA DE INTERPOLACIÓN DE PROBABILIDAD PARA CÁLCULO DE Z	11
FIGURA 3-4: GRADOS DE DESEMPEÑO PG SUPERPAVE (ADAPTADO (PUBLICACIÓN ROBERTO LAZO, 2013))	17
FIGURA 3-5: HORNO DE PELÍCULA DELGADA ROTATORIA (RTFO).....	23
FIGURA 3-6: CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN (PAV)	24
FIGURA 3-7: VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (RV).....	25
FIGURA 3-8: REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO (DSR)	26
FIGURA 3-9: REÓMETRO DE VIGA EN FLEXIÓN (BBR) Y ELABORACIÓN DE VIGA.....	26
FIGURA 3-10: EQUIPO DE ENSAYO A TRACCIÓN DIRECTA Y ELABORACIÓN DE PROBETA.....	27
FIGURA 5-1: EJEMPLO DE DETERMINACIÓN PARA LAS VARIABLES T°MÁXIMA AIRE Y DESVIACIÓN MÁXIMA.....	37
FIGURA 5-2: EJEMPLO DE DETERMINACIÓN PARA LAS VARIABLES T°MÍNIMA AIRE Y DESVIACIÓN MÍNIMA	38

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1: ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS SELECCIONADAS SEGÚN MEMORIA ARTEAGA, 2017 (ELABORACIÓN PROPIA)	10
TABLA 3-2: CÁLCULO DE LA VARIABLE Z MEDIANTE INTERPOLACIÓN (ELABORACIÓN PROPIA)	11
TABLA 3-3: EJEMPLOS PARA DETERMINAR GRADOS DE DESEMPEÑO PG TEÓRICOS (ELABORACIÓN PROPIA)	17
TABLA 3-4: REQUISITOS DE LIGANTES ASFÁLTICOS PARA CLASIFICACIÓN SUPERPAVE (8.301.8 DEL MC VOL.8 ,2022).....	19
TABLA 3-5: CLASIFICACIÓN POR DEMANDA DEL ASFALTO SEGÚN VOLUMEN Y VELOCIDAD DE TRÁNSITO (8.301.10 DEL MC VOL. 8, 2022).....	21
TABLA 3-6: SALTOS PG PARA EL GRADO DE DESEMPEÑO DE UN ASFALTO SEGÚN DEMANDA DE SERVICIO (8.301.8 MC VOL.8, 2022).....	22
TABLA 3-7: REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN SUPERPAVE PARA UN LIGANTE PG 64-22 (ELABORACIÓN PROPIA)	22
TABLA 4-1: FILTRO PRELIMINAR DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DGA, SEGÚN CANTIDAD DE AÑOS POSIBLES DE ANALIZAR	28
TABLA 4-2: FILTRO PARA BÚSQUEDA DE ESTACIONES NUEVAS DGA QUE CUMPLAN CON EL CRITERIO MÍNIMO DE 20 AÑOS (ELABORACIÓN PROPIA)	30
TABLA 4-3: FILTRO PRELIMINAR DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DMC, SEGÚN CANTIDAD DE AÑOS POSIBLES DE ANALIZAR (ELABORACIÓN PROPIA)	31
TABLA 4-4: REVISIÓN EN ESTACIONES DMC PARA LA CANTIDAD DE AÑOS COMPLETOS QUE PERMITA DEDUCIR EL CUMPLIMIENTO DE LOS 20 AÑOS MÍNIMOS (ELABORACIÓN PROPIA).....	31
TABLA 4-5: RESUMEN DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DMC Y DGA SELECCIONADAS PARA LA PRESENTE MEMORIA (ELABORACIÓN PROPIA)	33
TABLA 4-6: AÑOS COMPLETOS CON INFORMACIÓN NECESARIA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS DIARIAS (ELABORACIÓN PROPIA)....	34
TABLA 4-7: AÑOS COMPLETOS CON INFORMACIÓN NECESARIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS DIARIAS (ELABORACIÓN PROPIA)	35
TABLA 4-8: RESULTADOS ACTUALES DE LOS CÁLCULOS DE LAS VARIABLES ESTADÍSTICAS Y PARÁMETROS NECESARIO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE PAVIMENTO (ELABORACIÓN PROPIA)	36
TABLA 6-1: RESULTADOS ARTEAGA, 2017 DE LOS CÁLCULOS AL 50% Y 98% DE CONFIABILIDAD PARA TEMPERATURAS DE PAVIMENTO Y ASIGNACIÓN CORRESPONDIENTE DE PG TEÓRICOS, SEGÚN MÉTODO LTPP BIND 2.1 (ELABORACIÓN PROPIA)	39
TABLA 6-2: RESULTADOS ACTUALES, 2023 DE LOS CÁLCULOS AL 50% Y 98% DE CONFIABILIDAD PARA TEMPERATURAS DE PAVIMENTO Y ASIGNACIÓN CORRESPONDIENTE DE PG TEÓRICOS, SEGÚN MÉTODO LTPP BIND 2.1 (ELABORACIÓN PROPIA)	40
TABLA 7-1: RESULTADOS ARTEAGA, 2017 DE LOS CÁLCULOS AL 50% Y 98% DE CONFIABILIDAD PARA TEMPERATURAS DE PAVIMENTO Y ASIGNACIÓN CORRESPONDIENTE DE PG TEÓRICOS, SEGÚN MÉTODO LTPP BIND 3.1 (ELABORACIÓN PROPIA)	42
TABLA 7-2: RESULTADOS ACTUALES, 2023 DE LOS CÁLCULOS AL 50% Y 98% DE CONFIABILIDAD PARA TEMPERATURAS DE PAVIMENTO Y ASIGNACIÓN CORRESPONDIENTE DE PG TEÓRICOS, SEGÚN MÉTODO LTPP BIND 3.1 (ELABORACIÓN PROPIA)	43
TABLA 8-1: ALTERNATIVAS ACTUALES, 2023 PARA LIGANTES ASFÁLTICOS TRADICIONALES BAJO UN 50% DE CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	45
TABLA 8-2: ALTERNATIVAS ACTUALES, 2023 PARA LIGANTES ASFÁLTICOS TRADICIONALES BAJO UN 98% DE CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	46

TABLA 8-3: RESUMEN ACTUAL, 2023 CON LA ALTERNATIVA DISPONIBLE DE LIGANTE ASFÁLTICO TRADICIONAL MÁS ADECUADA SEGÚN REGIÓN, CONSIDERANDO UN 50% DE CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	47
TABLA 8-4: RESUMEN ACTUAL, 2023 CON LA ALTERNATIVA DISPONIBLE DE LIGANTE ASFÁLTICO TRADICIONAL MÁS ADECUADA SEGÚN REGIÓN, CONSIDERANDO UN 98% DE CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	48
TABLA 9-1: COMPARATIVO DE GRADOS PG OBTENIDOS ACTUALMENTE EN EL AÑO 2023 CON RESPECTO A LOS PRESENTADOS EN LA MEMORIA DE LEANDRO ARTEAGA EN 2017, PARA EL 50% DE CONFIABILIDAD Y SEGÚN MÉTODO LTPP 3.1 (ELABORACIÓN PROPIA)	50
TABLA 9-2: VARIACIÓN EN ESTACIÓN COYACAGUA DE UN PG 46-16 A PG 46-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 50% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	51
TABLA 9-3: VARIACIÓN EN ESTACIÓN LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) DE UN PG 46-16 A PG 46-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 50% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA).....	51
TABLA 9-4: VARIACIÓN EN ESTACIÓN EL TRAPICHE DE UN PG 52-10 A PG 58-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 50% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	51
TABLA 9-5: VARIACIÓN EN ESTACIÓN LA LAGUNA EMBALSE DE UN PG 46-16 A PG 46-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 50% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	52
TABLA 9-6: VARIACIÓN EN ESTACIÓN LA TRANQUILLA DE UN PG 58-10 A PG 64-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 50% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	52
TABLA 9-7: VARIACIÓN EN ESTACIÓN PALOMA EMBALSE DE UN PG 64-10 A PG 58-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 50% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	52
TABLA 9-8: COMPARATIVO DE GRADOS PG OBTENIDOS ACTUALMENTE EN EL AÑO 2023 CON RESPECTO A LOS PRESENTADOS EN LA MEMORIA DE LEANDRO ARTEAGA EN 2017, PARA EL 98% DE CONFIABILIDAD Y SEGÚN MÉTODO LTPP 3.1 (ELABORACIÓN PROPIA)	53
TABLA 9-9: VARIACIÓN EN ESTACIÓN LA FLORIDA, LA SERENA AD. DE UN PG 46-10 A PG 52-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	54
TABLA 9-10: VARIACIÓN EN ESTACIÓN CHUNGARA AJATA DE UN PG 46-16 A PG 46-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	54
TABLA 9-11: VARIACIÓN EN ESTACIÓN COYACAGUA DE UN PG 46-22 A PG 46-16 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	54
TABLA 9-12: VARIACIÓN EN ESTACIÓN LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) DE UN PG 46-28 A PG 46-16 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA).....	55
TABLA 9-13: VARIACIÓN EN ESTACIÓN CHIU CHIU DE UN PG 52-16 A PG 52-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	55
TABLA 9-14: VARIACIÓN EN ESTACIÓN CONCHI EMBALSE DE UN PG 52-16 A PG 52-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	55
TABLA 9-15: VARIACIÓN EN ESTACIÓN PARSHALL N2 DE UN PG 46-16 A PG 46-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	56
TABLA 9-16: VARIACIÓN EN ESTACIÓN LA LAGUNA EMBALSE DE UN PG 46-22 A PG 46-10 TEÓRICO, CON LTPP 3.1 Y 98% CONFIABILIDAD (ELABORACIÓN PROPIA)	56

2 INTRODUCCIÓN

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

En la actualidad Chile diseña sus pavimentos con mezclas asfálticas compuestas de un ligante asfáltico CA-14 o CA-24 de acuerdo a la clasificación por grado de viscosidad requerida en alguna específica zona de Chile donde llegue a ser emplazado el proyecto vial. De esta forma no es posible cumplir con certeza las exigencias climatológicas de una determinada ubicación geográfica, por este motivo nace la necesidad para cambiar un sistema de especificación empírico (resultados basados en observaciones de campo) a uno basado en desempeño que de paso a incluir el efecto de más variables.

Durante los años 1987 y 1993 en EE.UU se desarrollaba un programa de investigación llamado “ Programa estratégico de investigación de carreteras (Strategic Highway Research Program, SHRP) que dio como resultado al sistema de especificación SUPERPAVE (Superior Performance Asphalt Pavement) para la elección de materiales propios en una mezcla asfáltica: como lo son el agregado granular y el ligante asfáltico. A su vez cambiando en los ligantes asfálticos su nomenclatura a grados de desempeño (Performance Grade, PG) de tipo PG XX – YY, siendo el grado alto de temperatura XX el encargado de resguardar de la falla por ahuellamiento en el pavimento a causa de temperaturas mayores; de esta misma forma el grado de baja temperatura YY se ocupa de resguardar de la falla por agrietamiento térmico en el pavimento a causa de temperaturas menores; relacionando estos dos grados es posible el obtener el grado intermedio de temperatura que protege al pavimento de sufrir falla por fatiga. Siendo de exclusiva importancia las anteriores tres fallas más comunes que considera el sistema SUPERPAVE.

Para diseño de pavimentos flexibles en Chile se hace uso de la NCh 2440/1998 Asfaltos para Pavimentos – Clasificación y Requisitos, desarrollada por el INN y que en la actualidad se está buscando ser actualizada incluyendo el sistema de especificación SUPERPAVE para ligantes asfálticos, entregando sugerencias que permitan evitar mayores costos en conservación, reparaciones y entregue mayor serviciabilidad a los usuarios que utilicen los caminos. Al presente la Norma se encuentra dentro del flujo de etapas en “Revisión por Comité Técnico de Anteproyecto”.

Existen dos estudios previos relacionados a SUPERPAVE aterrizado a la realidad en Chile, el primero se encuentra en la memoria de Segovia M. en 2015 titulada “Zonificación SUPERPAVE para Chile y Estudio Preliminar de la Influencia del Cambio Climático en el Desempeño de Pavimentos en Chile” dentro la cual se rescata los primeros resultados de grados de desempeño PG para las 94 estaciones climatológicas de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y Dirección General de Chile (DGA) empleando el método de cálculo SHRP. Posteriormente en 2017 se publica la memoria de Arteaga L. titulada “Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico”, en la cual incorpora dos nuevos métodos de cálculo LTPP Bind 2.1 y LTPP Bind 3.1, que entregan resultados que permiten emplear ligantes asfálticos tradicionales (PG 64-22, PG 58-28, PG 52-34) y predice que dentro de 30 a 50 años más existirá el requerimiento de un ligante PG 70 – 16 para dos estaciones.

Lo anteriormente mencionado deja como misión el estudio de la evolución que actualmente requieren los asfaltos en Chile por efecto climático; al igual que sugerencias de ligantes que puedan proveer empresas locales (descarte del PG 52-34).

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo General

Generar con la metodología SUPERPAVE los grados PG actuales (2023) de las estaciones climatológicas aptas para el estudio, ubicadas entre la XV Región de Arica y Parinacota y V Región de Valparaíso con los registros actualizados de temperaturas (máximas y mínimas) recopilados de la DMC y DGA. Tal que permita al Comité de Asfaltos de Chile elaborar un mapa SUPERPAVE de Chile.

2.2.2 Objetivos Específicos

Para conseguir el objetivo general será necesario conseguir previamente los siguientes objetivos específicos.

- Determinar los grados PG actuales respetando el procedimiento fundamental que mantiene la metodología SUPERPAVE.
- Identificar nuevas estaciones climatológicas con capacidad de proyección en el futuro y de cumplimiento a los criterios mínimos de aceptación en base a la metodología SUPERPAVE, de tal forma que se logre un estudio representativo.
- Analizar la presencia de cambios en los grados PG de las estaciones meteorológicas, considerando una base de datos más completa y actualizada.
- Determinar las alternativas de ligante asfáltico tradicionales disponibles para cada estación climatológica, y a su vez selección de una alternativa para alcanzar homogeneidad en la región.

2.3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo investigativo es llevado a cabo bajo una metodología que se encuentra representada en el diagrama de flujo (*Figura 2-1*) que contiene un conjunto de actividades, las cuales se describen a continuación:

- **Revisión bibliográfica:** La parte investigativa en este trabajo se inicia revisando la memoria de Segovia (2015), principalmente a la elección de las estaciones climatológicas aceptables para el estudio, y los resultados de grados PG obtenidos con el método SHRP. Posteriormente se da revisión a la memoria de Arteaga (2017) para comprender los nuevos métodos computacionales LTPP Bind 2.1 y LTPP 3.1, los cuales fueron incluidos permitiendo Analizar los comparativos que se generaron entre métodos de cálculo para temperatura de pavimento.
- **Adquisición de datos climatológicos históricos actualizados:** Las estaciones climatológicas pertenecientes a las regiones de interés son clasificadas de acuerdo a sus entidades responsables como son la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y Dirección General de Aguas (DGA), dentro de la base de datos en sus plataformas digitales se extrae los datos de temperaturas extremas diarias (mínima y máxima).
- **Revisión de nuevas estaciones climatológicas:** Se visita las plataformas digitales de la DMC y DGA para observar preliminarmente la cantidad de datos mensuales y el estado en que se encuentra la estación climatológica (cerrada o vigente) para decidir si cumple con los criterios mínimos de aceptación para ser empleados en la memoria investigativa.
- **Elaboración de archivo administrador y cálculo de datos:** Se diseñó una archivo Excell independiente capaz de concentrar los datos de una manera común para facilitar los cálculos matemáticos que significan los modelos norteamericanos LTPP Bind 2.1 y LTPP Bind 3.1 (siendo este último un modelo que encaja eficazmente con la realidad chilena por la extensión de sus estaciones verano e invierno) con la finalidad de lograr obtener los parámetros de temperatura pavimento máxima y mínima.
- **Revisión preliminar en parámetros obtenidos y otros:** Se busca dar una revisión en los cálculos para identificar la presencia de alguna desviación importante en cuanto a los indicadores como son desviaciones estándar, promedio móvil, promedio simple. Como también la consideración o no de algunos años completos de datos; Dando paso a revisar la base de datos (dato atípico), corregir si se permite e incluir la correspondiente observación en el trabajo.
- **Análisis y determinación de grados de desempeño SUPERPAVE (PG):** Obtenida las temperaturas de pavimento se determina un ligante asfáltico de acuerdo a su temperatura alta, baja e intermedia. A su vez suficiente para controlar las 3 fallas más comunes que considera el método SUPERPAVE.
- **Selección alternativas en ligante asfáltico tradicional:** Del mismo modo que se obtuvo el grado PG para cada estación climatológicas, se incluyen las alternativas como adecuados ligantes asfálticos tradicionales con alcance en Chile para una mezcla asfáltica en caliente (MAC). Los ligantes asfálticos tradicionales que se manejan son el 64 – 22, 58 – 28 y 42 – 34.
- **Proposición ligante asfáltico tradicional representativo:** Teniendo lo mencionado en la actividad anterior, se efectúa la elección de solo un ligante asfáltico tradicional disponible para la estación climatológica el cual lo representará cierta zona y servirá para efectos prácticos de constructibilidad.

- **Comparación de resultados grados PG actuales con respecto al último estudio de Leandro Arteaga:** En esta etapa se contrastan ambos estudios mediante cuadros comparativos donde se evalúa la presencia de cambios en las solicitudes del pavimento en la zona respectiva.
- **Conclusiones y recomendaciones:** Para culminar el estudio se elabora un resumen tal que sea mencionada la efectividad de los objetivos propuestos en el presente trabajo, además de incluir alcances que se hayan detectado durante el desarrollo de la memoria investigativa.

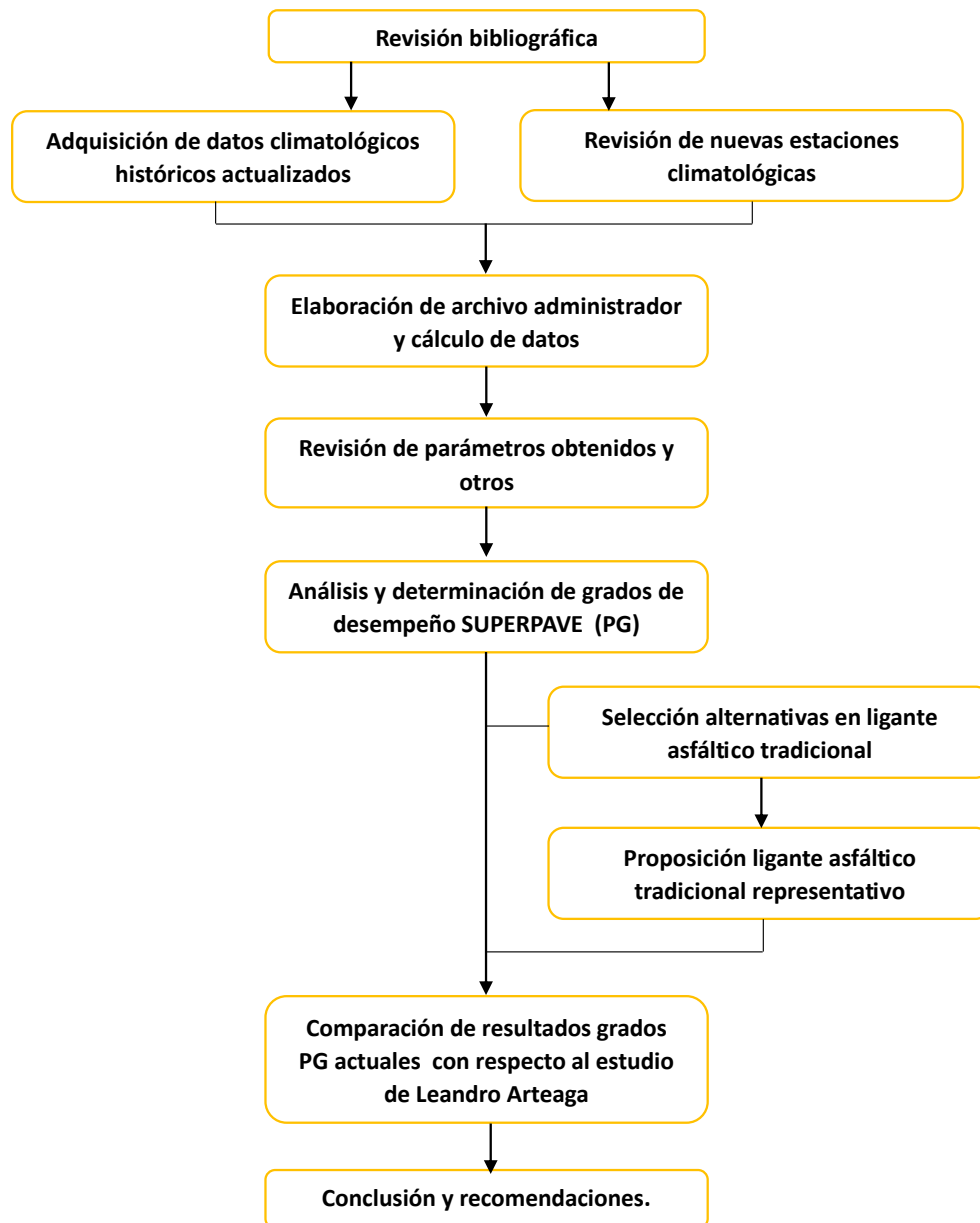


Figura 2-1: Metodología de Investigación y Estructura de Memoria (elaboración propia)

2.4 ALCANCE Y LIMITACIONES

- La información de la clasificación obtenida sobre los grados de desempeño PG y selección de ligantes tradicionales para las estaciones climatológicas fue extraída para uso en esta presente memoria del trabajo titulado: “Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico” realizado por Arteaga (2017), dado trabajo consideró información climática hasta la totalidad del año 2014 la que se utilizó inicialmente en el trabajo titulado: “Zonificación SUPERPAVE para Chile y Estudio Preliminar de la Influencia del Cambio Climático en el Desempeño de Pavimentos en Chile”, realizado por Segovia (2015). Por ende los resultados que se logran obtener son gracias a manejo propio.
- Es relevante mencionar que el procedimiento para determinar el ligante asfáltico descrito en AASHTO M320, indica emplear condiciones normales en una carretera, esto quiere decir que para el diseño de pavimentos se debe suponer altas velocidades y cargas transitorias (Tipo de tránsito categoría S, según MC V°8 8301.10), evitando así los saltos de grados PG y se obtenga un estudio base estándar.
- El trabajo concentra únicamente las estaciones climatológicas ubicadas entre la XV región de Arica y Parinacota, y la V Región de Valparaíso.
- El resultado obtenido de los grados de desempeño PG se ve directamente relacionado a la realidad de las temperaturas extremas que entrega las fuentes o entidades responsables (DMC y DGA) de las estaciones climatológicas. Por este motivo pueden existir errores instrumentales por mal medición propia de las estaciones ya sea por agentes externos o internos del equipo, como inclusive también dado a una ausencia sobre la actualización reciente.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 SUPERPAVE

3.1.1 Introducción

Se conoce al sistema SUPERPAVE como al producto derivado del mega proyecto de investigación desarrollado a lo largo de cinco años a partir de 1987 por el SHRP (Strategic Highway Research Program) en Estados Unidos. Este sistema SUPERPAVE nació en el año 1993, es capaz de especificar materiales propiamente tales de una mezcla asfáltica en caliente, además del diseño de la mezcla y predicciones a futuro del desempeño del pavimento. Estas herramientas que entrega el sistema SUPERPAVE se encuentran publicadas en un conjunto de normas AASHTO, como también aparece en las normas ASTM los ensayos de laboratorio necesarios para controlar las propiedades reológicas del ligante asfáltico seleccionado.

