

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



**COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE  
PAVIMENTOS AASHTO 1993 CON EL DISEÑO MECANÍSTICO  
EMPÍRICO DE PAVIMENTOS AASHTO 2015 PARA  
DETERMINAR EL NIVEL DE CONFIABILIDAD**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**Bach. ALTAMIRANO GIRANO JOSÉ RODRIGO**

**Bach. LOARTE SOTO SHESSIRA**

**ASESOR: MG. ING. AREVALO LAY VICTOR ELEUTERIO**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres Beatriz y José por su apoyo, comprensión, esfuerzo y amor. A mis hermanas Leslie, Paula y Claudia, por estar siempre pendiente de mí y por sus consejos. A mi abuela y mis sobrinos por todo el cariño.

José Rodrigo Altamirano Girano

Dedicado a mis padres, Nelvia y Milton por sus consejos y apoyo a lo largo de mi vida; a mi hermano, Sleyter por estar siempre a mi lado y apoyarme como amigo.

Shessira Loarte Soto

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecimiento a nuestros docentes y compañeros de la Escuela de Ingeniería Civil, por compartirnos todos sus conocimientos y experiencias a lo largo de nuestros 5 años de estudio.

José Rodrigo Altamirano Girano y  
Shessira Loarte Soto

## ÍNDICE GENERAL

|  |            |
|--|------------|
| <b>RESUMEN .....</b>   | <b>xi</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>   | <b>xii</