Es por esto que SUPERPAVE vincula de gran manera las propiedades reológicas del asfalto y su desempeño ante las condiciones climatológicas como también las de servicio que demanda el sector geográfico donde sea emplazado un pavimento asfáltico. Por ende reuniendo las variables antes mencionadas, el sistema logra establecer su especificación para la determinación de un ligante asfáltico en base al desempeño; Entonces en principio la metodología para diseño requiere de registros climáticos completos (temperaturas máximas y mínimas) que son trabajadas mediante un modelo de cálculo de grados de desempeño (SHRP, LTPP2.1, LTPP3.1 u otro futuro) que entrega como valor las temperaturas altas y bajas del pavimento que se espera que alcance en servicio, dando paso a la determinación del PG teórico que se utilizará para determinar el ligante asfáltico capaz de dar respuesta eficazmente a las 3 fallas más comunes en el pavimento como lo son el ahuellamiento, agrietamiento térmico y agrietamiento por fatiga. Además la metodología incorpora las condiciones de tráfico que decidirán el valor de aporte al PG teórico, estas condiciones son el volumen de tránsito (asociado a ejes equivalentes esperados en los 20 años de ciclo de vida del pavimento) y tiempo de carga (asociado a la velocidad de tránsito).

Como la metodología en su etapa de diseño entrega un ligante asfáltico óptimo para una respectiva zona, el sistema SUPERPAVE especifica una serie de valores requisitos que debe ir dando cumplimiento el cemento asfáltico en laboratorio, bajo las condiciones de temperatura máxima y mínima que son determinados por el ligante asfáltico. La factibilidad de este proceso que conocemos como el control de propiedades reológicas se fortalece gracias a que el propio sistema SUPERPAVE emplea ensayos sobre condiciones de envejecimiento en un pavimento real, que podemos encontrar cuando se genera endurecimiento por la oxidación que genera el mezclado en caliente y colocación, del mismo modo que envejece por los años de servicio.

3.2 SUPERPAVE EN CHILE

3.2.1 Aporte de estudios previos

Actualmente gracias a estudios preliminares, existe una zonificación para Chile desarrollada en la memoria de titulación “Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico” (Arteaga, 2017) y otra zonificación desarrollada por el Laboratorio Nacional de Vialidad. Pero aún no han llegado a acuerdo los mandantes de obras viales (Dirección de Vialidad, SERVIU, Dirección de Aeropuerto) para la elección de una zonificación SUPERPAVE representativa para el país con lo que se dificulta la aplicación práctica de la especificación por desempeño que propone SUPERPAVE.

Arteaga en su memoria empleó datos hasta 2015 y es posible que existan más estaciones que puedan complementar las 94 empleadas por Arteaga. Dado esto, se quiere desarrollar en la memoria una actualización (hasta el 2023) de los grados PG de las estaciones climatológicas vigentes comprendidas entre la XV Región de Arica y Parinacota y la V Región de Valparaíso que fueron empleadas por Arteaga (43 estaciones), así también evaluar la inclusión de nuevas estaciones climatológicas que cumplan con los criterios mínimos de aceptación, entregando de esta forma una mayor representatividad en su localidad, y realizar un comparativo de los resultados del estudio anterior (memoria de titulación Arteaga, 2017).

3.2.2 Necesidades de desarrollo

Con la presente memoria se busca principalmente entregar colaboración al Comité de Asfaltos de Chile en la realización de un Mapa SUPERPAVE de Chile (referenciando cada territorio con su respectivo ligante asfáltico); De este mismo modo también contribuir al uso práctico en instancias de diseño de proyectos viales cuando se necesita seleccionar un adecuado ligante asfáltico mediante la aplicación de la norma NCh 2444 “Asfaltos para pavimentos – Clasificación y Requisitos” actualizada, tal que promueva mejoras resultados en la calidad de las pavimentos flexibles chilenos.

3.3 APLICACIÓN METODOLOGÍA SUPERPAVE

3.3.1 Criterios para selección de estaciones climatológicas chilenas

Como input de entrada fundamental para comenzar a aplicar la metodología SUPERPAVE, se debe poseer los registros de las temperaturas máximas, mínimas e intermedias otorgadas por la base de datos de alguna estación climatológica. Los tres parámetros anteriormente mencionados traen consigo directa relación con el origen de los deterioros más relevantes que sufre un pavimento asfáltico de acuerdo a estudios realizados en el proyecto investigativo norteamericano SHRP (Strategic Highway Research Program), estos son el ahuellamiento (T° máxima), agrietamiento por fatiga (T° intermedia) y el agrietamiento térmico (T° mínima).

La cantidad de recursos disponibles para medición climatológica que dispone Chile a diferencia de Estados Unidos es considerablemente menor, por ende surge la necesidad de emplear la mayoría de las estaciones climatológicas disponibles “vigentes” pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y Dirección General de Aguas (DGA). Entonces tomando como referencia la memoria de Arteaga 2017 sabemos que si se aplica únicamente el criterio de “20 años mínimos con datos completos” la cantidad de estaciones climáticas a estudiar se reduciría considerablemente, por lo tanto nace la necesidad de incorporar 3 criterios previos que permitan tomar en cuenta años que presenten temperaturas faltantes y sean aptos para rellenar. Estos 3 criterios son de uso exclusivo para estudio en Chile dada el ciclo estacionario que alcanzan las temperaturas máximas y mínimas en el territorio nacional, esto quiere decir que tanto en zona norte, centro y sur existe una tendencia a encontrar los valores altos de temperatura en verano y los valores más bajos se observan en invierno. A continuación se mencionan los criterios establecidos para la presente memoria:

CRITERIO 1: Determinación de un año completo de datos.

Dado que en un año las extremas diarias de temperaturas máximas y mínimas se concentran mayoritariamente en verano e invierno respectivamente, se vuelve necesario poder controlar la cantidad de estos registros específicamente entre las fechas de sus rangos estacionarios. Entonces para que un año sea considerado en el estudio, debe cumplir independientemente tanto como para la temperatura máxima y mínima las siguientes exigencias:

- **Temperatura máxima diaria:** un año se considerará completo, cuando posea un mínimo de 95% en registros pertenecientes al **periodo caluroso**, el cual inicia el 21 de noviembre y finaliza el 21 de marzo (121 días), esto significa que debe poseer como mínimo 115 días con registros.
- **Temperatura mínima diaria:** un año se considerará completo, cuando posea un mínimo de 95% en registros pertenecientes al **periodo frío**, el cual inicia el 21 de mayo y finaliza el 21 de septiembre (124 días), esto significa que debe poseer como mínimo 118 días con registros.

CRITERIO 2: Días faltantes dentro el periodo caluroso.

Únicamente para el caso de la temperatura máxima diaria, si existe cumplimiento del criterio 1 pero el periodo caluroso no dispone con la totalidad de sus registros (100%), se deberá buscar rellenar estos vacíos con el promedio entre la temperatura máxima diaria del día anterior y posterior. Se busca completar el periodo, puesto que para el cálculo de la máxima temperatura del pavimento se utiliza el promedio móvil de siete días consecutivos, por esta razón no se considerará el año si existen más de 2 registros faltantes en rangos de 7 días dentro del periodo. A continuación se presentan algunos casos de años aceptados y rechazados a fin de servir como aplicación al estudio.

Mes Caluroso		Mes Caluroso		Mes Caluroso	
Día	Presencia de Dato	Día	Presencia de Dato	Día	Presencia de Dato
1	✓	1	✓	1	✓
2	✓	2	✓	2	✓
-		-		-	
-		-		-	
12	✓	12	✓	12	✗
13	✓	13	✓	13	✓
14	✓	14	✗	14	✓
15	✓	15	✓	15	✓
16	✗	16	✓	16	✓
17	✓	17	✗	17	✓
18	✓	18	✓	18	✓
19	✓	19	✓	19	✗
-		-		-	
-		-		-	
29	✓	29	✓	29	✓
30	✓	30	✓	30	✓
AÑO ACEPTADO		AÑO RECHAZADO		AÑO ACEPTADO	

Figura 3-1: Ejemplos de aceptación en años según criterio 2

CRITERIO 3: Información actual.

La metodología planteada por SHRP para la elección de ligantes asfálticos, indica que una estación climatológica podrá ser incluida al estudio si cuenta con 20 años mínimos de temperaturas extremas, dado a esta exigencia que impone el sistema SUPERPAVE se toma en cuenta además la actualidad de los años considerados ya que se desea tener una referencia a la realidad climática actual de la zona afectada producto del cambio climático que se provoca por la alteración en la composición de la atmósfera mundial.

Este criterio por lo tal exige que las estaciones posean registros hasta el año 2005 como mínimo; por ejemplo, si una estación cuenta con registros completos (20 años) entre los años 1975 y 2000 no podrá ser considerado por la antigüedad de su periodo temporal.

3.3.2 Estaciones climatológicas resultantes de estudios anteriores

Obtenida la base de datos para las estaciones climatológicas disponibles en la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Dirección General de Aguas (DGA), se pudo aplicar filtro sobre las estaciones disponibles en función de los 3 criterios anteriormente mencionados, los 20 años mínimos de registros completos, y además de considerar exclusivamente estaciones climatológicas en estado “vigentes” ya que son las que tendrán proyección para estudios a futuro.

Se presenta a continuación el listado publicado en la última memoria investigativa de Leandro Arteaga (2017), sobre las estaciones climatológicas comprendidas entre la XV Región de Arica y Parinacota y V Región de Valparaíso, que lograron cumplir con todos los criterios existentes.

Tabla 3-1: Estaciones climatológicas seleccionadas según memoria Arteaga, 2017 (elaboración propia)

N°	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	ALTURA	LATITUD	LONGITUD
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	63	-18,3514	-70,3358
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	52	-20,5467	-70,1772
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	2293	-22,4953	-69,9044
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	113	-23,4503	-70,4411
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	142	-29,9172	-71,2003
6	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	75	-33,6550	-71,6142
7	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	110	-18,5119	-70,2842
8	DGA	XV	AZAPA	365	-18,5156	-70,1806
9	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	4585	-18,2353	-69,1833
10	DGA	XV	CODPA	1870	-18,8322	-69,7439
11	DGA	I	COYACAGUA	4013	-20,0531	-68,8075
12	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	4020	-19,9333	-68,8369
13	DGA	II	CASPANA	3260	-22,3367	-68,2122
14	DGA	II	CHIU-CHIU	2524	-22,3378	-68,6367
15	DGA	II	CONCHI EMBALSE	3010	-22,025	-68,6242
16	DGA	II	LINZOR	4100	-22,2297	-68,0228
17	DGA	II	PARSHALL N 2	3318	-21,9428	-68,5175
18	DGA	II	PEINE	2460	-23,6842	-68,0581
19	DGA	III	CANTO DE AGUA	330	-28,0992	-70,7811
20	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	430	-28,5761	-70,8081
21	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	1110	-27,9783	-70,0033
22	DGA	III	LOS LOROS	940	-27,8317	-70,1119
23	DGA	III	SAN FELIX	1150	-28,9311	-70,4614
24	DGA	III	SANTA JUANA	560	-28,6672	-70,6625
25	DGA	IV	CAREN	740	-30,8547	-70,7708
26	DGA	IV	COGOTI EMBALSEA	740	-31,0078	-71,0856
27	DGA	IV	EL TRAPICHE	300	-29,3731	-71,1181
28	DGA	IV	HURTADO	1100	-30,2867	-70,6961
29	DGA	IV	ILLAPEL DGA	290	-31,645	-71,1908
30	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	3160	-30,2033	-70,0422
31	DGA	IV	LA ORTIGA	1560	-30,1939	-70,4819
32	DGA	IV	LA TRANQUILLA	1000	-31,9	-70,6706
33	DGA	IV	LAS RAMADAS	1380	-31,0181	-70,5858
34	DGA	IV	LOS CONDORES	190	-32,1086	-71,3125
35	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	320	-30,6958	-71,0361
36	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	350	-30,5069	-71,0997
37	DGA	IV	RIVADAVIA	820	-29,9772	-70,5617
38	DGA	V	ALICAHUE	750	-32,3408	-70,7528
39	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	360	-33,145	-71,5533
40	DGA	V	LLIU -LLIU EMBALSE	260	-33,0986	-71,2144
41	DGA	V	LOS AROMOS	100	-32,9578	-71,345
42	DGA	V	QUILLOTA	130	-32,8958	-71,2092
43	DGA	V	VILCUYA	1100	-32,8603	-70,4719

3.3.3 Confiabilidad

El sistema SUPERPAVE considera la confiabilidad como el porcentaje de probabilidad en que la temperatura de diseño no superará a la temperatura de diseño del pavimento en un año eventual. Las confiabilidades abordan valores desde 0% a 100%, siendo las más comunes la de 50% y 98% para estudios de este tipo.

El promedio móvil (7 días consecutivos) y la temperatura mínima que obtenemos para la expresión de temperatura alta de pavimento tiene una directa relación con el modelo estadístico de distribución normal estándar, ya que contamos con parámetros propios de esta. Donde el valor Z del modelo denota la cantidad de desviaciones estándar que hay por encima o debajo de la media. El parámetro Z se encuentra presente en las fórmulas de los modelos LTPP 2.1 y LTPP 3.1

Para esta memoria consideraremos las dos confiabilidades más comunes como lo son el 50% y 98 % donde Z corresponderá a 0 y 2,054 respectivamente como se puede observar de la *Figura 3-2* y *Tabla 3-2*.

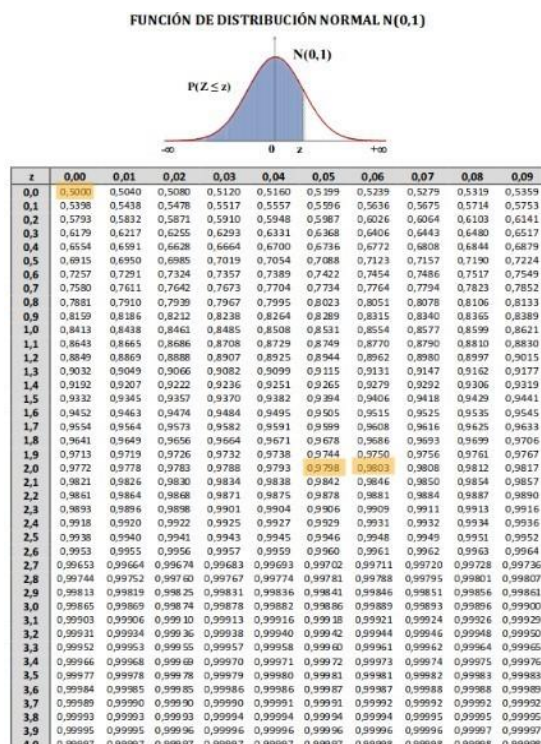


Figura 3-2: Tabla de probabilidades de la distribución normal

$$z = (p - p_1) \cdot \frac{z_2 - z_1}{p_2 - p_1} + z_1$$

Figura 3-3: fórmula de interpolación de probabilidad para cálculo de Z

z	2,0540	p	0,98
p1	0,9798	p2	0,9803
z1	2,05	z2	2,06

Tabla 3-2: Cálculo de la variable Z mediante interpolación (elaboración propia)

Tomando en cuenta que no se encuentra la probabilidad exacta de 98% (0,9800) en la tabla de distribución normal, es necesario interpolar la probabilidad deseada para obtener su respectivo valor de Z (distribución normal estándar), con la ayuda de una función lineal aproximada como queda detallado por la fórmula en la *Figura 3-3*.

3.3.4 Modelos de cálculo para temperaturas de pavimento

El sistema SUPERPAVE constantemente va adquiriendo nuevos avances que permiten en diseño establecer modelos de cálculos más cercanas al comportamiento que adopta el pavimento asfáltico ante agentes externos, de esta manera es que el clima por medio de la temperatura del aire afecta directamente al pavimento por contacto, provocando a su vez que al pavimento adquiera su propia temperatura. De modo que para representar el fenómeno anterior se encuentran establecidos actualmente tres métodos norteamericanos reconocidos durante el desarrollo del sistema SUPERPAVE siendo ya aplicados en estudios chilenos, como lo son el método SHRP (original y corregido), LTPP 2.1 y LTPP 3.1. Métodos que van evolucionando a favor gracias a investigaciones y observaciones de carreteras en pavimentos asfálticos de EE.UU, dejando atrás las ecuaciones comunes con resultados tan conservadores. Todos los modelos de cálculo de temperatura de pavimento incluidos en SUPERPAVE hacen el análisis en la capa de 20 mm. de profundidad para la alta y la baja en la superficie del pavimento. A continuación se describen los tres modelos antes nombrados

Método SHRP

SUPERPAVE en sus principios para obtener los grados de desempeño contaba con la ecuación de Hubber en 1994 derivada del megaproyecto investigativo SHRP, la cual determinaba la temperatura alta y baja del pavimento asfáltico, requiriendo ambas de las temperaturas extremas diarias en un periodo mínimo de 20 años, además de la latitud geográfica de la estación (alta temperatura) y del pavimento la profundidad de capa evaluada (baja y alta temperatura). Cabe destacar que SUPERPAVE solo considera para la alta temperatura el promedio móvil de los 7 días más calurosos inconveniente del método de cálculo que se utilice.

- **Alta temperatura:**

La alta temperatura de diseño del pavimento debe ser calculada a los 20 mm. de profundidad según indicación SUPERPAVE, como se logra apreciar a continuación en la expresión para $T_{pav\ 20\ mm}$.

$$T_{pav\ 20\ mm} = (T_{aire} - 0,00618 * Lat^2 + 0,2289 * Lat + 42,4) * 0,9545 - 17,78$$

Donde:

$T_{pav\ 20\ mm}$: máxima temperatura del pavimento asfáltico a una profundidad 20 [mm] [°C]

T_{aire} : promedio de la temperatura del aire para el periodo más caluroso de 7 días consecutivos en [°C]

Lat: latitud geográfica de la zona de estudio en grados (valor absoluto)

- **Baja temperatura:**

La baja temperatura de diseño del pavimento debe ser calculada respecto a la superficie a una profundidad de 0 mm. donde alcanza su valor más bajo, como se logra apreciar a continuación en la expresión para $T_{pav\ H\ mm}$.

$$T_{pav\ H\ mm} = (T_{aire} - 0,051 * H - 0,000063 * H^2)$$

$$T_{pav\ 0\ mm} = T_{aire}$$

Donde:

$T_{pav\ 0\ mm}$: temperatura mínima del pavimento en su superficie [°C]

T_{aire} : temperatura mínima del aire dentro del período más frío en un año promedio [°C]

H: profundidad en [mm]

Método SHRP corregida

En este método se conserva la fórmula anterior para alta temperatura de pavimento y en cuanto a la baja temperatura de pavimento se propone una nueva expresión, después de estudios con datos pertenecientes al país de Canadá. La principal necesidad de rearmar una nueva fórmula es por lo conservador que significaba decir que la temperatura baja del pavimento en la superficie sería igual a la temperatura mínima del aire, esto respaldado de resultados que se vieron observados en campo.

Entonces la nueva fórmula SHRP para la temperatura baja de pavimento adquirió más confiabilidad y demanda, quedando compuesta como se aprecia a continuación.

- **Baja temperatura:**

$$T_{min} = 0,859 * T_{aire} + 1,7^{\circ}$$

Donde:

T_{min} : temperatura mínima de diseño del pavimento [°C]

T_{aire} : temperatura mínima del aire dentro del período más frío en un año promedio [°C]

Método LTPP 2.1

El método se encuentra fundamentado en el software LTPP Bind 2.1 o también conocido por “Programa de Desempeño de Pavimentos a Largo Plazo (Long-Term Pavement Performance Program, LTPP) desarrollado entre los años 1993 y 1995 a cargo de la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration, FHWA); dejando fuera al modelo conservador planteado inicialmente por SHRP.

Las fórmulas resultantes se diferencian del modelo anterior, puesto que al correlacionar la variable dependiente (temperatura de pavimento) con las independientes (T_{aire} , Latitud, Profundidad) surge la expresión - Log_{10} sobre la profundidad (H), como también incorporando expresión de confiabilidad (Z) y variabilidad (σ_{aire}); Como se aprecia a continuación.

- **Alta temperatura**

$$T_{pav\ H\ mm} = 54,32 + 0,78 * T_{aire} - 0,0025 * Lat^2 - 15,14 * Log_{10}(H + 25) + Z * (9 + 0,61 * (\sigma_{aire})^2)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$T_{pav\ H\ mm}$: máxima temperatura del pavimento asfáltico a una profundidad H [mm] [°C]

T_{aire} : promedio de la temperatura del aire para el periodo más caluroso de 7 días consecutivos en [°C]

Lat: latitud geográfica de la zona de estudio en grados

H: profundidad [mm]

σ_{aire} : desviación estándar del aire en el periodo más caluroso de 7 días consecutivos en [°C]

Z: variable estandar de la distribución normal

Cabe mencionar que al tomar en cuenta la confiabilidad en un 50% se debiera emplear un Z = 0 y para un 98% un Z = 2,054.

- **Baja Temperatura**

$$T_{pav\ H\ mm} = -1,56 + 0,72 * T_{aire} - 0,004 * Lat^2 + 6,26 * Log_{10}(H + 25) - Z * (4,4 + 0,52 * (\sigma_{aire})^2)^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$T_{pav\ H\ mm}$: temperatura mínima del pavimento asfáltico a una profundidad H [mm] [°C]

T_{aire} : temperatura mínima del aire dentro del período más frío en un año promedio [°C]

Lat: latitud geográfica de la zona de estudio en grados

H: profundidad [mm]

σ_{aire} : desviación estándar de las temperaturas mínimas para el periodo más frío [°C]

Z: variable estandar de la distribución normal

Cabe mencionar que al tomar en cuenta la confiabilidad en un 50% se debiera emplear un $Z = 0$ y para un 98% un $Z = 2,054$.

Método LTPP 3.1 (basado en daño)

Debido a las pruebas en campo que se realizaron sobre el rendimiento de los pavimentos asfálticos norteamericanos, para el año 2005 surgió una nueva metodología de cálculo para la alta temperatura de pavimento denominada LTPP Bind 3.1 esta nueva versión incluye a la variable denominada DD (grados-días), dando término al promedio móvil de los 7 días más calurosos que se utilizaba en los métodos anteriores señalados; El fundamento de la nueva variable DD nace por el hecho que se identificó en algunas localidades presencia de ahuellamiento sobre pavimentos en localidades donde la temperatura de diseño del ligante nunca se vio superada por la máxima temperatura diaria real, pero el mismo pavimento si estuvo sometido a un periodo prolongado (días extras al periodo más caluroso en un año) de altas temperaturas lo que conllevó a una susceptibilidad al ahuellamiento. En términos prácticos los métodos SHRP y LTPP Bind 2.1 recomienda ligantes muy blandos en localidades donde se tiene periodos de calor más extensos de lo normal, ante esto la mejor alternativa es LTPP Bind 3.1 basada en daño.

El origen del método se basa en el daño, puesto que se estudia un modelo gráfico de daño acumulado v/s grado temperatura alta de desempeño (PG), al cual tiene como resultado de daño acumulado a la razón entre números de ejes equivalente simples a cierta temperatura sobre el número de ejes equivalentes simples que se obtienen hasta la falla (ahuellamiento). Obteniendo la gráfica, se determinó una fórmula que mejor representara el comportamiento de los ligantes ante el daño, para esto se usaron algunos parámetros del método LTPP 2.1 además del uso del DD (grados-días) que corresponde a la suma acumulada de grados sobre 10°C dentro de los 6 meses más calurosos del año en un espacio muestral de 20 años como mínimo. La unidad de DD (grados-días) es [1000°C-Días]

- **Alta temperatura**

$$PG_d = 48,2 + 14 * DD_{aire} - 0,96 * (DD_{aire})^2 - 2 * RD$$

Donde:

PG_d : grado de alta temperatura basado en daño [°C]

DD_{aire} : promedio de las sumas anuales de grados – días sobre 10°C [1000 C°]

RD: profundidad de ahuellamiento permitido (5 – 13) [mm]

$$CV_{PG} = 0,000034 * (Lat - 20)^2 * RD^2$$

Donde:

CV_{PG} : *coeficiente de variación anual del PG [%]*

Lat : *latitud geográfica de la zona en estudio en grados.*

RD : *profundidad de ahuellamiento permitido (5 – 13) [mm]*

$$PG_{confiabilidad} = PG_d + Z * PG_d * \frac{CV_{PG}}{100}$$

Donde:

$PG_{confiabilidad}$: *grado de alta temperatura basado en daño LTPP 3.1 para cierta confiabilidad [°C]*

CV_{PG} : *coeficiente de variación anual del PG [%]*

Z : *variable estándar de la distribución normal*

PG_d : *grado de alta temperatura basado en daño LTPP 3.1 [°C]*

- **Baja temperatura**

Se emplea la misma que en el modelo LTPP 2.1 puesto que es la expresión que relaciona mejor a las variables y demostrado buenos resultados en EE.UU.

3.3.5 Asignación del grado de desempeño SUPERPAVE

El sistema SUPERPAVE culmina su etapa de diseño para el ligante asfalto, con la determinación del grado de desempeño (performance grade, PG) la cual consiste en capacidades o límites de temperaturas que posee el ligante asfáltico para que sus propiedades físicas no se vean alteradas por las solicitaciones climáticas de la correspondiente localidad. El grado PG se compone de una temperatura alta XX y una temperatura baja YY, quedando estructurada como “PG XX-YY”, tanto alta como baja independientemente proponen más temperaturas que se distanciaran por 6°C como se puede apreciar en la *Figura 3-4*.

XX	YY
46	34 46 52
52	10 16 22 28 34 40 46
58	16 22 28 34 40
64	10 16 22 28 34 40
70	10 16 22 28 34 40
76	10 16 22 28 34
82	10 16 22 28 34

Figura 3-4: Grados de desempeño PG SUPERPAVE (adaptado (publicación Roberto Lazo, 2013))

En términos prácticos:

- El ligante asfáltico PG 58-YY, tendrá buen desempeño de sus propiedades físicas y mecánicas para temperaturas iguales o inferiores a 58°C, evitando que el pavimento presente ahuellamiento (falla predominante para altas temperaturas).
- Para el caso de un ligante asfáltico PG XX-28, este tendrá buen desempeño de sus propiedades físicas y mecánicas para temperaturas iguales o mayores a -28°C, evitando que el pavimento presente agrietamiento térmico (falla predominante para bajas temperaturas). Complementando a los dos puntos anteriores se presenta a continuación la *Tabla 3-3*, con la finalidad de ejemplificar la elección de los grados de desempeño PG.

Tabla 3-3: Ejemplos para determinar grados de desempeño PG teóricos (elaboración propia)

T° máxima del pavimento [°C]	T° mínima del pavimento [°C]	Grado PG
53,9	4,9	58-10
43,9	-16,1	46-22
61,2	-10,3	64-16
48,7	-9,5	52-10

- Dentro de la nomenclatura del grado PG de un ligante asfálticos además está presente implícitamente el término de temperatura intermedia, el cual busca resguardar el comportamiento del ligante ante la falla por agrietamiento por fatiga. El valor de temperatura intermedia del ligante se obtiene del cálculo según la fórmula que se presenta a continuación:

$$T_{intermedia} = \frac{Grado_{Alta T^{\circ}} - Grado_{Baja T^{\circ}}}{2} + 4 = \frac{XX - YY}{2} + 4$$

3.4 ENVEJECIMIENTO Y ENSAYOS SUPERPAVE.

3.4.1 Envejecimiento del asfalto

El asfalto si bien para pavimentos flexibles es un material atractivo por sus propiedades visco-elásticas, por otra parte su aspecto desfavorable principal está arraigado a la oxidación, lo cual genera un asfalto con pérdida en sus capacidades mecánicas y propiedades reológicas a lo largo de su ciclo de vida del pavimento, determinado por las características estructurales y factibilidad económica que requiera el proyecto.

La reacción de oxidación o envejecimiento corresponde al proceso que va desarrollando el asfalto producto del contacto molecular directamente con oxígeno y otras condiciones ambientales, produciendo así la alteración en la composición fisicoquímica del cemento asfáltico que por efecto endurece las capas asfálticas siendo físicamente rígido y frágil. El envejecimiento se puede comprender en término de dos etapas: envejecimiento a corto y largo plazo; la etapa inicial denominada envejecimiento a corto plazo considera a una oxidación derivada del mezclado (producción mezcla asfáltica), almacenamiento, transporte, colocación y compactación de la mezcla, manteniendo altas temperaturas que van provocando la volatilización de ciertos componentes químicos del cemento asfáltico. La etapa posterior denominada envejecimiento a largo plazo tiene lugar a lo largo de la vida útil del asfalto, llevándose a cabo una oxidación debida a radiaciones UV, humedad y lluvia. Por lo tanto el efecto perjudicial más claro se ve reflejado en la capa superior del asfalto, la que se va tornando endurecida (rígida) y susceptible a agrietamiento por cargas de tráfico.

Entonces para la evaluación en laboratorio de las propiedades reológicas del cemento asfáltico se realizan los ensayos tanto para la condición original y envejecida del asfalto debido al proceso de oxidación. De acuerdo con lo anterior, para simular la condición real del asfalto por envejecimiento, tenemos que a corto plazo se utilizará la prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO “Rolling Thin Film Oven Test”), normada por ASTM D2872, AASHTO T240, norma 8.302.33 del manual de carretera Vol.8; y para simular un asfalto envejecido a largo plazo se aplica la prueba de cámara a presión “PAV” (Pressurized Aging Vessel) normado por AASHTO R28-06.

Toda muestra que sea ensayada mediante condición envejecido por cámara de presión PAV, debe estar previamente envejecida mediante prueba de RTFO dado que la prueba inicial es la más agresiva en cuanto a oxidación; Además el proceso constructivo en la colocación es sumamente importante dado que una buena compactación de las carpetas evita la presencia mayor de vacíos que podrían dar pie al ingreso de aire.

3.4.2 Requisitos para clasificar ligantes asfálticos en grados PG, mediante ensayos.

Posterior a la etapa de diseño para ligante asfáltico, se debe verificar en laboratorio algunas propiedades reológicas del ligante disponible tomando fundamentalmente como referencia las tablas de requisitos SUPERPAVE que determinarán la capacidad en grados PG que alcanza el ligante evaluado. Todos los ensayos que se realizan deben efectuarse a una determinada temperatura y envejecimiento como se detalla en las siguientes *Tabla 3-4*.

Tabla 3-4: Requisitos de ligantes asfálticos para clasificación SUPERPAVE (8.301.8 del MC Vol.8 ,2022)

TABLA 8.301.8.B															
REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE															
GRADO DE DESEMPEÑO	PG 46			PG 52						PG 58					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40
Temperatura máxima de diseño, media móvil (7 días) de temp. máx. de pavimento, °C (a)	< 46			< 52						< 58					
Temperatura mínima del pavimento de diseño, °C	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40
LIGANTE ASFALTICO ORIGINAL															
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230														
Viscosidad, 8.302.24: Máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C (b)	135														
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (e) mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C (c)	46			52						58					
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)															
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00														
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ (e), mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	46			52						58					
CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV (8.302.23)															
Temp. de envejecimiento, °C (d)	90			90						100					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ (e), máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13
Rigidez en creep 8.302.25, a 60 s: S máx. 300 MPa, valor-m mín. 0,300 temp. ensaye, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30

Tabla 4: Requisitos de ligantes asfálticos para clasificación SUPERPAVE (8.301.8 del MC Vol.8 ,2022)
(continuación)

TABLA 8.301.8.B (CONTINUACIÓN)
REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 64						PG 70					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura máxima para el diseño, media móvil (7 días) de temp. máx. de pavimento, °C ^(a)	< 64						< 70					
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -40
LIGANTE ASFÁLTICO ORIGINAL												
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230											
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C ^(b)	135											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C ^(c)	64						70					
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)												
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00											
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	64						70					
CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV (8.302.23)												
Temp. de envejecimiento, °C ^(d)	100						100 (110)					
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ, máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	31	28	25	22	19	16	34	31	28	25	22	19
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 temp. ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Tabla 4: Requisitos de ligantes asfálticos para clasificación SUPERPAVE (8.301.8 del MC Vol.8 ,2022)
(continuación)

TABLA 8.301.8.B (CONTINUACIÓN)
REQUISITOS DE LOS ASFALTOS SUPERPAVE

GRADO DE DESEMPEÑO	PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura máxima para el diseño, media móvil (7 días) de temp. máx. de pavimento, °C ^(a)	< 76					< 82				
Temperatura mínima del pavimento para el diseño, °C	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34	> -10	> -16	> -22	> -28	> -34
LIGANTE ASFÁLTICO ORIGINAL										
Punto de inflamación, 8.302.9, temperatura mínima, °C	230									
Viscosidad, 8.302.24: máx. 3 Pa.s, temperatura ensaye, °C ^(b)	135									
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 1,00 kPa, temp. ensaye, °C ^(c)	76					82				
HORNO ROTATORIO DE PELICULA DELGADA RTFOT (8.302.33)										
Pérdida de masa, porcentaje máx.	1,00									
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*/senδ, mín. 2,2 kPa, temp. ensaye, °C	76					82				
CÁMARA DE ENVEJECIMIENTO A PRESIÓN PAV (8.302.23)										
Temp. de envejecimiento, °C ^(d)	100 (110)					100 (110)				
Corte dinámico, 8.302.22, 10 rad/s: G*senδ, máx. 5000 kPa, temp. ensaye, °C	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Rigidez en creep, 8.302.25, a 60 s: S máx 300 MPa, valor-m mín 0,300 Temp. ensaye, °C	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

Tabla 4: Requisitos de ligantes asfálticos para clasificación SUPERPAVE (8.301.8 del MC Vol.8 ,2022)
(continuación)

(a) Temperaturas del pavimento son estimadas a partir de las temperaturas del aire usando un algoritmo incluido en SUPERPAVE, o serán provistas por la agencia específica.
(b) El método referido será el 8.302.24 (usando un vástago No. 21 a 20 rpm), sin embargo, se pueden usar métodos alternativos para ensayos de rutina y control de calidad. Este requerimiento puede ser omitido si así lo dispone la Inspección Fiscal, siempre y cuando se garantice que el ligante asfáltico puede ser adecuadamente bombeado y mezclado a temperaturas que satisfagan todos los estándares de seguridad y calidad aplicables.
(c) Para el control de calidad de producción de cemento asfáltico no modificado, la medida de la viscosidad puede realizarse por medición de $G^*/\sin$ en el reómetro de corte dinámico, a temperaturas de ensaye donde el asfalto se comporta como fluido Newtoniano. Cualquier estándar adecuado de medida de viscosidad puede ser usado, incluyendo ensayos de viscosidad capilar o viscosímetros rotacionales.
(d) La temperatura por usar en la cámara PAV está basada en la simulación de las condiciones climáticas y puede ser 90, 100 o 110°C. La temperatura para los grados asfálticos más altos, a partir de PG 64, es de 100°C, excepto en climas desérticos, donde es 110°C.
(e) $G^*/\sin\delta$ = rigidez a altas temperaturas, $G^* \sin\delta$ = rigidez a bajas temperaturas.

La anterior tabla para requisitos de asfaltos SUPERPAVE presenta únicamente el caso de un pavimento asfáltico bajo condiciones de tránsito Tipo S (presentado por la *Tabla 3-5* a continuación), esto quiere decir que alberga altas velocidades (mayor a 70 Km/hrs) y bajo volumen en cargas de tránsito (entre 0,3 y 3 millones de ejes equivalentes EE que se esperan durante 20 años de la vida de diseño del pavimento). Es importante señalar que la condición de tránsito tipo S es la cual fue tomada en cuenta para la aplicación de la metodología SUPERPAVE sobre la actualización de los grados de desempeño PG, en la memoria.

Otro concepto que aborda la influencia del tipo de tránsito en la determinación de un grado de desempeño PG, es el denominado “salto PG”. Concepto que aparece en condiciones anormales para una carretera sobre todo cuando hay un número demasiado de cargas de tráfico pesado, de esta forma la siguiente *Tabla 3-5* informa sobre la distribución de los saltos PG disponibles para ser usados en compensación de los efectos que ingieren en el asfalto las condiciones de tránsito por bajas velocidades y altas cargas de tráfico; Según recomienda AASHTO M323 para la etapa de diseño.

Por lo tanto, dada la condición de tránsito S que es empleada en toda la memoria, el salto PG correspondiente es de cero.

Tabla 3-5: Clasificación por demanda del asfalto según volumen y velocidad de tránsito (8.301.10 del MC Vol. 8, 2022)

TABLA 8.301.10.A
TIPO DE TRÁNSITO

VOLUMEN DE TRÁNSITO	VELOCIDAD DE TRÁFICO		
	Menor a 20 km/hr	Entre 20 y 70 km/hr	Mayor a 70km/hr
EE millones			
0.3 < 3	H	S	S
3 < 10	V	H	H
10 < 30	E	V	V
≥30	E	E	E

Tabla 3-6: Saltos PG para el grado de desempeño de un asfalto según demanda de servicio (8.301.8 MC Vol.8, 2022)

TABLA 8.301.8.A
SALTOS PG DE ACUERDO AL VOLUMEN DE TRÁNSITO Y VELOCIDAD

VOLUMEN DE TRÁNSITO EE millones	VELOCIDAD DE TRÁFICO		
	Menor a 20 km/hr	Entre 20 y 70 km/hr	Mayor a 70 km/hr
0.3 < 3	2	1	0
3 < 10	2	1	0
10 < 30	2	1	1
≥ 30	2	1	1

3.4.3 Ensayos SUPERPAVE

Una vez que se ha logra determinar el ligante asfáltico adecuado para condiciones de tránsito y ambientales que demanda el proyecto de pavimentación, continúa la etapa en laboratorio donde se extraen parámetros de las propiedades reológica-físicas que posee la muestra de cemento asfáltico. Permitiendo así finalmente utilizar los parámetros para caracterizar la muestra de ligante asfáltico y controlar el desempeño que alcance sus propiedades reológicas.

Para tener un concepto más claro, en la próxima *Tabla 3-7* (ejemplo para un ligante PG 64-22) se muestra el detalle acerca de los requerimientos en cada ensayo según el ligante asfáltico obtenido en diseño de acuerdo a clasificación por su grado de desempeño PG como especifica la metodología SUPERPAVE.

Tabla 3-7: Requisitos de clasificación SUPERPAVE para un ligante PG 64-22 (elaboración propia)

Propiedad	Envejecimiento	Requisito	Temperatura de ensayo	Equipo, ensayo
Viscosidad	Original	Máximo 3 [Pa*s]	135°C	Viscosímetro rotacional
Rigidez	Original	$G^*/\sin(\delta) > 1$ [Kpa]	64°C (Alta T°)	Reómetro de corte dinámico
Rigidez	RFTO	$G^*/\sin(\delta) > 2,2$ [Kpa]	64°C (Alta T°)	Reómetro de corte dinámico
Rigidez	RFTO + PAV	$G^*/\sin(\delta) < 5000$ [Kpa]	25°C (T° intermedia)	Reómetro de corte dinámico
Rigidez en creep	RFTO + PAV	$S < 300$ [Mpa] y $m > 0,3$	-12°C (baja T° más 10°C)	Reómetro de viga en flexión
Deformación en rotura	RFTO + PAV	$\Delta L/L > 0,01$	-12°C (baja T° más 10°C)	Tracción directa

Como se explicó en la sección “2.4.1 Envejecimiento del asfalto” de la presente memoria, es sumamente necesario conocer el desempeño que alcanza el ligante asfáltico envejecido para controlar la falla. Para lo anterior se debe obtener en laboratorio las condiciones reales de terreno como el mezclado , compactación y servicio, las cuales se alcanzan con los siguientes dos equipos:

- **Horno de película delgada rotatorio (Rolling Thin Film Oven, RTFO):** El equipo RTFO (ver *Figura 3-5*) es empleado para envejecer la muestra del ligante asfáltico, con el fin de simular las condiciones posteriores a las etapas de preparación, colocación y compactación de una mezcla asfáltica. En términos prácticos el procedimiento consiste en calentar durante unos 85 minutos a 163°C la película de material asfáltico en movimiento, según lo detalla la sección 8.302.33 del Manual de Carretera 2022, Volumen 8.



Figura 3-5: Horno de película delgada rotatoria (RTFO)

- **Cámara de envejecimiento a presión (Pressure Aging Vessel, PAV):** El equipo PAV (ver *Figura 3-6*) es utilizado para envejecer la muestra de ligantes asfálticos previamente envejecidos por RTFO; este ensayo se lleva a cabo con el objetivo de simular las condiciones que alcanza el material asfáltico posterior al transcurso de varios años de servicio. En términos prácticos el procedimiento conlleva a ensayar el residuo de una muestra asfáltica inicialmente envejecida por un horno de película delgada rotatoria RTFO, este residuo es colocado en bandejas de acero inoxidable y se calienta de acuerdo a la temperatura de envejecimiento determinada por el grado de desempeño del ligante, durante 20 horas dentro de una cámara presurizada con aire a 2,10 MPa; una vez culminado el procedimiento, el residuo del ligante asfáltico es desgasificado en un horno por medio de vacío. Para conocer más detalles sobre ensayo, revisar la sección 8.302.23 del Manual de Carretera 2022, Volumen 8.

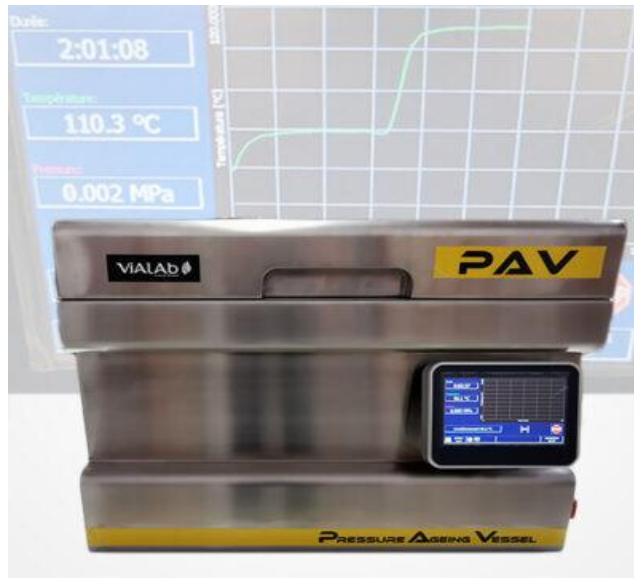


Figura 3-6: Cámara de envejecimiento a presión (PAV)

Consecuentemente una vez alcanzada las condiciones reales del ligante asfáltico con apoyo de los dos equipos antes mencionados, se procede a obtener las propiedades físicas mediante el uso de cuatro equipos:

- **Viscosímetro rotacional (Rotational Viscosimeter, RV):** la utilidad de este equipo (ver *Figura 3-7*) consiste en su capacidad para caracterizar la viscosidad del ligante asfáltico a 135°C (temperatura de ensayo establecida por sistema AASHTO en su especificación estándar T 316), temperatura en la cual va desarrollando su fluidez sin ser alterada su estabilidad. En resumen el ensayo consiste que la muestra debe estar dentro de un cilindro termostáticamente controlado a 135°C, alcanzada esta condición se sumerge un eje coaxial con un vástago metálico N°21 (de acuerdo a la sección 8.302.8 del MC Vol.8) aplicándose una velocidad rotacional constante de 20 rpm que por efecto de la resistencia de la muestra genera un torque con unidades de Pa*s. La especificación solicita una viscosidad máxima de 3 [Pa*s], límite que garantiza durante la mezcla asfáltica en caliente un ligante bombeable y manejable dentro de los estándares de seguridad. Para conocer más detalles sobre el ensayo, revisar la sección 8.302.24 del manual de carretera 2022, Vol. 8.



Figura 3-7: Viscosímetro rotacional (RV)

- Reómetro de corte dinámico (Dynamic Shear Rheometer, DSR):** la cualidad de este equipo (ver Figura 3-8) se remonta al caracterizar las propiedades visco-elásticas del ligante asfáltico. En términos generales se mide el módulo complejo en corte $|G^*|$ y el ángulo de fase (δ), mediante al procedimiento que consiste en depositar la muestra entre dos platos paralelos aplicando un torque oscilante; Entonces el DSR mide las variables a través de la respuesta de la deformación específica de corte del ligante. De este modo la deformación específica, se encuentra desfasada un cierto intervalo de tiempo Δt [s] con respecto a la tensión aplicada, siendo multiplicada por la frecuencia angular [rad/s] y obteniendo el parámetro deseado en medidas angulares. Si el material es totalmente elástico no hay retraso, entre la tensión de corte y la respuesta de la deformación específica de corte, por lo cual el ángulo de fase sería cero ($\delta=0$); Para la situación contraria, tendríamos un material totalmente viscoso, por lo cual la respuesta estaría absolutamente desfasada, siendo su ángulo de fase 90° ($\delta=90^\circ$). Los materiales visco-elástico como son los ligantes asfálticos adquieren ángulos de fase entre 0° a 90° , dependiendo de la temperatura que mantenga la muestra y la frecuencia de carga a la que se realiza el ensayo.

Las especificaciones SUPERPAVE controlan la rigidez del asfalto tanto para la altas temperaturas ($>46^\circ\text{C}$) mediante la relación $G^*/\sin(\delta)$ que busca garantizar que el asfalto entregue su mayor contribución a la resistencia global al corte de la mezcla en términos de elasticidad a altas temperaturas (defensa contra el ahuellamiento). En cuanto a las temperaturas intermedias (7°C a 34°C) se controla la rigidez mediante el producto $G^* \sin(\delta)$, protegiéndose del agrietamiento por fatiga. Para conocer más detalles sobre el ensayo, revisar la sección 8.302.22 del manual de carretera 2022, Vol. 8.



Figura 3-8: Reómetro de corte dinámico (DSR)

- Reómetro de viga en flexión (Vending Beam Rheometer, BBR):** el presente equipo (ver Figura 3-9) es empleado, para caracterizar las propiedades de rigidez del ligante asfáltico a bajas temperaturas. Se mide la rigidez en “creep” (S , ensayo a fuerza constante) y el logaritmo de la deformación en creep (m , razón mínima de cambio de la rigidez [MPa/s]). Estos parámetros pueden ser calculados, conociendo la carga constante aplicada a la viga en el punto medio de la luz y las deflexiones en el transcurso del ensayo, siempre y cuando se realice dentro del rango de respuesta visco-elástica lineal. Las especificaciones en SUPERPAVE precisan límites para S y m . Donde un bajo S (rigidez en creep) indica que el ligante no se fisura en tiempos de fríos y a su vez un alto valor de m , indica mayor efectividad en la relajación de tensiones en la estructura del pavimento asfáltico a bajas temperaturas, asegurando de esta forma la protección ante agrietamiento térmico. Para conocer más detalles sobre el ensayo, revisar la sección 8.302.25 del manual de carretera 2022, Vol. 8.

Para el caso en ligantes modificados específicamente con polímeros, se podría mantener un S más alta a la de borde superior, dado que los polímeros tienen propiedades de estiramiento que aportan a ligante ante agrietamiento térmico por bajas temperaturas.



Figura 3-9: Reómetro de viga en flexión (BBR) y elaboración de viga

- **Ensayo de tracción directa (Direct Tensión Test, DTT):** este ensayo (ver *Figura 3-10*) es utilizado con el fin de caracterizar los ligantes asfálticos, a bajas temperaturas. Se verifica que el ligante asfáltico sea lo suficientemente dúctil a bajas temperaturas, presentando una rigidez en “creep” demasiado alta (entre 300 y 600 MPa). El ensayo DTT entrega la deformación específica de rotura en tracción proveniente de una muestra pequeña con forma de hueso que es traccionada a baja temperatura hasta su ruptura. Las especificaciones SUPERPAVE establecen un mínimo de deformación en tracción directa, para asegurar un comportamiento eficaz ante la falla por agrietamiento térmico. Para conocer más detalles sobre el ensayo, revisar la especificación T314 de AASHTO edición 2022.



Figura 3-10: Equipo de ensayo a tracción directa y elaboración de probeta

4 SELECCIÓN ACTUAL DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

La primera investigación que se realizó tuvo lugar en el año 2015 desarrollada en la memoria de Mauricio Segovia, donde las estaciones climatológicas electas en ese entonces se mantuvieron sin actualización el 2017 para la memoria de Leandro Arteaga. Entonces hasta el presente año 2023 ya han transcurrido como mínimo 8 años, en los cuales ha existido actualización dentro de la base de datos de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) y la Dirección General de Aguas (DGA).

Las actualización de la base de datos considera corrección de registros climáticos (Temperatura máxima y mínima diaria), suspensión de estaciones por razones administrativas internas de las direcciones responsables, además de un aumento en el volumen de datos permitiendo la evaluación de estaciones que en su oportunidad no fueron consideradas por no dar cumplimiento al criterio principal SUPERPAVE de 20 años mínimos de datos completos, y que ahora puedan cumplir con la incorporación de nuevo años.

4.1 DETERMINACIÓN ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DGA ACTUALES.

La modalidad para concluir con las estaciones DGA y sus años aceptables para el estudio, fue la siguiente:

- Para dar comienzo se realizó el levantamiento de una solicitud mediante el portal de transparencia (www.portaltransparencia.cl) dirigida hacia el organismo de la DGA para que pudieran colaborar al estudio compartiendo sus registros más actualizados, logrando así ser recibidas vía correo electrónico las estaciones climatológicas en un archivo comprimido .ZIP.
- Dentro del archivo .ZIP (“AM006T0010280.zip”) al descomprimir se desprendieron distintas archivos .XLS (Excel) renombradas bajo una estructura común AM006T0010280_XX.xls, donde XX correspondería al numeral que va desde 1 a 20.
- Se concentran las estaciones climatológicas de los archivos AM006T0010280_XX.xls, dentro un solo archivo propio .xls creado para analizar y filtrar estaciones empleando los 3 criterios explicados anteriormente del punto 2.3.1. A continuación se presenta de la *Tabla 4-1* que da orden y análisis preliminar de las estaciones climatológicas.

Tabla 4-1: Filtro preliminar de estaciones climatológicas DGA, según cantidad de años posibles de analizar

ESTACIONES DGA	AÑO INICIAL	AÑO FINAL	CANTIDAD AÑOS	20 AÑOS DE DATOS	CONDICIÓN
AM006T0010280_1					
CAQUENA	1976	2013	38	SI	REVISAR
CHUNGARA AJATA	1986	2014	29	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
PARINACOTA EX ENDESA	1986	2014	29	SI	REVISAR
CHUCUYO (EX ENDESA)	1985	1990	6	NO	
GUALLATIRE	1968	1971	4	NO	
CHILCAYA	1971	2014	44	SI	REVISAR
AM006T0010280_2					
COYACAGUA	1961	2013	53	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
SALAR HUASCO	1981	1982	2	NO	
UIJINA	1973	2015	43	SI	REVISAR
RIO CARACARANI EN HUMAPALCA	2013	2014	2	NO	
PACOLLO	1978	1999	22	NO	
PUTRE	1976	2009	34	SI	REVISAR
PUTRE (DCP)	2011	2014	4	NO	
LLUTA	1968	1993	26	NO	
MURMUNTANE	1970	1987	18	NO	
AM006T0010280_3					
MURMUNTANE	1970	1987	18	NO	
ARICA OFICINA	1974	1989	16	NO	
AZAPA	1968	2020	53	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LA RIVERA	1970	1973	4	NO	
U. DEL NORTE	1975	1985	11	NO	
EL BUITRE AERÓDROMO	1985	2012	28	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CHACA	1968	1979	12	NO	

Tabla 4-1: Filtro preliminar de estaciones climatológicas DGA, según cantidad de años posibles de analizar (elaboración propia (continuación))

ESTACIONES DGA	AÑO INICIAL	AÑO FINAL	CANTIDAD AÑOS	20 AÑOS DE DATOS	CONDICIÓN
AM006T0010280_4					
COOPA	1968	2016	49	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CUYA	1965	1979	15	NO	
ESMERALDA	1966	1973	8	NO	
COPOSA	2015	2015	1	NO	
HUARA EN FUERTE BAQUEDANO	1993	2013	21	SI	REVISAR
LAGUNILLAS (PAMPA URIMA)	1982	2015	34	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CERRO COLORADO	1993	2015	23	SI	REVISAR
AM006T0010280_5					
OLLAGUE	1973	2020	48	SI	REVISAR
CEBOLLAR	1969	1988	20	NO	REVISAR
ASCOTAN	1974	1983	10	NO	
LEQUENA	1984	2019	36	SI	
PARSHALL N°2	1969	2012	44	SI	
OJOS SAN PEDRO	1969	1989	21	NO	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
INACALURI	1969	1992	24	NO	
AM006T0010280_6					
CONCHI EMBALSE	1967	2020	54	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CONCHI MURO EMBALSE	1980	1991	12	NO	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CHIU-CHIU	1979	2020	42	SI	
TURI	1980	1993	14	NO	
LINZOR	1973	2007	35	SI	
AM006T0010280_7					
TOCONCE	1993	2020	28	SI	REVISAR
AYQUINA	1993	2020	28	SI	REVISAR
CASPANA	1973	2008	36	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
EL TATIO	1983	2007	25	SI	REVISAR
CALAMA	1963	1994	32	NO	REVISAR
QUILLAGUA	1969	1979	11	NO	
AM006T0010280_8					
COYA SUR	1973	1991	19	NO	REVISAR
GUATACONDA DGA	1978	1990	13	NO	
TOCONAO EXPERIMENTAL	1981	2009	29	SI	
SOCALIRE	1974	1998	25	NO	
PEINE	1974	2020	47	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
SAN PEDRO DE ATACAMA	1958	1989	32	NO	REVISAR
MONTURACQUI	1974	1980	7	NO	
AM006T0010280_9					
SIERRA GORDA	1994	2014	21	SI	REVISAR
BAQUEDANO	1973	1994	22	NO	REVISAR
ANTOFAGASTA	1978	1987	10	NO	
AGUAS VERDES	1987	2020	34	SI	
AM006T0010280_10					
IGLESIA COLORADA	1993	2020	28	SI	REVISAR
LAUTARO EMBALSE	1969	2020	52	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LOS LOROS	1988	2020	33	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
COPIAPO	1984	2000	17	NO	
AM006T0010280_11					
CANTO DE AGUA	1986	2020	35	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CONAY	1965	1998	34	NO	REVISAR
CONAY EN ALBARICOQUE	1999	2020	22	SI	
EL PARRAL	1993	1998	6	NO	
EL TRANSITO	1993	2020	28	SI	
SAN FELIX	1993	2020	28	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
AM006T0010280_12					
SANTA JUANA	1965	2020	56	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
VALLÉNAR DMC	1977	1983	7	NO	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LA COMPAÑIA (VALLÉNAR)	1993	2020	28	SI	
FREIRINA	1987	1992	6	NO	
HUASCO BAJO	1993	2011	19	NO	
AM006T0010280_13					
EL TRAPICHE	1979	2019	41	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LA LAGUNA EMBALSE	1974	2020	47	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
RIO TORO ANTES JUNTA RIO LA LAGUNA	2015	2015	1	NO	REVISAR
JUNTAS	1990	2013	24	SI	
RIO TURBIO EN VARILLAR	2015	2016	2	NO	
AM006T0010280_14					
RIVADAVIA	1972	2019	48	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LA ORTIGA	1979	2020	42	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
PUCLARO EMBALSE	1963	1967	5	NO	REVISAR
ALMENDRAL	1973	1989	17	NO	
LA SERENA (ESCUELA AGRÍCOLA)	1972	1978	7	NO	
PAN DE AZÚCAR	1978	1993	16	NO	
LA CORTADERA	1967	1974	8	NO	
AM006T0010280_15					
HURTADO	1979	2020	42	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
RECOLETA EMBALSE	1989	2019	31	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LAS RAMADAS	1968	2019	52	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CERRO VEGA NEGRA	2011	2016	6	NO	
AM006T0010280_16					
CAREN	1967	2016	50	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
QUEBRADA LARGA COTA 3500	2016	2016	1	NO	REVISAR
PUNTILLA SAN JUAN	1967	1979	13	NO	
RIO COGOTI EN FRAGUITA	2015	2016	2	NO	
RIO COGOTI ENTRADA EMBALSE COGOTI	2015	2015	1	NO	
COGOTI EMBALSE	1965	2019	55	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
EL TOME	1968	1988	21	NO	
AM006T0010280_17					
PALOMA EMBALSE	1964	2017	54	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
OVALLE (ESCUELA AGRÍCOLA)	1977	1983	7	NO	REVISAR
SALALA	1968	1977	10	NO	
EL SOLDADO	2011	2016	6	NO	
LA TRANQUILLA	1962	2020	59	SI	
SANTA VIRGINIA	1979	1989	11	NO	REVISAR
RIO ILLAPEL EN HUINTEL	2015	2016	2	NO	
AM006T0010280_18					
ILLAPEL DGA	1972	2017	46	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
CAIMANES	1989	2007	19	NO	REVISAR
LOS CONDORES	1977	2020	44	SI	
AM006T0010280_19					
ALICAHUE	1968	2020	53	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
VILCÚYA	1964	2021	58	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
QUILLOTA	1977	2017	41	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
AM006T0010280_20					
LIU-LIU EMBALSE	1979	2019	41	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LOS AROMOS	1981	2020	40	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015
LAGO PEÑUELAS	1974	2020	47	SI	ESTUDIADA M. SEGOVIA 2015

- Según *Tabla 4-1* recién presentada, se puede identificar que se encuentra compuesta por las columnas de AÑO INICIAL y AÑO FINAL que indican los años extremos que dispone en su archivo .xls cada estación, siendo útiles para obtener el resultado de la resta de estas dos fechas en la columna CANTIDAD DE AÑOS entregando una idea preliminar sobre si cumple o no la condición que se menciona como columna CRITERIO 3 “20 AÑOS DE DATOS” permitiendo concluir en la columna “CONDICIÓN” si amerita revisión como posible nueva estación o únicamente actualización de las temperaturas máximas y mínimas por ser estudiada bajo Mauricio Segovia el 2015.
- Posterior al análisis del anterior punto, se actualizó el total de años disponibles para las estaciones que se encontraban en condición “ESTUDIADA M. SEGOVIA, 2015” (como señala la *Tabla 4-1*); Lo que respecta a las 19 estaciones en condición “REVISAR” se verificó si dentro del periodo se encontraban incluido los años y si además cumplían con los 3 criterios SUPERPAVE utilizando el archivo propio .xls creado tanto para filtrar estaciones y como también obtener parámetros solicitado por los modelos de cálculo del grado de desempeño.
- A continuación en la *Tabla 4-2* se muestran destacadas las estaciones PUTRE y CONAY ALBARICOQUE dado que cumplieron con los requisitos, pero solo se incorporó a CONAY ALBARICOQUE por su estado vigente a diferencia de PUTRE que se encontraba suspendida.

Tabla 4-2: Filtro para búsqueda de estaciones nuevas DGA que cumplan con el criterio mínimo de 20 años (elaboración propia)

ESTACIONES POR REVISAR	AÑOS COMPLETOS		20 AÑOS COMPLETOS
	MAX	MIN	
CAQUENA	15	17	NO
PARINACOTA (EX ENDESA)	3	6	NO
CHILCAYA	9	10	NO
UJINA	3	7	NO
PUTRE	27	25	SI
HUARA EN FUERTE BAQUEDANO	8	12	NO
CERRO COLORADO	10	14	NO
OLLAGUE	8	8	NO
LEQUENA	12	14	NO
TOCONCE	14	18	NO
AYQUINA	17	18	NO
EL TATIO	16	16	NO
TOCONAO EXPERIMENTAL	11	16	NO
SIERRA GORDA	17	16	NO
AGUAS VERDES	13	25	NO
IGLESIA COLORADA	19	24	NO
CONAY EN ALBARICOQUE	20	21	SI
EL TRANSITO	17	20	NO
JUNTAS	19	21	NO

4.2 DETERMINACIÓN ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DMC ACTUALES.

Para concluir las estaciones DMC y sus años aceptables de estudio, la modalidad que se utilizó fue la misma que para determinar las estaciones DGA, haciendo uso del archivo propio .xls para filtrar y actualizar con años aceptables para estudio.

A continuación se presenta en la *Tabla 4-3* y *Tabla 4-4*, donde se puede visualizar las estaciones que cumplieron preliminarmente con el criterio 3 y el requisito mínimo de 20 años con registros completos de temperaturas de aire, para posteriormente realizar la revisión si estas estaciones nuevas podrían ser incorporadas.

Tabla 4-3: Filtro preliminar de estaciones climatológicas DMC, según cantidad de años posibles de analizar (elaboración propia)

ESTACIONES DMC	AÑO INICIAL	AÑO FINAL	CANTIDAD DE AÑOS	CRITERIO 3	CONDICIÓN
				20 AÑOS DE DATOS	
CHACALLUTA, ARICA AP.	1955	2023	68	SI	ESTUDIADA EN 2015
DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	1981	2023	42	SI	ESTUDIADA EN 2015
EL LOA, CALAMA AD.	1965	2023	58	SI	ESTUDIADA EN 2015
CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	1950	2023	73	SI	ESTUDIADA EN 2015
MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	1954	2023	69	SI	REVISAR
DESIERTO DE ATACAMA, CALDERA AD.	2005	2023	18	NO	
LA FLORIDA, LA SERENA AD.	1954	2023	69	SI	ESTUDIADA EN 2015
VIÑA DEL MAR AD. (TORQUEMADA)	2013	2023	10	NO	
LOS LIBERTADORES	2012	2023	11	NO	
RODELILLO, AD.	1971	2023	52	SI	REVISAR
SANTO DOMINGO, AD.	1966	2023	57	SI	ESTUDIADA EN 2015
JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	1950	2023	73	SI	REVISAR
LA PUNTA, JUAN FERNANDEZ AD.	2013	2023	10	NO	

Tabla 4-4: Revisión en estaciones DMC para la cantidad de años completos que permita deducir el cumplimiento de los 20 años mínimos (elaboración propia)

ESTACIONES POR REVISAR	AÑOS COMPLETOS		20 AÑOS COMPLETOS
	MAX	MIN	CUMPLE
MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	52	53	SI
RODELILLO, AD.	42	42	SI
JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	54	59	SI

4.3 RESUMEN DE ESTACIONES CONSIDERADAS EN LA MEMORIA

La presente etapa es fundamental puesto que significa el comienzo de la metodología SUPERPAVE, entregando un alcance territorial que se puede alcanzar, como a su vez también la mayor representatividad en ciertas localidades del comportamiento climático que afectará al desempeño a lo largo de los años de servicio de un pavimento asfáltico.

Como resultado se pudo incluir en total 4 estaciones climatológicas con estado actual vigentes, según se puede apreciar en la tabla 4-5, además se incluye la *Tabla 4-6* y *Tabla 4-7* las cuales contienen el detalle de los años considerados tanto para temperaturas diarias máximas y mínimas respectivamente, destacando el registro de la temperatura máxima histórica (promedio móvil de los 7 días consecutivos más calurosos) en cada estación a diferencia del último estudio de Segovia en 2015.

Las 4 estaciones incluidas son:

DMC:

- CONAY ALBARICOQUE

DGA:

- MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.
- RODELILLO, AD.
- JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Tabla 4-5: Resumen de estaciones climatológicas DMC y DGA seleccionadas para la presente memoria (elaboración propia)

N°	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	ALTURA	LATITUD	LONGITUD	T° MÁX	T° MÍN
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	63	-18,3514	-70,3358	27,5	9,0
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	52	-20,5467	-70,1772	27,4	10,2
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	2293	-22,4953	-69,9044	26,7	-7,0
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	113	-23,4503	-70,4411	25,2	7,4
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	142	-29,9172	-71,2003	23,1	2,9
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	44	-27,1589	-109,4325	28,2	10,0
7	DMC	V	RODEILLO, AD.	330	-33,0653	-71,5564	27,0	2,1
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	40	-33,6358	-78,8331	23,6	6,2
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	77	-33,6561	-71,6133	22,5	-0,9
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	110	-18,5119	-70,2842	29,8	8,7
11	DGA	XV	AZAPA	365	-18,5156	-70,1806	30,1	5,4
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	4585	-18,2353	-69,1833	16,1	-12,3
13	DGA	XV	CODPA	1870	-18,8322	-69,7439	26,1	0,7
14	DGA	I	COYACAGUA	4013	-20,0531	-68,8075	21,4	-17,2
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	4020	-19,9333	-68,8369	19,2	-20,4
16	DGA	II	CASPANA	3260	-22,3367	-68,2122	23,3	-4,2
17	DGA	II	CHIU-CHIU	2524	-22,3378	-68,6367	25,8	-9,6
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	3010	-22,025	-68,6242	24,3	-8,8
19	DGA	II	LINZOR	4100	-22,2297	-68,0228	17,5	-13,5
20	DGA	II	PARSHALL N 2	3318	-21,9428	-68,5175	22,7	-5,4
21	DGA	II	PEINE	2460	-23,6842	-68,0581	31,1	-1,3
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	330	-28,0992	-70,7811	29,7	-1,2
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	430	-28,5761	-70,8081	28,3	0,4
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	1110	-27,9783	-70,0033	33,4	0,3
25	DGA	III	LOS LOROS	940	-27,8317	-70,1119	32,4	-0,3
26	DGA	III	SAN FELIX	1150	-28,9311	-70,4614	33,3	-2,2
27	DGA	III	SANTA JUANA	560	-28,6672	-70,6625	30,3	2,2
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	1600	-28,9531	-70,1167	32,4	-3,3
29	DGA	IV	CAREN	740	-30,8547	-70,7708	31,6	0,3
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	740	-31,0078	-71,0856	30,1	1,5
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	300	-29,3731	-71,1181	27,1	2,7
32	DGA	IV	HURTADO	1100	-30,2867	-70,6961	30,4	-0,8
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	290	-31,645	-71,1908	30,5	-0,1
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	3160	-30,2033	-70,0422	24,2	-12,5
35	DGA	IV	LA ORTIGA	1560	-30,1939	-70,4819	30,0	-1,5
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	1000	-31,9	-70,6706	31,2	-0,2
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	1380	-31,0181	-70,5858	30,0	-1,2
38	DGA	IV	LOS CONDORES	190	-32,1086	-71,3125	28,0	1,7
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	320	-30,6958	-71,0361	31,0	1,9
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	350	-30,5069	-71,0997	29,7	2,7
41	DGA	IV	RIVADAVIA	820	-29,9772	-70,5617	31,1	0,7
42	DGA	V	ALICAHUE	750	-32,3408	-70,7528	29,6	-1,1
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	360	-33,145	-71,5533	26,3	-1,3
44	DGA	V	LLIU-LLIU EMBALSE	260	-33,0986	-71,2144	30,4	0,3
45	DGA	V	LOS AROMOS	100	-32,9578	-71,345	28,8	-0,5
46	DGA	V	QUILLOTA	130	-32,8958	-71,2092	29,6	-1,2
47	DGA	V	VILCUYA	1100	-32,8603	-70,4719	31,7	-3,8

En la *Tabla 4-5* anteriormente presentada, las coordenadas geográficas de la estación climatológica SANTO DOMINGO, AD. Fueron corregidas en base a la información extraída en la página web de Dirección Meteorológica de Chile (www.climatologia.meteochile.gob.cl). También cabe destacar que el orden del listado de estaciones se encuentra distribuido de norte a sur de acuerdo a su latitud y por fuente de origen de la estación, tomando en cuenta primeramente las estaciones de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), para luego continuar con las provenientes de la Dirección General de Aguas (DGA).

Es relevante mencionar que al final de la presente memoria, en el ítem 12. ANEXO se pueden encontrar ilustraciones que dan representación a las estaciones climatológicas sobre un mapa de Chile (regionalizado).

Tabla 4-6: Años completos con información necesaria de temperaturas máximas diarias (elaboración propia)

[illegible]

*Tabla 4-7: Años completos con información necesaria de temperaturas mínimas diarias
(elaboración propia)*

[illegible]

De tal modo mediante fue desarrollada el anterior punto de los años completos, se da la posibilidad de aprovechar a determinar los parámetros estadísticos de entrada que requieren los modelos para el cálculo de los grados PG, empleando paralelamente los dos archivos .XLS creados para filtrar las estaciones climatológicas perteneciente a cada dirección responsable (DMC y DGA). Siendo como resultado la obtención de la siguiente *Tabla 4-8*, dentro la cual se concentran los valores de los parámetros para todas las estaciones que serán aplicadas en el estudio.

Tabla 4-8: Resultados actuales de los cálculos de las variables estadísticas y parámetros necesario para determinar la temperatura de pavimento (elaboración propia)

N°	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	T° MÁX (prom. móvil)	DESV MÁX	AÑOS MÁX	T° MÍN	DESV MÍN	AÑOS MÍN	DD PROM
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	27,5	0,89	61	9,0	1,50	63	2674,67
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	27,4	0,95	41	10,2	1,11	42	2556,78
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	26,7	0,86	52	-7,0	1,70	53	2589,03
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	25,2	1,05	60	7,4	1,19	60	2209,18
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	23,1	0,99	56	2,9	1,27	59	1827,51
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	28,2	0,64	52	10,0	1,14	53	2896,49
7	DMC	V	RODELILLO, AD.	27,0	1,06	42	2,1	1,05	42	2143,22
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	23,6	1,04	54	6,2	1,02	59	1845,52
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	22,5	1,02	38	-0,9	1,02	52	1714,68
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	29,8	1,08	24	8,7	1,79	26	2882,65
11	DGA	XV	AZAPA	30,1	1,28	36	5,4	1,98	42	2978,80
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	16,1	1,37	20	-12,3	1,29	21	489,39
13	DGA	XV	CODPA	26,1	0,97	27	0,7	1,02	37	2545,28
14	DGA	I	COYACAGUA	21,4	1,11	24	-17,2	2,19	24	1389,60
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	19,2	1,69	17	-20,4	3,63	28	971,60
16	DGA	II	CASPANA	23,3	1,12	26	-4,2	2,17	30	1824,75
17	DGA	II	CHIU-CHIU	25,8	1,08	34	-9,6	2,59	36	2390,52
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	24,3	1,31	33	-8,8	2,33	36	2021,74
19	DGA	II	LINZOR	17,5	1,26	25	-13,5	2,65	28	759,35
20	DGA	II	PARSHALL N 2	22,7	1,15	33	-5,4	3,17	39	1669,88
21	DGA	II	PEINE	31,1	1,26	32	-1,3	1,65	33	3145,60
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	29,7	1,37	25	-1,2	2,53	27	2929,38
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	28,3	0,95	19	0,4	1,46	25	2715,75
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	33,4	0,98	43	0,3	1,84	48	3779,61
25	DGA	III	LOS LOROS	32,4	1,79	26	-0,3	1,72	28	3554,86
26	DGA	III	SAN FELIX	33,3	1,70	22	-2,2	1,40	25	3691,92
27	DGA	III	SANTA JUANA	30,3	1,09	39	2,2	1,42	48	3148,21
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	32,4	1,03	20	-3,3	3,93	21	3471,26
29	DGA	IV	CAREN	31,6	1,14	39	0,3	1,21	42	3264,57
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	30,1	1,19	51	1,5	1,87	54	2991,86
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	27,1	1,14	35	2,7	1,69	37	2504,31
32	DGA	IV	HURTADO	30,4	1,36	28	-0,8	1,70	35	3141,90
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	30,5	0,94	34	-0,1	1,23	42	3052,20
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	24,2	1,83	43	-12,5	2,16	41	1600,65
35	DGA	IV	LA ORTIGA	30,0	0,85	37	-1,5	1,61	39	3078,44
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	31,2	0,94	50	-0,2	1,61	51	3190,07
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	30,0	1,52	42	-1,2	1,82	45	2966,72
38	DGA	IV	LOS CONDORES	28,0	1,24	32	1,7	1,61	34	2560,87
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	31,0	0,73	48	1,9	1,34	52	3167,57
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	29,7	1,13	27	2,7	1,37	27	2940,83
41	DGA	IV	RIVADAVIA	31,1	1,02	40	0,7	2,32	44	3303,67
42	DGA	V	ALICAHUE	29,6	0,90	31	-1,1	1,93	40	2800,80
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	26,3	1,14	39	-1,3	1,65	40	2178,78
44	DGA	V	LLIU - LLIU EMBALSE	30,4	1,03	35	0,3	0,96	38	2896,31
45	DGA	V	LOS AROMOS	28,8	2,01	21	-0,5	1,36	24	2584,64
46	DGA	V	QUILLOTA	29,6	1,61	34	-1,2	1,64	35	2735,38
47	DGA	V	VILCUYA	31,7	1,24	39	-3,8	1,96	50	3122,10

Observando la tabla anterior se identifican a las estaciones LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) y LA COMPAÑÍA (VALLENAR), las cuales no alcanzan a concentrar los 20 años mínimos que especifica el Criterio 3 señalado en el punto 3.3.1 de la presente memoria. Sin embargo se toma la decisión de conservar ambas estaciones según el aporte a la representatividad de la zona que otorga su ubicación geográfica, como lo es indicado en la memoria de Leandro Arteaga.

Cabe mencionar que durante la revisión de datos se observa en la estación climatológica de LOS LOROS perteneciente a la DGA, que tuvo en el día 20 de diciembre del 2016 el registro de 390,1 °C correspondientes a la temperatura máxima diaria para tal día; Seguido a la detección del dato atípico se consideró como dato faltante por lo que pudo ser reemplazado de manera que indica el criterio 2 (promedio entre la temperatura anterior y posterior). Cabe señalar que históricamente la temperatura más alta registrada se encuentra en la Región del Ñuble el día 26 de enero del 2016, con una magnitud de 43°C. Por ende todo registro que supere el histórico es objeto de revisión.

5 CÁLCULO DE VARIABLES ESTADÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS

Para continuar con el procedimiento del cálculo de los grados PG para una estación climatológica, en primer lugar se debe conocer los años completos con datos disponibles a ser estudiados, primer paso realizado y presentado anteriormente tanto en la *Tabla 4-6* como en la *Tabla 4-7* de la presente memoria.

Para efecto de la presente memoria se dará enfoque a obtener las variables de **T°Máxima Aire, Desviación Máxima, T°Mínima Aire y Desviación Mínima**. Dado que en Leandro Arteaga en su memoria publicada el 2017, “Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico” las obtiene utilizando un procedimiento más conservador (omitiendo valores y seleccionando únicamente las extremas), resultando variables más alejadas a la realidad promedio dentro de un periodo específico.

Para la obtención de **T°Máxima Aire** de cada estación climatológica se debe contar con una base ordenada de datos con los promedios móviles (7 días consecutivos), de la cual anualmente se seleccionará la máxima de cierto año, para posteriormente dar paso a agruparlas y calcular el Promedio de los promedios móviles (7 días consecutivos) máximos anuales, de igual manera para **Desviación Máxima** se agrupa y se calcula la desviación estándar muestral. Para entender el procedimiento más sencillo se recomienda ver la *Figura 5-1* que se presenta a continuación.

Figura 5-1: Ejemplo de determinación para las variables T°Máxima Aire y Desviación Máxima

Promedios Móviles a 7 Días Consecutivos																										
	*	*	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	*	*	
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
21-nov	*	*	21,9	22,9	24,4	23,0	24,4	23,1	23,0	22,7	23,8	22,5	23,7	23,0	23,3	22,7	23,5	22,4	21,7	24,0	24,2	23,4	21,7	*	*	*
22-nov	*	*	22,0	23,9	23,8	24,2	23,5	23,8	22,8	22,7	23,8	22,2	23,9	22,4	23,7	23,0	24,2	23,0	22,1	24,2	24,3	23,0	22,3	*	*	*
23-nov	*	*	21,8	24,1	23,8	23,8	23,1	22,8	22,2	23,1	24,3	22,4	23,8	23,5	23,6	23,3	24,7	23,1	22,0	23,5	23,2	22,8	22,5	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19-mar	*	*	22,2	23,4	24,0	23,9	22,9	23,9	20,9	22,7	23,5	22,9	23,7	23,9	24,0	24,3	23,8	24,1	21,8	24,3	24,8	22,2	23,3	*	*	*
20-mar	*	*	22,5	22,7	24,8	24,9	24,3	24,2	21,3	23,8	23,6	22,7	23,5	23,9	24,1	23,9	24,0	23,9	22,2	24,3	24,3	23,5	22,9	*	*	*
21-mar	*	*	22,7	23,0	24,0	24,6	23,2	24,1	22,4	23,8	23,6	23,2	24,5	24,6	24,5	24,2	25,2	24,2	22,7	25,0	23,6	22,8	22,2	*	*	*
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
			22,7	24,1	24,8	24,9	24,4	24,2	23,0	23,8	24,3	23,2	24,5	24,6	24,5	24,3	25,2	24,2	22,7	25,0	24,8	23,5	23,3		Promedio	24,1
																					Máxima Anual				Desviación	0,756

Es importante señalar según muestra la *Figura 5-1*, que el “Promedio” que se aprecia viene siendo el equivalente a la T°Máxima Aire, del mismo modo la “Desviación” correspondería a la Desviación Máxima. Estas variables vendrían teniendo ocupación en la obtención de la alta temperatura de pavimento para el método LTPP Bind 2.1.

T° Mínimas Diarias	
--------------------	--

Figure 1. The effect of the number of nodes on the number of iterations required to reach the optimal solution for the 1000 nodes problem. The number of iterations required to reach the optimal solution increases as the number of nodes increases. The number of iterations required to reach the optimal solution for the 1000 nodes problem is approximately 1000.

De tal forma la principal diferencia con el método desarrollado por Leandro Arteaga en su

Generando incluso una solución a un principio básico de estadístico, que interpone una

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

6 ACTUALIZACIÓN GRADOS PG SEGÚN LTTP BIND 2.1

Se tiene referencia sobre LTTP Bind 2.1 como un programa computacional (software) de cálculo que tiene por finalidad obtener grados de desempeño, de tal forma que se sustenta de dos ecuaciones para obtener temperaturas altas y bajas de pavimentos. Para aplicar el modelo se ingresó las fórmulas dentro de un archivo .XLS (Excel) creado propiamente para el estudio, como también los parámetros obtenidos anteriormente de la etapa para determinación de estaciones climatológicas.

A continuación en la *Tabla 5-1* se logra apreciar los resultados obtenidos en el estudio pasado del año 2017 elaborado por Leandro Arteaga para la situación en Chile empleando registros climatológicos completos para el 2016; De igual forma se presenta la *Tabla 5-2* con los valores actualizados (registros completos para el 2022) obtenidos para las temperaturas de pavimento y grado de desempeño (PG teórico), determinando altas temperaturas PG que eviten la opción de una falla por ahuellamiento, también de una baja temperatura PG capaz de dar respuesta eficaz ante la falla por agrietamiento térmico. Lo que respecta al análisis de la temperatura intermedia es abordado en punto siguiente para la presentación de los resultados LTTP Bind 3.1.

Tabla 6-1: Resultados Arteaga, 2017 de los cálculos al 50% y 98% de confiabilidad para temperaturas de pavimento y asignación correspondiente de PG teóricos, según método LTTP Bind 2.1 (elaboración propia)

ARTEAGA 2017, LTTP 2.1																			
Nº	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	T° MAX (prom. móvil)	DESV MAX	AÑOS MAX	T° MIN	DESV MIN	AÑOS MIN	DO PROM	LATITUD	50% CONFIABILIDAD		98% CONFIABILIDAD		50% CONFIABILIDAD		98% CONFIABILIDAD	
												T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	PG ALTA	PG BAJA	PG ALTA	PG BAJA
1	DMC	XV	CHACALUTTA, ARICA AP.	30,7	0,49	53	5,8	2,04	55	2592,06	-18,3534	52,4	10,0	58,6	4,8	58	-10	58	-10
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	28,9	0,97	33	7,6	1,67	34	2485,21	-20,5467	50,8	11,0	57,1	6,0	52	-10	58	-10
3	DMC	II	EL IDIA, CALAMA AD.	28,5	0,9	48	-12,5	2,96	44	2003,52	-22,4953	50,3	-3,8	56,6	-10,0	52	-10	58	-10
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	27,5	1,96	48	0	1,81	51	2163,5	-20,4503	49,4	5,0	56,1	-5,1	52	-10	58	-10
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	25,1	0,44	47	0,2	2,35	50	1794,28	-29,9172	46,6	3,8	52,8	-1,8	52	-10	58	-10
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
7	DMC	V	RODRILLO AD.	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
9	DMC	V	SANTO DOMINGO AD.	24,8	5,06	28	-3,6	3,42	44	1678,24	-33,6581	45,8	0,1	56,0	-6,6	46	-10	58	-10
10	DGA	XV	EL BUITRE AERODROMO	32,4	0,41	25	5	2,33	26	2799,08	-18,5119	53,7	9,4	59,9	3,9	58	-10	64	-10
11	DGA	XV	AZAPA	33,5	0,04	25	0	2,65	40	2874,3	-18,5156	54,6	5,8	60,7	0,0	58	-10	64	-10
12	DGA	XV	CHINGARA AJATA	18,7	1,38	19	-14,5	2,59	21	535,47	-18,2353	43,0	-4,6	49,6	-10,4	46	-10	52	-16
13	DGA	XV	COPPA	27,2	1,19	26	-2	2,28	37	2590,33	-18,8322	49,6	4,3	56,1	-1,1	52	-10	58	-10
14	DGA	I	COYACAGUA	23,9	1,18	27	-22,5	3,83	24	1372,89	-20,0531	46,9	-10,6	53,4	-17,7	52	-16	58	-22
15	DGA	I	LACRINIILLAS PAMPA LIRIMA	21,9	1,42	16	-26	5,85	28	362,61	-28,8103	45,1	-13,1	53,0	-22,8	46	-16	52	-28
16	DGA	II	CASPANA	24,7	2,13	26	-8,7	2,57	30	1847,25	-22,3367	47,3	-1,1	54,4	-6,8	52	-10	58	-10
17	DGA	II	CHU-CHU	27,6	0,83	31	-14	3,41	31	2423,04	-22,3378	49,6	-4,9	55,9	-11,5	52	-10	58	-16
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	27,5	1,86	33	-16	3,65	31	2042,4	-22,0205	49,5	-6,3	56,4	-13,2	52	-10	58	-16
19	DGA	II	UNDOY	19,7	0,69	25	-19,2	1,03	28	751,29	-22,2707	43,4	-8,6	49,7	-14,8	46	-10	52	-16
20	DGA	II	PARSHALL N 2	24,8	0,81	36	-15	3,16	39	1697,78	-21,8428	47,4	-5,5	53,7	-11,9	52	-10	58	-16
21	DGA	III	PERINE	34,7	1,1	31	-3,9	2,54	29	1363,72	-23,6842	55,0	2,1	61,4	-3,6	58	-10	64	-10
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	33	2,71	22	-8,4	3,67	24	2910,45	-28,0992	53,1	-2,0	60,6	-9,0	58	-10	64	-10
23	DGA	III	LA COMPAÑIA (VALLENAR)	30	1,08	17	-2	2,53	22	2720,76	-28,5181	50,6	2,5	57,1	-3,7	52	-10	58	-10
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	34,6	0,8	39	-6,5	3,81	43	1784,82	-27,9783	54,3	-0,6	60,6	-7,7	58	-10	64	-10
25	DGA	III	LOS LOROS	35,1	0,96	23	-4	2,86	24	3546,85	-27,8317	54,7	1,2	61,1	-4,8	58	-10	64	-10
26	DGA	III	SAN FELIX	36,8	0,67	21	-5,1	3,03	21	3717,28	-28,9311	55,9	0,4	62,2	-6,1	58	-10	64	-10
27	DGA	III	SANTA JUANA	32,5	0,9	36	-1,1	2,78	44	3342,64	-28,6672	52,6	3,1	58,9	-2,9	58	-10	64	-10
28	DGA	III	CONAY ALBARCOQUE	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
29	DGA	IV	CAREN	34,2	1,72	38	-2,5	3,06	42	3328,81	-30,8547	53,6	1,6	60,3	-4,7	58	-10	64	-10
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	32	2,7	45	-4	2,78	46	3003,74	-30,0078	51,8	0,5	59,4	-5,5	52	-10	64	-10
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	29,9	1,11	33	-3,1	2,36	34	2459,82	-30,3731	50,5	1,5	56,9	-4,0	52	-10	58	-10
32	DGA	IV	HURTADO	32,8	1,51	30	-4,8	3,84	32	3178,44	-30,2807	52,6	0,1	59,2	-7,1	58	-10	64	-10
33	DGA	IV	ELAPEL DGA	31,7	0,96	33	-2,8	2,8	39	3033,79	-31,6455	51,5	1,2	57,9	-4,8	52	-10	58	-10
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	29,9	1,12	38	-19,6	3,58	37	1554,08	-30,2033	50,3	-10,6	56,7	-12,4	52	-10	58	-22
35	DGA	IV	LA ORTIGA	31,4	1,55	35	-5	3,34	36	3084,17	-30,1939	51,5	-0,1	58,2	-6,6	52	-10	64	-10
36	DGA	IV	LA TRANQUILIA	33	0,88	46	-4,4	3,18	44	1365,84	-31,9	52,5	0,0	58,8	-6,4	58	-10	64	-10
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	33,2	1,85	41	-7,2	3,76	43	2919,15	-31,0181	52,8	-1,8	59,6	-8,9	58	-10	64	-10
38	DGA	IV	LOS CONDORIS	36,5	1,37	39	-3,1	2,46	31	2547,37	-31,1886	50,5	0,7	58,7	-5,0	52	-10	64	-10
39	DGA	IV	PAIDOMA EMBALSE	32,3	1,81	46	-0,7	2,52	49	1390,72	-30,6958	52,1	2,9	58,9	-2,8	58	-10	64	-10
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	31,1	0,62	24	0,2	2,27	27	2883,45	-30,5089	51,2	3,6	57,5	-1,9	52	-10	58	-10
41	DGA	IV	RIVADAVIA	33	1,46	38	-10	3,23	41	3315,54	-29,9772	52,8	-3,6	59,4	-10,0	58	-10	64	-10
42	DGA	V	AUSARIE	31,7	1,35	31	-4,2	2,59	39	2769,26	-30,3408	51,4	0,0	57,9	-6,1	52	-10	58	-10
43	DGA	V	LAGO PERULEAS	29,2	2,14	36	-4,5	3,23	37	2365,88	-31,145	49,3	-0,4	56,4	-6,9	52	-10	58	-10
44	DGA	V	LUJ- LUJ EMBALSE	34,4	2,64	33	-2,2	2,86	34	2846,8	-31,0986	53,4	1,2	60,9	-4,8	58	-10	64	-10
45	DGA	V	LOS ARMONIS	32,7	1,32	21	-3	3	24	2575,93	-31,9578	52,1	0,7	58,6	-5,5	58	-10	64	-10
46	DGA	V	QUILLOTA	34,3	1,18	34	-5,1	3,52	31	2718,17	-31,8658	53,1	0,8	60,1	-7,6	58	-10	64	-10
47	DGA	V	VILCUBA	33,3	1,01	36	-8,5	3,52	43	3002,85	-32,8603	52,6	-3,2	59,4	-10,0	58	-10	64	-10

Dentro la *Tabla 5-1* se integran las cuatro nuevas estaciones como indica el punto anterior 4.3 de la presente memoria, los parámetros estadísticos para estas estaciones son señaladas como **“NUEVA”** dado que no fue analizado para la memoria de 2017 y en la presente memoria LTTP Bind 2.1 no representa la necesidad de una mayor comparación por ser material informativo.

Tabla 6-2: Resultados actuales, 2023 de los cálculos al 50% y 98% de confiabilidad para temperaturas de pavimento y asignación correspondiente de PG teóricos, según método LTPP Bind 2.1 (elaboración propia)

N°	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	T° MAX (prom. máx.ii)	DES/VAJ	AÑOS MAX	T° MIN	DES/VAJ MIN	AÑOS MIN	LATITUD	50% CONFIABILIDAD				98% CONFIABILIDAD				ACTUAL 2023, LTPP 2.1				50% CONFIABILIDAD				98% CONFIABILIDAD			
											T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA
1	DMC	XV	CHACALILTA, ARICA AP	275	0.89	61	9.0	1.50	63	-18.3514	49.9	12.3	56.2	7.5	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
2	DMC	I	DIEGO ARACENA, IQUIQUE AP.	274	0.95	41	10.3	1.11	42	-20.5467	49.6	12.8	56.0	8.2	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
3	DMC	II	EL OJO, CHUAMA AD.	267	0.86	52	-7.0	1.70	53	-22.4953	48.9	0.1	55.2	-4.9	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
4	DMC	II	CERRO MORENO, ANTOFAGASTA AP.	252	1.05	60	7.4	1.19	60	-23.4503	47.6	30.3	54.0	3.7	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
5	DMC	IV	LATORIDA, LA SIRENA AD.	231	0.99	56	2.9	1.27	59	-29.9172	45.1	5.7	51.4	1.0	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
6	DMC	V	MATAVERI, ISLA DE PASCUA AP.	282	0.64	52	10.0	1.14	53	-27.1589	49.4	11.4	55.7	6.8	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
7	DMC	V	RODELILLO AD.	27	1.06	42	2.1	1.05	42	-33.0653	47.6	4.3	54.0	-0.3	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	236	1.04	54	6.2	1.02	59	-33.6358	44.9	7.1	51.3	2.6	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	225	1.02	38	-0.9	1.02	52	-33.6561	44.0	2.0	50.4	-2.6	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
10	DGA	XV	EL BUTRE, AERÓDROMO	298	1.08	24	8.7	1.79	26	-18.5119	51.7	12.1	58.1	7.0	52	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
11	DGA	XV	AZAPA	301	1.28	36	5.4	1.98	42	-18.5156	51.9	9.7	58.4	4.5	52	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	161	1.37	20	-12.3	1.29	21	-18.2353	41.0	-3.0	47.6	-7.7	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
13	DGA	XV	COPPA	261	0.97	27	0.7	1.02	37	-18.8322	48.8	6.3	55.1	1.7	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
14	DGA	I	COVACAGUA	214	1.11	24	-17.2	2.19	24	-20.0531	45.0	-6.8	51.4	-12.2	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA URBANA)	192	1.69	17	-20.4	3.63	28	-19.9333	43.3	-9.1	50.0	-16.0	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
16	DGA	II	CASPANA	233	1.12	26	-4.2	2.17	30	-22.3367	46.2	2.2	52.6	-3.2	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
17	DGA	II	CHU-CHU	258	1.08	34	-9.6	2.59	36	-22.3378	46.2	-1.7	54.6	-7.5	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	243	1.31	33	-8.8	2.33	36	-22.025	47.0	-1.1	53.5	-6.6	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
19	DGA	II	LINZOR	175	1.26	25	-13.5	2.65	28	-22.2297	41.7	-4.5	48.2	-10.3	46	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
20	DGA	II	PARSHALI N 2	227	1.15	33	-5.4	3.17	39	-21.9428	45.8	1.4	52.2	-5.0	46	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
21	DGA	II	PEINE	31.1	1.26	32	-1.3	1.65	33	-23.6842	52.1	4.0	58.6	-0.9	58	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	287	1.37	25	-1.2	2.53	27	-28.0992	50.5	3.2	57.0	-2.5	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
23	DGA	III	LA COMPAÑIA (VALLENAR)	283	0.95	19	0.4	1.46	25	-28.5761	49.3	4.2	55.7	-0.6	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	334	0.98	43	0.3	1.84	48	-27.9783	53.4	4.3	59.7	-0.8	58	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
25	DGA	III	LOS LOROS	324	1.79	26	-0.3	1.72	28	-27.8317	52.6	3.9	59.4	-1.1	58	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
26	DGA	III	SAN FELIX	333	1.70	22	-2.2	1.40	25	-28.9311	53.2	2.3	59.9	-2.5	58	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
27	DGA	III	SANTA JUANA	303	1.09	39	2.2	1.42	48	-28.6672	50.9	5.5	57.3	0.7	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
28	DGA	III	COMAY ALBARICOQUE	324	1.03	20	-3.3	3.93	21	-28.9531	52.5	1.5	58.8	-5.8	58	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
29	DGA	IV	CARIN	316	1.14	39	0.3	1.21	42	-30.8547	51.6	3.6	58.0	-1.1	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	301	1.19	51	1.5	1.87	54	-31.0078	50.4	4.4	56.8	-0.7	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	271	1.14	35	2.7	1.69	37	-29.3731	48.3	5.7	54.7	0.7	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
32	DGA	IV	HURTADO	304	1.36	28	-0.8	1.70	35	-30.2867	50.7	2.9	57.2	-2.0	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
33	DGA	IV	ILAPUEL DGA	305	0.94	34	-0.1	1.23	42	-31.645	50.6	3.1	56.9	-1.6	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	242	1.83	43	-17.4	2.16	41	-30.2033	45.9	-3.0	52.7	-14.4	46	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
35	DGA	IV	LA ORTIGA	30	0.85	37	-1.5	1.61	39	-30.1939	50.4	2.5	56.7	-2.5	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
36	DGA	IV	LA TRANQUILA	312	0.94	50	-0.2	1.61	51	-31.9	51.1	3.0	57.4	-1.9	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	30	1.52	42	-1.2	1.82	45	-31.0181	50.3	2.5	56.9	-2.6	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
38	DGA	IV	LOS CONDORES	28	1.24	32	1.7	1.61	34	-32.1086	48.6	4.3	55.0	-0.6	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	31	0.73	48	1.9	1.34	52	-30.6958	51.1	4.8	57.4	0.0	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	297	1.13	27	2.7	1.37	27	-30.5969	50.1	5.4	56.6	0.6	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
41	DGA	IV	RIVADAVIA	311	1.02	40	0.7	2.32	44	-29.9772	51.3	4.1	57.7	-1.4	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
42	DGA	V	ALICATAUE	256	0.90	31	-1.1	1.93	40	-32.3408	49.8	2.2	56.1	-3.0	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
43	DGA	V	LADOPHUELAS	263	1.14	39	-1.3	1.65	40	-33.145	47.1	1.9	53.5	-3.1	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
44	DGA	V	LIU-LIU EMBALSE	304	1.03	35	0.3	0.96	38	-33.0986	50.3	3.0	56.6	-1.5	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
45	DGA	V	LOS AROMOS	288	2.01	21	-0.5	1.36	24	-32.9578	49.0	2.5	56.0	-2.3	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
46	DGA	V	QUILLOTA	296	1.61	34	-1.2	1.64	35	-32.8958	49.7	2.0	56.4	-2.9	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
47	DGA	V	MILCUVA	317	1.24	39	-3.8	1.96	50	-32.8603	51.3	0.1	57.8	-5.1	52	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10

Cabe señalar que los grados de desempeño PG teóricos actualizados mostrados en la tabla anterior, en términos generales la gran mayoría de las estaciones logró mantener y disminuir su exigencia en relación al estudio anterior. En tanto a los resultados otorgados por el modelo LTPP Bind 2.1 no se desprenderán mayores análisis (contraste con resultados pasados) en la memoria y solo tendrá carácter de material informativo y aplicables en estudios posteriores si consideran la necesidad de ser requeridos.

7 ACTUALIZACIÓN GRADOS PG SEGÚN LTPP BIND 3.1

Para llevar a cabo esta metodología se utiliza el mismo archivo .xls empleado para el método LTPP Bind 2.1, añadiendo una nueva hoja con las respectivas funciones algebraicas aplicadas para obtener el resultado de la alta y baja temperatura de pavimento descritos para el método LTPP 3.1 (basado en daño) que se puede encontrar en el punto 3.3.4 de la presente memoria. Complementando a su vez con los parámetros estadísticos actuales expuestos en la *Tabla 4-8* de la presente memoria y también los pertenecientes al último estudio en 2017 llevado a cabo por Leandro Arteaga, con la idea de entablar comparativa sobre cambios en los requerimientos de grados PG ocasionado durante el periodo desde 2017 hasta 2023. Por lo tanto los resultados del modelo LTPP Bind 3.1 pasados y actuales se presentan a continuación en la *Tabla 6-1* y *Tabla 6-2* respectivamente.

Tabla 7-1: Resultados Arteaga, 2017 de los cálculos al 50% y 98% de confiabilidad para temperaturas de pavimento y asignación correspondiente de PG teóricos, según método LTPP Bind 3.1 (elaboración propia)

N°	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	T° MÁX (prom. móvil)	DES V MÁX	AÑOS MÁX	T° MÍN	DES V MÍN	AÑOS MÍN	DD PROM	LATITUD	PGd	CVgR	ARTEAGA 2017, LTPP 3.1				50% CONFIABILIDAD				98 % CONFIABILIDAD			
														98 % CONFIABILIDAD	T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	98 % CONFIABILIDAD	T° ALTA	T° BAJA	98 % CONFIABILIDAD	T° ALTA	T° BAJA	
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARCAJAP.	30.7	0.49	53	5.8	2.04	55	2592.06	-18.3514	53.0	0.01	53.0	10.0	53.1	4.8	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
2	DMC	IV	DIEGO ARACENA LOQUE AP.	28.9	0.97	33	7.6	1.67	34	2485.21	-20.5467	52.1	0.00	52.1	11.0	52.1	6.0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
3	DMC	II	EL LOO, CALAMA AD.	28.5	0.9	43	-12.5	2.96	44	2601.32	-22.4993	53.1	0.08	53.1	-3.8	53.2	-10.0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	27.5	1.36	48	0	1.83	51	2163.5	-23.4509	49.0	0.06	49.0	5.0	49.1	-0.1	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SIENA AD.	25.1	0.44	47	0.2	2.35	50	1794.28	-29.9172	45.2	0.32	45.2	3.8	45.7	-1.8	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
6	DMC	V	MATAVERISIA DE PASCUA AP.	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
7	DMC	V	RODEILLO AD.	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
9	DMC	V	SANTO DOMINGO AD.	32.4	5.06	28	-3.6	3.42	44	1678.24	-33.6561	44.0	0.99	44.0	0.1	44.9	-6.6	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
10	DGA	XV	EL BUTRE AERÓDROMO	24.8	0.41	25	5	2.23	26	2799.08	-18.5119	54.9	0.01	54.9	9.4	54.9	3.9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
11	DGA	XV	AZAPA	33.5	0.04	35	0	2.65	40	2874.3	-18.5156	55.5	0.01	55.5	5.8	55.5	0.0	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
12	DGA	XV	CHUNGARA AATA	18.7	1.38	19	-14.5	2.59	21	5164.7	-18.2353	30.2	0.02	30.2	-4.6	30.2	-10.4	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
13	DGA	XV	COPPA	27.2	1.19	26	-2	2.28	37	2590.33	-18.8322	53.0	0.01	53.0	4.3	53.0	-1.1	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
14	DGA	I	COPACAGUA	23.9	1.18	27	-22.5	3.83	24	1372.89	-20.0531	40.6	0.00	40.6	-10.6	40.6	-17.7	46	-16	46	-16	46	-16	46	-16
15	DGA	I	LAGUILLAS (PAMPA LIRIMA)	21.9	1.42	16	-26	5.85	28	962.61	-19.9333	35.8	0.00	35.8	-13.1	35.8	-22.8	46	-16	46	-16	46	-16	46	-16
16	DGA	II	CASAPANA	24.7	2.13	26	-8.7	2.57	30	1847.25	-22.3667	45.8	0.03	45.8	-4.1	45.8	-6.8	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
17	DGA	II	CHU-CHU	27.6	0.83	31	-14	3.41	31	2423.04	-22.3378	51.5	0.03	51.5	-4.9	51.5	-11.5	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	27.5	1.86	33	-16	3.65	31	2042.4	-22.0257	47.8	0.02	47.8	-6.3	47.8	-13.2	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
19	DGA	II	LINZOR	19.7	0.69	25	-19.2	3.03	28	751.29	-22.2297	33.2	0.03	33.2	-8.6	33.2	-14.8	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
20	DGA	II	PARSHAL N 2	24.8	0.81	36	-15	3.16	39	1697.78	-21.9428	44.2	0.02	44.2	-5.5	44.2	-11.9	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
21	DGA	II	PEÑE	34.7	1.1	31	-3.9	2.54	29	3163.72	-23.8842	57.9	0.07	57.9	2.1	58.0	-3.6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	38	2.71	22	-8.4	3.67	24	2939.45	-28.0992	56.1	0.35	56.1	-2.0	56.5	-9.0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
23	DGA	III	LA COMPAÑIA (VALLENAR)	30	1.08	17	-2	2.53	22	2720.76	-28.5763	54.2	0.39	54.2	2.5	54.6	-3.2	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	34.6	0.8	39	-6.5	3.81	43	3784.82	-27.9783	62.4	0.34	62.4	-4.6	62.9	-7.7	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
25	DGA	III	LOS LOROS	35.1	0.86	23	-4	2.86	24	3546.85	-27.8317	60.8	0.33	60.8	1.2	61.2	-4.8	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
26	DGA	III	SAN FELIX	36.8	0.87	21	-5.1	3.03	21	3717.28	-28.9311	62.0	0.42	62.0	0.2	62.5	-5.1	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
27	DGA	III	SANTA JUANA	32.5	0.9	36	-1.1	2.78	44	3142.64	-28.6672	57.7	0.40	57.7	3.1	58.2	-2.9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
28	DGA	III	CONAY ALGARICOQUE	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA	NUEVA
29	DGA	IV	CAREN	34.2	1.72	38	-2.5	3.06	42	3329.81	-30.8547	59.2	0.63	59.2	1.6	59.9	-4.7	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	32	2.7	45	-4	2.78	46	3001.74	-31.0078	56.6	0.64	56.6	0.5	57.3	-5.5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
31	DGA	IV	EL TRAPIQUE	29.9	1.11	33	-3.1	2.36	34	2459.82	-29.3731	51.8	0.47	51.8	1.5	52.3	-4.0	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
32	DGA	IV	HURTADO	32.8	1.51	30	-4.8	3.84	32	3178.44	-30.8867	58.0	0.56	58.0	0.1	58.7	-7.1	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	31.7	0.96	33	-2.8	2.8	39	3033.79	-31.6445	56.8	0.72	56.8	1.2	57.7	-4.8	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	29.9	1.11	38	-19.6	3.58	37	1558.03	-30.2033	42.7	0.55	42.7	-10.6	43.2	-17.4	46	-16	46	-16	46	-16	46	-16
35	DGA	IV	LA ORTIGA	31.4	1.55	35	-5	3.34	36	3084.17	-30.1939	57.2	0.55	57.2	-0.1	57.9	-6.6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	33	0.88	46	-4	3.18	44	3165.84	-31.9339	57.9	0.75	57.9	0.0	58.8	-6.4	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	33.2	1.85	41	-7.2	3.76	43	2939.15	-31.0181	56.1	0.64	56.1	-1.8	56.8	-8.9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
38	DGA	IV	LOS CONDORES	30.5	3.37	30	-3.3	2.46	31	2547.37	-32.0886	52.6	0.78	52.6	0.7	53.5	-5.0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	32.3	1.81	46	-0.7	2.52	49	3190.72	-30.9586	58.1	0.61	58.1	2.9	58.8	-2.8	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	31.1	0.62	24	0.2	2.27	23	2883.45	-30.9069	55.6	0.59	55.6	3.6	56.3	-1.9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
41	DGA	IV	RIVADAVIA	33	1.46	38	-10	3.23	41	3315.54	-29.9772	59.1	0.53	59.1	-3.6	59.7	-10.0	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
42	DGA	V	AICAHUE	31.7	1.35	31	-4.2	2.93	39	2769.29	-32.3408	54.6	0.81	54.6	0.0	55.5	-6.1	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
43	DGA	V	LAGO PENUELAS	29.2	2.14	36	-4.5	3.23	37	2165.88	-33.1445	49.0	0.92	49.0	-0.4	49.9	-6.9	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
44	DGA	V	LIU-LIU EMBALSE	34.4	2.64	33	-2.2	2.86	34	2846.8	-33.0986	55.3	0.91	55.3	1.2	56.3	-4.8	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
45	DGA	V	LOS ARCONOS	32.7	1.32	21	-3	3	24	2575.93	-32.8578	52.9	0.89	52.9	0.7	53.9	-5.5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
46	DGA	V	QUILUTA	34.3	3.18	34	-5.1	3.52	33	2778.2	-32.9858	54.2	0.88	54.2	-0.8	55.2	-7.6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
47	DGA	V	VILCUBA	33.3	1.91	36	-8.5	3.52	43	3092.85	-32.8603	57.3	0.88	57.3	-3.2	58.4	-10.0	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10

PG TEÓRICO

Tabla 7-2: Resultados actuales, 2023 de los cálculos al 50% y 98% de confiabilidad para temperaturas de pavimento y asignación correspondiente de PG teóricos, según método LTPP Bind 3.1 (elaboración propia)

N°	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	T° MAX (prom. móvil)	DES/ MAX	AÑOS MAX	T° MIN	DES/ MIN	AÑOS MIN	DD PROM	LATITUD	PGd	CVBd	50% CONFIABILIDAD				ACTUAL 2023, LTPP 3.1				98% CONFIABILIDAD			
														T° ALTA	T° BAJA	T° ALTA	T° BAJA	PG ALTA	PG BAJA	50% CONFIABILIDAD	PG ALTA	PG BAJA	98% CONFIABILIDAD	PG ALTA	PG BAJA
1	DMC	XV	CHACALLITA, ARICA AP.	27,5	0,89	61	9,0	1,50	63	2674,67	-18,3514	53,8	0,01	53,8	12,3	53,8	7,5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
2	DMC	I	DIEGO ARACENA LIQUICHE AP.	27,4	0,95	41	10,2	1,11	42	2556,78	-20,5467	52,7	0,01	52,7	12,8	52,7	8,2	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
3	DMC	II	EL OJA, CULAMA AD.	26,7	0,86	52	-7,0	1,70	53	2588,03	-22,4983	53,0	0,03	53,0	0,1	53,0	-4,9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
4	DMC	II	CENRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	25,2	1,05	60	7,4	1,19	60	2209,18	-23,4303	49,4	0,06	49,4	10,3	49,5	5,7	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SIRENA AD.	23,1	0,99	56	2,9	1,27	59	1827,51	-29,9772	45,6	0,32	45,6	5,7	46,1	1,0	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
6	DMC	V	MATAVERI ISA DE PASCUA AP.	28,2	0,64	52	10,0	1,14	53	2886,49	-27,1989	55,7	0,27	55,7	11,4	56,0	6,8	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
7	DMC	V	RODEILLO, AD.	27,0	1,06	42	2,1	1,05	42	2143,22	-33,0663	48,8	0,31	48,8	4,3	49,7	-0,3	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	23,6	1,04	54	6,2	1,02	59	1846,52	-33,6588	45,8	0,99	45,8	7,1	46,7	2,6	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	22,5	1,02	38	-0,9	1,02	52	1714,68	-33,6581	44,4	0,99	44,4	2,0	45,3	-2,6	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
10	DGA	XV	EL BUTRE AERODROMO	29,8	1,08	24	8,7	1,79	26	2882,65	-18,5119	55,6	0,01	55,6	12,1	55,6	7,0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
11	DGA	XV	AZAPA	30,1	1,28	36	5,4	1,98	42	2978,80	-18,5156	56,4	0,01	56,4	9,7	56,4	4,5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
12	DGA	XV	CHINGARAI AJATA	36,1	1,37	20	-12,3	1,29	21	469,39	-18,2553	29,8	0,02	29,8	-3,0	29,8	-7,7	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
13	DGA	XV	CORPA	26,1	0,97	27	0,7	1,02	37	2546,38	-18,8322	52,6	0,01	52,6	6,3	52,6	1,7	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
14	DGA	I	COPACAGUA	21,4	1,11	24	-17,2	2,19	24	1388,60	-20,0531	40,8	0,00	40,8	-6,8	40,8	-12,2	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
15	DGA	I	LAQUILLAS (PAMPALIRIMA)	19,2	1,69	17	-20,4	3,63	28	971,60	-19,9333	35,9	0,00	35,9	-9,1	35,9	-16,0	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
16	DGA	I	CASPANA	23,3	1,12	26	-4,2	2,17	30	1824,75	-22,3367	45,5	0,03	45,5	2,2	46,6	-3,2	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
17	DGA	II	CHU-CHU	25,8	1,08	34	-9,6	2,59	36	2390,52	-22,3378	51,2	0,03	51,2	-1,7	51,2	-7,5	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	24,3	1,31	33	-8,8	2,33	36	2021,74	-22,025	47,6	0,02	47,6	-1,1	47,6	-6,6	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
19	DGA	II	UNZOR	17,5	1,26	25	-13,5	2,65	28	759,35	-22,2987	33,3	0,03	33,3	-4,5	33,3	-10,3	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
20	DGA	II	PARSHALI N 2	22,7	1,15	33	-5,4	3,17	39	1669,88	-21,9428	43,9	0,02	43,9	1,4	43,9	-5,0	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
21	DGA	II	PEINE	31,1	1,26	32	-1,3	1,65	33	3146,60	-23,6892	57,7	0,07	57,7	4,0	57,8	-0,9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	29,7	1,37	25	-1,2	2,53	27	2929,38	-26,0992	56,0	0,35	56,0	3,2	56,4	-2,5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
23	DGA	III	LA COMPAÑIA (VALLENAR)	28,3	0,95	19	0,4	1,46	25	2715,75	-26,5761	54,1	0,39	54,1	4,2	54,6	-0,6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
24	DGA	III	LA TARNO EMBALSE	33,4	0,98	43	0,3	1,84	48	3779,61	-27,9783	62,4	0,34	62,4	4,3	62,8	-0,8	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
25	DGA	III	LOS DIOS	32,4	1,79	26	-0,3	1,72	28	3594,86	-27,8317	60,8	0,33	60,8	3,9	61,2	-1,1	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
26	DGA	III	SANTA FELIX	33,3	1,70	22	-2,2	1,40	25	9691,92	-28,9311	61,8	0,42	61,8	2,3	62,3	-2,5	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
27	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	30,3	1,09	39	2,2	1,42	48	3148,21	-28,6672	57,8	0,40	57,8	5,5	58,2	0,7	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
28	DGA	III	CAREN	32,4	1,03	20	-3,3	3,93	21	3471,26	-28,9331	60,2	0,43	60,2	1,5	60,8	-5,8	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
29	DGA	IV	CARIN	31,6	1,14	39	0,3	1,21	42	3264,57	-30,8547	58,7	0,63	58,7	3,6	59,4	-1,1	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	30,1	1,19	51	1,5	1,87	54	2991,86	-31,0078	56,5	0,64	56,5	4,4	57,2	-0,7	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
31	DGA	IV	EL TRAPISE	27,1	1,14	35	2,7	1,69	37	2504,31	-29,3731	52,2	0,47	52,2	5,7	52,7	0,7	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
32	DGA	IV	HURTADO	30,4	1,36	28	-0,8	1,70	35	3141,90	-30,2867	57,7	0,56	57,7	2,9	58,4	-2,0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
33	DGA	IV	LAPEL DGA	30,5	0,94	34	-0,1	1,23	42	3052,20	-31,645	57,0	0,72	57,0	3,1	57,8	-1,6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
34	DGA	IV	LA AGUINA EMBALSE	24,2	1,83	43	-17,4	2,16	41	1600,65	-30,2083	48,1	0,55	48,1	-5,5	48,6	-14,4	46	-10	46	-10	46	-10	46	-10
35	DGA	IV	LA ORTIGA	30,0	0,85	37	-1,5	1,61	39	3078,44	-30,1899	57,2	0,55	57,2	2,5	57,8	-2,5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	31,2	0,94	50	-0,2	1,61	51	3190,07	-31,9	58,1	0,75	58,1	3,0	59,0	-1,9	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
37	DGA	IV	LA RAMADAS	30,0	1,52	42	-1,2	1,82	45	2966,72	-31,0181	56,3	0,64	56,3	2,5	57,0	-2,6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
38	DGA	IV	LOS CONDORDES	28,0	1,24	32	1,7	1,61	34	2560,87	-32,1086	52,8	0,78	52,8	4,3	53,6	-0,6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	31,0	0,73	48	1,9	1,34	52	3167,57	-30,6968	57,9	0,61	57,9	4,8	58,6	0,0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	29,7	1,13	27	2,7	1,37	27	2940,83	-30,5069	56,1	0,59	56,1	5,4	56,7	0,6	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
41	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	31,1	1,02	40	0,7	2,32	44	3303,67	-29,9772	59,0	0,53	59,0	4,1	59,6	-1,4	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
42	DGA	V	ALICAHUE	29,6	0,90	31	-1,1	1,93	40	2800,80	-32,3408	54,9	0,81	54,9	2,2	55,8	-3,0	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
43	DGA	V	JACO FERREAS	26,3	1,14	39	-1,3	1,65	40	2178,78	-31,145	49,1	0,92	49,1	1,9	50,1	-3,1	52	-10	52	-10	52	-10	52	-10
44	DGA	V	LA LILU EMBALSE	30,4	1,03	35	0,3	0,96	38	2896,31	-33,0986	55,7	0,91	55,7	3,0	56,7	-1,5	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
45	DGA	V	LOS ARONDES	28,8	2,01	21	-0,5	1,36	24	2584,64	-32,9578	53,0	0,88	53,0	2,5	53,9	-2,3	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
46	DGA	V	COLLOTA	29,6	1,61	34	-1,2	1,64	35	2735,38	-32,8858	54,3	0,88	54,3	2,0	55,3	-2,9	58	-10	58	-10	58	-10	58	-10
47	DGA	V	VILCUBA	31,7	1,24	39	-3,8	1,96	50	3122,10	-32,8803	57,6	0,88	57,6	0,1	58,6	-5,1	64	-10	64	-10	64	-10	64	-10
														PG TEÓRICO											

8 SELECCIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS TRADICIONALES

El estudio llevado a cabo en la presente memoria, además de hacer referencia exclusivamente a la actualización de los grados PG y su análisis acontecido por factor del cambio climático; también es sustentable como guía práctica en instancias de diseño sobre proyectos viales. De tal forma la presente etapa consiste en emplear los valores de PG teóricos obtenidos con el método LTPP Bind 3.1, para determinar el o los ligantes asfálticos disponibles que representen a una determinada localidad donde se encuentre la estación meteorológica, teniendo especial énfasis en cubrir los grados extremos de su PG teórico, como a su vez el valor de la temperatura intermedia que decreta la capacidad de controlar la aparición de fallas producto de un agrietamiento por fatiga.

Con respecto a la determinación del ligante asfáltico tradicional, este debe presentar una temperatura intermedia menor a la designada como PG teórico conforme al método de cálculo LTPP 3.1 como indica el sistema SUPERPAVE.

$$T^{\circ} \text{ intermedia PG Teórico} > T^{\circ} \text{ intermedia ligante asfáltico tradicional}$$

8.1 ALTERNATIVAS DE LIGANTES ASFÁLTICOS TRADICIONALES DISPONIBLES

Para lograr determinar las alternativas de ligantes asfálticos propias en cada estación meteorológica solo se tomará como restricción la condición de disponibilidad dentro del mercado que ofrecen las industrias productoras de asfalto en el territorio nacional chileno; en atención a lo cual los resultados de las alternativas queda materializado en la siguientes tablas: *Tabla 7-1* y *Tabla 7-2* (50% confiabilidad y 98% confiabilidad respectivamente). Tablas que sostienen como principal objetivo el servir de guía práctica en instancias de diseño para proyectos viales en el territorio nacional.

De tal modo, en base a consultas realizadas a distintas industrias proveedoras de asfaltos, se consideran como Ligantes Asfálticos comerciales en Chile a dos alternativas, conocidas por su clasificación SUPERPAVE como:

- **PG 64-22**
- **PG 58-28**

Tabla 8-1: Alternativas actuales, 2023 para ligantes asfálticos tradicionales bajo un 50% de confiabilidad (elaboración propia)

N°	Fuente	Región	Estaciones	Ubicación		50% Confiabilidad			Alternativas ligante tradicional, 50%		
				Latitud	Longitud	Grado de desempeño PG teórico			Interm: 25 PG 64 - 22	Interm: 19 PG 58 - 28	Interm: 13 PG 52 - 34
						Alta	Baja	Intermedia			
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	-18,3514	-70,3358	58	-10	28			
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	-20,5467	-70,1772	58	-10	28			
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	-22,4953	-69,9044	58	-10	28			
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	-23,4503	-70,4411	52	-10	25			
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	-29,9172	-71,2003	46	-10	22			
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	-27,1589	-109,4325	58	-10	28			
7	DMC	V	RODELILLO, AD.	-33,0653	-71,5564	52	-10	25			
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	-33,6358	-78,8331	46	-10	22			
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	-33,6561	-71,6133	46	-10	22			
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	-18,5119	-70,2842	58	-10	28			
11	DGA	XV	AZAPA	-18,5156	-70,1806	58	-10	28			
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-69,1833	46	-10	22			
13	DGA	XV	CODPA	-18,8322	-69,7439	58	-10	28			
14	DGA	I	COYACAGUA	-20,0531	-68,8075	46	-10	22			
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-68,8369	46	-10	22			
16	DGA	II	CASPANA	-22,3367	-68,2122	46	-10	22			
17	DGA	II	CHIU-CHIU	-22,3378	-68,6367	52	-10	25			
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	-22,025	-68,6242	52	-10	25			
19	DGA	II	LINZOR	-22,2297	-68,0228	46	-10	22			
20	DGA	II	PARSHALL N 2	-21,9428	-68,5175	46	-10	22			
21	DGA	II	PEINE	-23,6842	-68,0581	58	-10	28			
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	-28,0992	-70,7811	58	-10	28			
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-70,8081	58	-10	28			
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-70,0033	64	-10	31			
25	DGA	III	LOS LOROS	-27,8317	-70,1119	64	-10	31			
26	DGA	III	SAN FELIX	-28,9311	-70,4614	64	-10	31			
27	DGA	III	SANTA JUANA	-28,6672	-70,6625	58	-10	28			
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	-28,9531	-70,1167	64	-10	31			
29	DGA	IV	CAREN	-30,8547	-70,7708	64	-10	31			
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-71,0856	58	-10	28			
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	-29,3731	-71,1181	58	-10	28			
32	DGA	IV	HURTADO	-30,2867	-70,6961	58	-10	28			
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	-31,645	-71,1908	58	-10	28			
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-70,0422	46	-10	22			
35	DGA	IV	LA ORTIGA	-30,1939	-70,4819	58	-10	28			
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	-31,9	-70,6706	64	-10	31			
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	-31,0181	-70,5858	58	-10	28			
38	DGA	IV	LOS CONDORES	-32,1086	-71,3125	58	-10	28			
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-71,0361	58	-10	28			
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	-71,0997	58	-10	28			
41	DGA	IV	RIVADAVIA	-29,9772	-70,5617	64	-10	31			
42	DGA	V	ALICAHUE	-32,3408	-70,7528	58	-10	28			
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	-33,145	-71,5533	52	-10	25			
44	DGA	V	LLIU - LLIU EMBALSE	-33,0986	-71,2144	58	-10	28			
45	DGA	V	LOS AROMOS	-32,9578	-71,345	58	-10	28			
46	DGA	V	QUILLOTA	-32,8958	-71,2092	58	-10	28			
47	DGA	V	VILCUYA	-32,8603	-70,4719	58	-10	28			

Tabla 8-2: Alternativas actuales, 2023 para ligantes asfálticos tradicionales bajo un 98% de confiabilidad (elaboración propia)

N°	Fuente	Región	Estaciones	Ubicación		98% Confiabilidad			Alternativas ligante tradicional 98%		
				Latitud	Longitud	Grado de desempeño PG teórico			Interm: 25 PG 64 - 22	Interm: 19 PG 58 - 28	Interm: 13 PG 52 - 34
						Alta	Baja	Intermedia			
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	-18,3514	-70,3358	58	-10	28			
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	-20,5467	-70,1772	58	-10	28			
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	-22,4953	-69,9044	58	-10	28			
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	-23,4503	-70,4411	52	-10	25			
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	-29,9172	-71,2003	52	-10	25			
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	-27,1589	-109,4325	58	-10	28			
7	DMC	V	RODELILLO, AD.	-33,0653	-71,5564	52	-10	25			
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	-33,6358	-78,8331	52	-10	25			
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	-33,6561	-71,6133	46	-10	22			
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	-18,5119	-70,2842	58	-10	28			
11	DGA	XV	AZAPA	-18,5156	-70,1806	58	-10	28			
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-69,1833	46	-10	22			
13	DGA	XV	CODPA	-18,8322	-69,7439	58	-10	28			
14	DGA	I	COYACAGUA	-20,0531	-68,8075	46	-16	19			
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-68,8369	46	-16	19			
16	DGA	II	CASPANA	-22,3367	-68,2122	46	-10	22			
17	DGA	II	CHIU-CHIU	-22,3378	-68,6367	52	-10	25			
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	-22,025	-68,6242	52	-10	25			
19	DGA	II	LINZOR	-22,2297	-68,0228	46	-16	19			
20	DGA	II	PARSHALL N 2	-21,9428	-68,5175	46	-10	22			
21	DGA	II	PEINE	-23,6842	-68,0581	58	-10	28			
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	-28,0992	-70,7811	58	-10	28			
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-70,8081	58	-10	28			
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-70,0033	64	-10	31			
25	DGA	III	LOS LOROS	-27,8317	-70,1119	64	-10	31			
26	DGA	III	SAN FELIX	-28,9311	-70,4614	64	-10	31			
27	DGA	III	SANTA JUANA	-28,6672	-70,6625	64	-10	31			
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	-28,9531	-70,1167	64	-10	31			
29	DGA	IV	CAREN	-30,8547	-70,7708	64	-10	31			
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-71,0856	58	-10	28			
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	-29,3731	-71,1181	58	-10	28			
32	DGA	IV	HURTADO	-30,2867	-70,6961	64	-10	31			
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	-31,645	-71,1908	58	-10	28			
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-70,0422	46	-16	19			
35	DGA	IV	LA ORTIGA	-30,1939	-70,4819	58	-10	28			
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	-31,9	-70,6706	64	-10	31			
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	-31,0181	-70,5858	58	-10	28			
38	DGA	IV	LOS CONDORES	-32,1086	-71,3125	58	-10	28			
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-71,0361	64	-10	31			
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	-71,0997	58	-10	28			
41	DGA	IV	RIVADAVIA	-29,9772	-70,5617	64	-10	31			
42	DGA	V	ALICAHUE	-32,3408	-70,7528	58	-10	28			
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	-33,145	-71,5533	52	-10	25			
44	DGA	V	LLIU -LLIU EMBALSE	-33,0986	-71,2144	58	-10	28			
45	DGA	V	LOS AROMOS	-32,9578	-71,345	58	-10	28			
46	DGA	V	QUILLOTA	-32,8958	-71,2092	58	-10	28			
47	DGA	V	VILCUYA	-32,8603	-70,4719	64	-10	31			

8.2 RESUMEN DE LIGANTES ASFÁLTICOS AGRUPADOS POR REGIÓN

De acuerdo a las alternativas obtenidas para ligantes asfálticos tradicionales, se puede observar que algunas estaciones climatológicas cuentan con más de una alternativa, entonces a modo de sintetizar y ser más práctica la elección se decidió por sugerir la alternativa más representativa y conveniente para la estación procurando tener una distribución homogénea en cada región del territorio nacional comprendida entre las XV y V regiones.

A continuación se puede observar de la *Tabla 7-3* y *Tabla 7-4*, la distribución resumida de ligantes asfálticos tradicionales tanto para el 50% y 98% de confiabilidad.

Tabla 8-3: Resumen actual, 2023 con la alternativa disponible de ligante asfáltico tradicional más adecuada según región, considerando un 50% de confiabilidad (elaboración propia)

N°	Fuente	Región	Estaciones	Ubicación		50% Confiabilidad			Alternativas ligante tradicional, 50%		
				Latitud	Longitud	Grado de desempeño PG teórico			Interm: 25 PG 64 - 22	Interm: 19 PG 58 - 28	Interm: 13 PG 52 - 34
						Alta	Baja	Intermedia			
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-69,1833	46	-10	22			
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	-18,3514	-70,3358	58	-10	28			
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	-18,5119	-70,2842	58	-10	28			
11	DGA	XV	AZAPA	-18,5156	-70,1806	58	-10	28			
13	DGA	XV	CODPA	-18,8322	-69,7439	58	-10	28			
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-68,8369	46	-10	22			
14	DGA	I	COYACAGUA	-20,0531	-68,8075	46	-10	22			
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	-20,5467	-70,1772	58	-10	28			
20	DGA	II	PARSHALL N 2	-21,9428	-68,5175	46	-10	22			
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	-22,025	-68,6242	52	-10	25			
19	DGA	II	LINZOR	-22,2297	-68,0228	46	-10	22			
16	DGA	II	CASPANA	-22,3367	-68,2122	46	-10	22			
17	DGA	II	CHIU-CHIU	-22,3378	-68,6367	52	-10	25			
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	-22,4953	-69,9044	58	-10	28			
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	-23,4503	-70,4411	52	-10	25			
21	DGA	II	PEINE	-23,6842	-68,0581	58	-10	28			
25	DGA	III	LOS LOROS	-27,8317	-70,1119	64	-10	31			
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-70,0033	64	-10	31			
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	-28,0992	-70,7811	58	-10	28			
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-70,8081	58	-10	28			
27	DGA	III	SANTA JUANA	-28,6672	-70,6625	58	-10	28			
26	DGA	III	SAN FELIX	-28,9311	-70,4614	64	-10	31			
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	-28,9531	-70,1167	64	-10	31			
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	-29,3731	-71,1181	58	-10	28			
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	-29,9172	-71,2003	46	-10	22			
41	DGA	IV	RIVADAVIA	-29,9772	-70,5617	64	-10	31			
35	DGA	IV	LA ORTIGA	-30,1939	-70,4819	58	-10	28			
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-70,0422	46	-10	22			
32	DGA	IV	HURTADO	-30,2867	-70,6961	58	-10	28			
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	-71,0997	58	-10	28			
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-71,0361	58	-10	28			
29	DGA	IV	CAREN	-30,8547	-70,7708	64	-10	31			
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-71,0856	58	-10	28			
37	DGA	IV	IAS RAMADAS	-31,0181	-70,5858	58	-10	28			
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	-31,645	-71,1908	58	-10	28			
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	-31,9	-70,6706	64	-10	31			
38	DGA	IV	LOS CONDORES	-32,1086	-71,3125	58	-10	28			
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	-27,1589	-109,4325	58	-10	28			
42	DGA	V	ALICAHUE	-32,3408	-70,7528	58	-10	28			
47	DGA	V	VILCUYA	-32,8603	-70,4719	58	-10	28			
46	DGA	V	QUILLLOTA	-32,8958	-71,2092	58	-10	28			
45	DGA	V	LOS AROMOS	-32,9578	-71,345	58	-10	28			
7	DMC	V	RODELILLO, AD.	-33,0653	-71,5564	52	-10	25			
44	DGA	V	LLIU -LIU EMBALSE	-33,0986	-71,2144	58	-10	28			
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	-33,145	-71,5533	52	-10	25			
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	-33,6358	-78,8331	46	-10	22			
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	-33,6561	-71,6133	46	-10	22			

Tabla 8-4: Resumen actual, 2023 con la alternativa disponible de ligante asfáltico tradicional más adecuada según región, considerando un 98% de confiabilidad (elaboración propia)

N°	Fuente	Región	Estaciones	Ubicación		98% Confiabilidad			Alternativas ligante tradicional 98%		
				Latitud	Longitud	Grado de desempeño PG teórico			Interm: 25	Interm: 19	Interm: 13
						Alta	Baja	Intermedia	PG 64 - 22	PG 58 - 28	PG 52 - 34
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-69,1833	46	-10	22			
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	-18,3514	-70,3358	58	-10	28			
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	-18,5119	-70,2842	58	-10	28			
11	DGA	XV	AZAPA	-18,5156	-70,1806	58	-10	28			
13	DGA	XV	CODPA	-18,8322	-69,7439	58	-10	28			
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-68,8369	46	-16	19			
14	DGA	I	COYACAGUA	-20,0531	-68,8075	46	-16	19			
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	-20,5467	-70,1772	58	-10	28			
20	DGA	II	PARSHALL N 2	-21,9428	-68,5175	46	-10	22			
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	-22,025	-68,6242	52	-10	25			
19	DGA	II	LINZOR	-22,2297	-68,0228	46	-16	19			
16	DGA	II	CASPANA	-22,3367	-68,2122	46	-10	22			
17	DGA	II	CHIU-CHIU	-22,3378	-68,6367	52	-10	25			
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	-22,4953	-69,9044	58	-10	28			
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	-23,4503	-70,4411	52	-10	25			
21	DGA	II	PEINE	-23,6842	-68,0581	58	-10	28			
25	DGA	III	LOS LOROS	-27,8317	-70,1119	64	-10	31			
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-70,0033	64	-10	31			
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	-28,0992	-70,7811	58	-10	28			
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-70,8081	58	-10	28			
27	DGA	III	SANTA JUANA	-28,6672	-70,6625	64	-10	31			
26	DGA	III	SAN FELIX	-28,9311	-70,4614	64	-10	31			
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	-28,9531	-70,1167	64	-10	31			
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	-29,3731	-71,1181	58	-10	28			
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	-29,9172	-71,2003	52	-10	25			
41	DGA	IV	RIVADAVIA	-29,9772	-70,5617	64	-10	31			
35	DGA	IV	LA ORTIGA	-30,1939	-70,4819	58	-10	28			
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-70,0422	46	-16	19			
32	DGA	IV	HURTADO	-30,2867	-70,6961	64	-10	31			
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	-71,0997	58	-10	28			
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-71,0361	64	-10	31			
29	DGA	IV	CAREN	-30,8547	-70,7708	64	-10	31			
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-71,0856	58	-10	28			
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	-31,0181	-70,5858	58	-10	28			
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	-31,645	-71,1908	58	-10	28			
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	-31,9	-70,6706	64	-10	31			
38	DGA	IV	LOS CONDORES	-32,1086	-71,3125	58	-10	28			
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	-27,1589	-109,4325	58	-10	28			
42	DGA	V	ALICAHUE	-32,3408	-70,7528	58	-10	28			
47	DGA	V	VILCUYA	-32,8603	-70,4719	64	-10	31			
46	DGA	V	QUILLOTA	-32,8958	-71,2092	58	-10	28			
45	DGA	V	LOS AROMOS	-32,9578	-71,345	58	-10	28			
7	DMC	V	RODELUILLO, AD.	-33,0653	-71,5564	52	-10	25			
44	DGA	V	LLIU-LLIU EMBALSE	-33,0986	-71,2144	58	-10	28			
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	-33,145	-71,5533	52	-10	25			
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	-33,6358	-78,8331	52	-10	25			
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	-33,6561	-71,6133	46	-10	22			

9 COMPARATIVO ENTRE RESULTADOS ACTUALES 2023 Y DE ARTEAGA 2017

Habiendo obtenido los resultados actualizados sobre los grados PG de las estaciones climatológicas chilenas, es fundamental destacar que todos los años considerados para el estudio cumplieron con un análisis de posibilidades que abarcó desde inicios del año 1960 hasta finales del año 2022, marcando este último año un límite puesto que actualmente el año 2023 sigue en curso y los registros climáticos de temperatura del aire deben ser comprobados y/o corregidos por la dirección pertinente.

Se han cumplido aproximadamente 6 años desde el estudio realizado por Leandro Arteaga en su memoria del año 2017 (incluyendo como novedad al método LTPP 3.1 para cálculo PG) hasta la actualidad, por ende es necesario el brindar un análisis sobre la demanda actual climática a la cual se ven enfrentado hoy en día los pavimentos asfálticos en Chile ya que los registros climatológicos para tal estudio en 2017 están limitados hasta el año 2014 en su totalidad, de acuerdo a la memoria publicada por Mauricio Segovia en el año 2015. De modo tal que se precisa conocer la variación a la demanda de ligantes asfálticos en consecuencia de los 8 años de nuevos registros transcurridos.

9.1 50% DE CONFIABILIDAD.

Para complementar lo anteriormente mencionado, se presenta en la siguiente *Tabla 8-1* el contraste existente entre los grados PG teóricos determinados en 2017, y los obtenidos en el desarrollo del presente estudio actual para un porcentaje de confiabilidad del 50%.

Tabla 9-1: Comparativo de grados PG obtenidos actualmente en el año 2023 con respecto a los presentados en la memoria de Leandro Arteaga en 2017, para el 50% de confiabilidad y según método LTPP 3.1 (elaboración propia)

					PG TEÓRICOS A 50% CONFIABILIDAD				
					ARTEAGA 2017		ACTUAL 2023		
FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	PG ALTA	PG BAJA	PG ALTA	PG BAJA	SIMILITUD
DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	-18,3514	-70,3358	58	-10	58	-10	SI
DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	-20,5467	-70,1772	58	-10	58	-10	SI
DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	-22,4953	-69,9044	58	-10	58	-10	SI
DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	-23,4503	-70,4411	52	-10	52	-10	SI
DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	-29,9172	-71,2003	46	-10	46	-10	SI
DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	-27,1589	-109,4325	NUEVO	NUEVO	58	-10	N/A
DMC	V	RODELILLO, AD.	-33,0653	-71,5564	NUEVO	NUEVO	52	-10	N/A
DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	-33,6358	-78,8331	NUEVO	NUEVO	46	-10	N/A
DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	-33,6561	-71,6133	46	-10	46	-10	SI
DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	-18,5119	-70,2842	58	-10	58	-10	SI
DGA	XV	AZAPA	-18,5156	-70,1806	58	-10	58	-10	SI
DGA	XV	CHUNGARA AJATA	-18,2353	-69,1833	46	-10	46	-10	SI
DGA	XV	CODPA	-18,8322	-69,7439	58	-10	58	-10	SI
DGA	I	COYACAGUA	-20,0531	-68,8075	46	-16	46	-10	NO
DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	-19,9333	-68,8369	46	-16	46	-10	NO
DGA	II	CASPANA	-22,3367	-68,2122	46	-10	46	-10	SI
DGA	II	CHIU-CHIU	-22,3378	-68,6367	52	-10	52	-10	SI
DGA	II	CONCHI EMBALSE	-22,0250	-68,6242	52	-10	52	-10	SI
DGA	II	LINZOR	-22,2297	-68,0228	46	-10	46	-10	SI
DGA	II	PARSHALL N 2	-21,9428	-68,5175	46	-10	46	-10	SI
DGA	II	PEINE	-23,6842	-68,0581	58	-10	58	-10	SI
DGA	III	CANTO DE AGUA	-28,0992	-70,7811	58	-10	58	-10	SI
DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	-28,5761	-70,8081	58	-10	58	-10	SI
DGA	III	LAUTARO EMBALSE	-27,9783	-70,0033	64	-10	64	-10	SI
DGA	III	LOS LOROS	-27,8317	-70,1119	64	-10	64	-10	SI
DGA	III	SAN FELIX	-28,9311	-70,4614	64	-10	64	-10	SI
DGA	III	SANTA JUANA	-28,6672	-70,6625	58	-10	58	-10	SI
DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	-28,9531	-70,1167	NUEVO	NUEVO	64	-10	N/A
DGA	IV	CAREN	-30,8547	-70,7708	64	-10	64	-10	SI
DGA	IV	COGOTI EMBALSE	-31,0078	-71,0856	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	EL TRAPICHE	-29,3731	-71,1181	52	-10	58	-10	NO
DGA	IV	HURTADO	-30,2867	-70,6961	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	ILLAPEL DGA	-31,6450	-71,1908	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	-30,2033	-70,0422	46	-16	46	-10	NO
DGA	IV	LA ORTIGA	-30,1939	-70,4819	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	LA TRANQUILLA	-31,9000	-70,6706	58	-10	64	-10	NO
DGA	IV	LAS RAMADAS	-31,0181	-70,5858	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	LOS CONDORES	-32,1086	-71,3125	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	PALOMA EMBALSE	-30,6958	-71,0361	64	-10	58	-10	NO
DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	-30,5069	-71,0997	58	-10	58	-10	SI
DGA	IV	RIVADAVIA	-29,9772	-70,5617	64	-10	64	-10	SI
DGA	V	ALICAHUE	-32,3408	-70,7528	58	-10	58	-10	SI
DGA	V	LAGO PEÑUELAS	-33,1450	-71,5533	52	-10	52	-10	SI
DGA	V	LLIU -LLIU EMBALSE	-33,0986	-71,2144	58	-10	58	-10	SI
DGA	V	LOS AROMOS	-32,9578	-71,3450	58	-10	58	-10	SI
DGA	V	QUILLOTA	-32,8958	-71,2092	58	-10	58	-10	SI
DGA	V	VILCUYA	-32,8603	-70,4719	58	-10	58	-10	SI

A continuación, según resultados al 50% de confiabilidad de la tabla anterior, se evalúa la situación caso a caso de las estaciones climatológicas que “NO” presentaban total “SIMILITUD” (casillas destacadas en amarillo) en sus grados PG Teóricos, de manera independiente para revisar las variaciones que afrontaron sus temperaturas de pavimentos.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CON VARIACIONES DE PG TEÓRICO AL 50% (LTPP 3.1)

- **COYACAGUA:** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados en la temperatura mínima de aire en un 5,3°C provocando la variación de la temperatura de pavimento en 3,8°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -6,8°C Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-2*.

Tabla 9-2: Variación en estación COYACAGUA de un PG 46-16 a PG 46-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 50% confiabilidad (elaboración propia)

COYACAGUA	PG XX-16	PG XX-10
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-22,5	-17,2
Baja T° pavimento	-10,6	-6,8

- **LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA):** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 5,6°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 4,0°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -9,1°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-3*.

Tabla 9-3: Variación en estación LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) de un PG 46-16 a PG 46-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 50% confiabilidad (elaboración propia)

LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	PG XX-16	PG XX-10
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-26,0	-20,4
Baja T° pavimento	-13,1	-9,1

- **EL TRAPICHE:** presentó un salto de PG 52-YY a PG 58-YY en el alto grado de desempeño, manteniendo el valor en la baja; Específicamente por efecto del aumento en los grados-días (DD promedio) en un 44,49°C provocando la variación de la temperatura de pavimento en 0,4°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de 52,2°C lo que demandó finalmente a otorgar un alto grado PG teórico de PG 58-YY. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-2*.

Tabla 9-4: Variación en estación EL TRAPICHE de un PG 52-10 a PG 58-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 50% confiabilidad (elaboración propia)

EL TRAPICHE	PG 52-YY	PG 58-YY
	Arteaga, 2017	Actual
DD promedio	2459,82	2504,31
Alta T° pavimento	51,8	52,2

- **LA LAGUNA EMBALSE:** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 7,1°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 5,1°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -5,5°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-5*.

Tabla 9-5: Variación en estación LA LAGUNA EMBALSE de un PG 46-16 a PG 46-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 50% confiabilidad (elaboración propia)

LA LAGUNA EMBALSE	PG XX-16	PG XX-10
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-19,6	-12,5
Baja T° pavimento	-10,6	-5,5

- **LA TRANQUILLA:** presentó un salto de PG 58-YY a PG 64-YY en el alto grado de desempeño, manteniendo el valor de la baja; Por el hecho que hubo aumento de los grados-días (DD promedio) en un 24,23°C generando que exista una variación de 0,2°C en la temperatura de pavimento, dando por consiguiente una temperatura de pavimento resultante de 58,1°, solicitando de esta forma que la estación deba aumentar el alto grado PG teórico a PG 64-YY. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-3*.

Tabla 9-6: Variación en estación LA TRANQUILLA de un PG 58-10 a PG 64-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 50% confiabilidad (elaboración propia)

LA TRANQUILLA	PG 58-YY	PG 64-YY
	Arteaga, 2017	Actual
DD promedio	3165,84	3190,07
Alta T° pavimento	57,9	58,1

- **PALOMA EMBALSE:** presentó un salto de PG 64-YY a PG 58-YY en el alto grado de desempeño, manteniendo el valor de la baja; Por el hecho que hubo disminución en los grados-días (DD promedio) de un 23,15°C generando que exista una variación de -0,2°C en la temperatura de pavimento, dando por consiguiente una temperatura de pavimento resultante de 57,9°, permitiendo a la estación disminuir el alto grado PG teórico a PG 58-YY. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-4*.

Tabla 9-7: Variación en estación PALOMA EMBALSE de un PG 64-10 a PG 58-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 50% confiabilidad (elaboración propia)

PALOMA EMBALSE	PG 64-YY	PG 58-YY
	Arteaga, 2017	Actual
DD promedio	3190,72	3167,57
Alta T° pavimento	58,1	57,9

9.2 98% DE CONFIABILIDAD.

Continuando con el contraste entre los grados PG teóricos determinados en 2016, y los obtenidos en la actualidad, se presenta a continuación la *Tabla 8-8* para un 98% de confiabilidad permitiendo ver destacado en amarillo las casillas que tuvieron cambios.

Tabla 9-8: Comparativo de grados PG obtenidos actualmente en el año 2023 con respecto a los presentados en la memoria de Leandro Arteaga en 2017, para el 98% de confiabilidad y según método LTPP 3.1 (elaboración propia)

				PG TEÓRICOS A 98% CONFIABILIDAD				
				ARTEAGA 2017		ACTUAL 2023		
Nº	FUENTE	REGIÓN	ESTACIONES	PG ALTA	PG BAJA	PG ALTA	PG BAJA	SIMILITUD
1	DMC	XV	CHACALLUTA, ARICA AP.	58	-10	58	-10	SI
2	DMC	I	DIEGO ARACENA IQUIQUE AP.	58	-10	58	-10	SI
3	DMC	II	EL LOA, CALAMA AD.	58	-10	58	-10	SI
4	DMC	II	CERRO MORENO ANTOFAGASTA AP.	52	-10	52	-10	SI
5	DMC	IV	LA FLORIDA, LA SERENA AD.	46	-10	52	-10	NO
6	DMC	V	MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.	NUEVO	NUEVO	58	-10	N/A
7	DMC	V	RODELILLO, AD.	NUEVO	NUEVO	52	-10	N/A
8	DMC	V	JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA	NUEVO	NUEVO	52	-10	N/A
9	DMC	V	SANTO DOMINGO, AD.	46	-10	46	-10	SI
10	DGA	XV	EL BUITRE AERÓDROMO	58	-10	58	-10	SI
11	DGA	XV	AZAPA	58	-10	58	-10	SI
12	DGA	XV	CHUNGARA AJATA	46	-16	46	-10	NO
13	DGA	XV	CODPA	58	-10	58	-10	SI
14	DGA	I	COYACAGUA	46	-22	46	-16	NO
15	DGA	I	LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	46	-28	46	-16	NO
16	DGA	II	CASPANA	46	-10	46	-10	SI
17	DGA	II	CHIU-CHIU	52	-16	52	-10	NO
18	DGA	II	CONCHI EMBALSE	52	-16	52	-10	NO
19	DGA	II	LINZOR	46	-16	46	-16	SI
20	DGA	II	PARSHALL N 2	46	-16	46	-10	NO
21	DGA	II	PEINE	58	-10	58	-10	SI
22	DGA	III	CANTO DE AGUA	58	-10	58	-10	SI
23	DGA	III	LA COMPAÑÍA (VALLENAR)	58	-10	58	-10	SI
24	DGA	III	LAUTARO EMBALSE	64	-10	64	-10	SI
25	DGA	III	LOS LOROS	64	-10	64	-10	SI
26	DGA	III	SAN FELIX	64	-10	64	-10	SI
27	DGA	III	SANTA JUANA	64	-10	64	-10	SI
28	DGA	III	CONAY ALBARICOQUE	NUEVO	NUEVO	64	-10	N/A
29	DGA	IV	CAREN	64	-10	64	-10	SI
30	DGA	IV	COGOTI EMBALSE	58	-10	58	-10	SI
31	DGA	IV	EL TRAPICHE	58	-10	58	-10	SI
32	DGA	IV	HURTADO	64	-10	64	-10	SI
33	DGA	IV	ILLAPEL DGA	58	-10	58	-10	SI
34	DGA	IV	LA LAGUNA EMBALSE	46	-22	46	-16	NO
35	DGA	IV	LA ORTIGA	58	-10	58	-10	SI
36	DGA	IV	LA TRANQUILLA	64	-10	64	-10	SI
37	DGA	IV	LAS RAMADAS	58	-10	58	-10	SI
38	DGA	IV	LOS CONDORES	58	-10	58	-10	SI
39	DGA	IV	PALOMA EMBALSE	64	-10	64	-10	SI
40	DGA	IV	RECOLETA EMBALSE	58	-10	58	-10	SI
41	DGA	IV	RIVADAVIA	64	-10	64	-10	SI
42	DGA	V	ALICAHUE	58	-10	58	-10	SI
43	DGA	V	LAGO PEÑUELAS	52	-10	52	-10	SI
44	DGA	V	LLIU -LLIU EMBALSE	58	-10	58	-10	SI
45	DGA	V	LOS AROMOS	58	-10	58	-10	SI
46	DGA	V	QUILLOTA	58	-10	58	-10	SI
47	DGA	V	VILCUYA	64	-10	64	-10	SI

A continuación, de acuerdo a resultados al 98% de confiabilidad de la tabla anterior, se evalúa la situación de la estación climatológica que “NO” presentaba total “SIMILITUD” (casillas destacadas en amarillo) en sus grados PG Teóricos, para revisar las variaciones que afrontaron sus temperaturas de pavimentos.

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CON VARIACIONES DE PG TEÓRICO AL 98% (LTPP 3.1)

- **LA FLORIDA, LA SERENA AD.:** presentó un salto de PG 46-YY a PG 52-YY en el alto grado de desempeño, manteniendo el valor de la baja; Por el hecho que hubo incremento en los grados-días (DD promedio) de un 33,23°C generando que exista una variación de 0,4°C en la temperatura de pavimento, dando por consiguiente una temperatura de pavimento resultante de 46,1°, demandando a la estación contar con un alto grado PG teórico a PG 52-YY. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-9*.

Tabla 9-9: Variación en estación LA FLORIDA, LA SERENA AD. de un PG 46-10 a PG 52-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

LA FLORIDA, LA SERENA AD.	PG 46-YY	PG 52-YY	
	Arteaga, 2017	Actual	Variación
DD promedio	1794,28	1827,51	33,23
Alta T° pavimento	45,7	46,1	0,4

- **CHUNGARA AJATA:** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 2,2°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 2,6°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -7,7°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-10*.

Tabla 9-10: Variación en estación CHUNGARA AJATA de un PG 46-16 a PG 46-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

CHUNGARA AJATA	PG XX-16	PG XX-10	
	Arteaga, 2017	Actual	Variación
T° Mínima	-14,5	-12,3	2,2
Baja T° pavimento	-10,4	-7,7	2,6

- **COYACAGUA:** presentó un salto de PG XX-22 a PG XX-16 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 5,3°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 5,5°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -12,2°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-16. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-11*.

Tabla 9-11: Variación en estación COYACAGUA de un PG 46-22 a PG 46-16 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

COYACAGUA	PG XX-22	PG XX-16	
	Arteaga, 2017	Actual	Variación
T° Mínima	-22,5	-17,2	5,3
Baja T° pavimento	-17,7	-12,2	5,5

- **LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA):** presentó un salto de PG XX-28 a PG XX-16 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 5,6°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 6,8°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -16,0°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-16. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-12*.

Tabla 9-12: Variación en estación LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) de un PG 46-28 a PG 46-16 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA)	PG XX-28	PG XX-16
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-26	-20,4
Baja T° pavimento	-22,8	-16,0

- **CHIU CHIU:** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 4,4°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 4,0°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -7,5°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-13*.

Tabla 9-13: Variación en estación CHIU CHIU de un PG 52-16 a PG 52-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

CHIU CHIU	PG XX-16	PG XX-10
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-14	-9,6
Baja T° pavimento	-11,5	-7,5

- **CONCHI EMBALSE:** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 7,2°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 6,6°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -6,6°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-14*.

Tabla 9-14: Variación en estación CONCHI EMBALSE de un PG 52-16 a PG 52-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

CONCHI EMBALSE	PG XX-16	PG XX-10
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-16,0	-8,8
Baja T° pavimento	-13,2	-6,6

- **PARSHALL N2:** presentó un salto de PG XX-16 a PG XX-10 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 9,6°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 6,9°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -5,0°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-10. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-15*.

Tabla 9-15: Variación en estación PARSHALL N2 de un PG 46-16 a PG 46-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

PARSHALL N2	PG XX-16	PG XX-10
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-15	-5,4
Baja T° pavimento	-11,9	-5,0
		Variación
		9,6
		6,9

- **LA LAGUNA EMBALSE:** presentó un salto de PG XX-22 a PG XX-16 en el bajo grado de desempeño, manteniendo el valor de la alta; Específicamente por efecto del aumento de los grados de la temperatura mínima de aire en un 2,2°C provocando la variación de la temperatura de pavimento resultante de en 3,0°C, obteniendo una nueva temperatura de pavimento resultante de -14,4°C. Lo que conllevó finalmente a bajar la exigencia a un bajo PG teórico de PG XX-16. Lo antes explicado se puede entender de mejor manera con apoyo de la siguiente *Tabla 8-16*.

Tabla 9-16: Variación en estación LA LAGUNA EMBALSE de un PG 46-22 a PG 46-10 Teórico, con LTPP 3.1 y 98% confiabilidad (elaboración propia)

LA LAGUNA EMBALSE	PG XX-22	PG XX-16
	Arteaga, 2017	Actual
T° Mínima	-19,6	-17,4
Baja T° pavimento	-17,4	-14,4
		Variación
		2,2
		3,0

10 CONCLUSIONES

La presente memoria fue capaz de abordar con los objetivos señalados en la sección 1.2, siendo necesario la elaboración de material de apoyo en tablas y figuras para exponer las actividades necesarias que permitieron alcanzar el cumplimiento de los objetivos. Este material es importante tanto para la persona que desee aprender la metodología SUPERPAVE sin conocimiento previo alguno, además de ser imprescindible si se pretende dar continuidad a la investigación para un panorama futuro o incluso llegando a ser aporte dentro del proceso para la normalización de la Norma NCh2440/1998 “Asfaltos para Pavimentos – Clasificación y Requisitos”.

Las conclusiones que se pueden deducir de la memoria investigativa son las siguientes:

- Mediante la búsqueda de información climatológica para SANTO DOMINGO; AD. en la página web de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), se pudo identificar que actualmente (Septiembre 2023) las coordenadas geográficas de la estación corresponde a ALTITUD: 77 [msnm], LATITUD: -33,6561° y LONGITUD: -71,6133°, existiendo un evidente cambio con respecto a la información publicada en la memoria de Leandro Arteaga (Noviembre 2017) que mencionaba los valores de ALTITUD: 75 [msnm], LATITUD: -33,6550° y LONGITUD: -71,6142°. Cabe destacar que la modificación específicamente en la Latitud permitió como variable independiente tener incidencia en el resultado de la temperatura de pavimento alta y baja en los métodos LTPP Bind 2.1 y LTPP Bind 3.1.
- La variable estándar Z de distribución normal fue corregida añadiendo el nuevo valor de 2,054 reemplazando al valor anterior 2,055 para el 98% de confiabilidad, dado la verificación mediante interpolación. Entonces dada la corrección se puede contar con resultados de mayor exactitud.
- Las estaciones climatológicas nuevas que lograron ser capaces de cumplir con los 3 criterios señalados por SUPERPAVE fueron incorporadas en la investigación, siendo estas:
 - CONAY ALBARICOQUE
 - RODELILLO, AD.
 - MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.
 - JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN METEOROLÓGICA
- Habiendo transcurrido 8 años (desde 2015 hasta el 2023) desde los últimos registros climatológicas empleados en la memoria de Leandro Arteaga (2017), algunas estaciones han tenido cambios en su solicitud para los grados de desempeño PG según método LTPP Bind 3.1, estas corresponden a:

- COYACAGUA (50% Confiabilidad): la estación paso de un PG 46-16 a un PG 46-10 Teórico, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional un PG 58-28 y PG 52-34, ambas mantenidas del estudio anterior.
- LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) (50% Confiabilidad): la estación paso de un PG 46-16 a un PG 46-10 Teórico, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional un PG 58-28 y PG 52-34, ambas mantenidas del estudio anterior.
- EL TRAPICHE (50% Confiabilidad): la estación de un PG 52-10 pasó a un PG 58-10 Teórico, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional un PG 64-22 y PG 58-28, perdiendo la alternativa del PG 52-34.
- LA LAGUNA EMBALSE (50% Confiabilidad): la estación de un PG 46-16 pasó a un PG 46-10, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional un PG 58-28 y PG 52-34, ambas mantenidas del estudio anterior.
- LA TRANQUILLA (50% Confiabilidad): la estación de un PG 58-10 pasó a un PG 64-10 Teórico, teniendo únicamente como alternativa de ligante asfáltico tradicional un PG 64-22, perdiendo la alternativa del PG 58-28.
- PALOMA EMBALSE (50% Confiabilidad): la estación de un PG 64-10 pasó a un PG 58-10 Teórico, teniendo como alternativa de ligante asfáltico tradicional a un PG 64-22, y siendo incorporado un PG 58-28.
- LA FLORIDA, LA SERENA AD. (98% de Confiabilidad): la estación paso de un PG 46-10 a un PG 52-10 Teórico, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional a un PG 52-34 y PG 58-28, incorporando la alternativa del PG 64-22.
- CHUNGARA AJATA (98% Confiabilidad): la estación pasó de un PG 46-16 a un PG 46-10 Teórico, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional a un PG 58-28 y un PG 52-34, siendo mantenidos del estudio anterior
- COYACAGUA (98% Confiabilidad): la estación pasó de un PG 46-22 a un PG 46-16 Teórico, teniendo como alternativa de ligante asfáltico tradicional a un PG 52-34, abriendo la opción de incorporar un PG 58-28.
- LAGUNILLAS (PAMPA LIRIMA) (98% Confiabilidad): la estación paso de un PG 46-28 a un PG 46-16 Teórico, teniendo como alternativa un ligante 52-34 e incorporando un ligante PG 58-28
- CHIU CHIU (98% Confiabilidad): la estación pasó de un PG 52-16 a un PG 52-10 Teórico, teniendo como alternativas a un PG 58-28 y un PG 52-34, dando la opción de incorporar un ligante PG 64-22.

- CONCHI EMBALSE (98% Confiabilidad): la estación pasó de un PG 52-16 a un PG 52-10 Teórico, teniendo como alternativas a un PG 58-28 y un PG 52-34, dando la opción de incorporar un ligante PG 64-22.
 - PARSHALL N2 (98% Confiabilidad): la estación pasó de un PG 46-16 a un PG 46-10 Teórico, teniendo como alternativas de ligante asfáltico tradicional a un PG 58-28 y un PG 52-34, siendo mantenidos del estudio anterior.
 - LA LAGUNA EMBALSE (98% Confiabilidad): la estación pasó de un PG 46-22 a un PG 46-16 Teórico, teniendo como alternativa de ligante asfáltico tradicional a un PG 52-34, abriendo la opción de incorporar un PG 58-28.
- Los cambios identificados en las estaciones climáticas solamente reflejan una comparación utilizando el método LTPP 3.1. Por lo tanto, estos cambios no implican necesariamente modificaciones en la zonificación climática desarrollada por Arteaga, pues en ella se utilizó una combinación de los métodos SHRP, LTPP 2.1 y LTPP 3.1. Considerando que ninguno de estos tres modelos fue desarrollado para Chile, la utilización de cualquiera de ellos por sí solo no entrega certeza de que las temperaturas son las apropiadas. La zonificación utilizando los tres modelos en conjunto hecha por Arteaga entrega una mayor confiabilidad para el desarrollo de la zonificación climática, por lo que se sugiere a futuro seguir considerando una zonificación que considere los tres modelos, no solamente las temperaturas determinadas en esta memoria.

11 GLOSARIO

INN:	Instituto Nacional de Normalización
SUPERPAVE:	Superior Performance Pavement
LTPP:	Long-Term Pavement Performance Program
DGA:	Dirección General de Aguas
DMC:	Dirección Meteorológica de Chile
PG:	Performance Grade
AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
MC:	Manual de Carreteras
ASTM:	American Society for Testing and Materials
SHRP:	Strategic Highway Research Program
FHWA:	Federal Highway Administration
DD:	Degree - Days
RTFO:	Rolling Thin Film Oven
PAV:	Pressure Aging Vessel
RV:	Rotational Viscometer
DSR:	Dynamic Shear Rheometer
BBR:	Bending Beam Rheometer
DTT:	Direct Tension Test
.XLS:	Formato de archivo Microsoft Excel
.ZIP:	Formato de archivo de compresión sin pérdida
MAC:	Mezcla Asfáltica en Caliente

12 REFERENCIAS

- Segovia, M. “Zonificación SUPERPAVE para Chile y Estudio Preliminar de la Influencia del Cambio Climático en el Desempeño de Pavimentos en Chile”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, UTFSM, 2015.
- Arteaga, L. “Comparación de Zonificaciones SUPERPAVE para Chile y Cuantificación de la Influencia del Cambio Climático en la Selección del Ligante Asfáltico”. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, UTFSM, 2017.
- Manual de Carreteras, MC Vol.8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”, capítulo 8.301.8 “Asfaltos: Especificaciones SUPERPAVE para Ligantes Asfálticos”. Ministerio de Obras Públicas (MOP), edición 2022.
- Manual de Carreteras, MC Vol.8 “Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensaye y Control”, capítulo 8.301.10 “Asfaltos: Especificaciones para Cementos Asfálticos por Grado de Desempeño (PG) usando Ensaye MSCR”. Ministerio de Obras Públicas (MOP), edición 2022.
- Dirección Meteorológica de Chile (DMC) “Servicios Climáticos”. <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/informacion/buscadorEstaciones>. Datos Históricos Temperaturas Extremas Diarias [Último acceso 16/09/2023].
- Dirección General de Aguas “Solicitud de Información Ley de Transparencia”. https://www.portaltransparencia.cl/PortalPdT/web/guest/directorio-de-organismos-regulados?p_p_id=pdtorganismos_WAR_pdtorganismosportlet&orgcode=AM006. [Último acceso 10/04/2023]
- Lazo R. “Metodología SUPERPAVE para el desarrollo de pavimentos asfálticos de alto desempeño”. <https://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1692&ni=metodologia-superpave-para-el-desarrollo-de-pavimentos-asfalticos-de-alto-desempeno>.
- Reyes O, Camacho J, Reyes F. “Influencia de la temperatura y nivel de energía de compactación en las propiedades dinámicas de una mezcla asfáltica”. Informe de Estudio Universidad de Antioquía, 2006.
- INN (Instituto de Normalización). Programa de Estudio de las Normas Chilenas “Flujo de Etapas: Comité Técnico de Anteproyecto”. www.inn.cl/desarrollo-programa-normas-chilenas [Último acceso 31/10/2023].
- Michael Halladay, publicación investigación “El Programa Estratégico de Investigación en Carreteras: una inversión que ha dado sus frutos”. Departamento de Transporte de los Estados Unidos, 1998.

- Mohseni A. “LTPP Seasonal Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperature Models” Federal Highway Administration Report N° FHWARD-97-103, 1998.
- AASHTO M320-10. Especificación Estándar “Performance-Graded Asphalt Binder”. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2015.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. NCh 2440 of. 1998 “Asfaltos para pavimentos – Clasificación y Requisitos”

13 ANEXOS



XV REGIÓN HASTA II REGIÓN



III REGIÓN HASTA V REGIÓN



MATAVERI ISLA DE PASCUA AP.



JUAN FERNANDEZ, ESTACIÓN
METEOROLOGICA

Nota: los puntos etiquetados con símbolo color azul corresponden a estaciones antiguas y las rojas corresponde a las nuevas estaciones climatológicas incorporadas para el estudio.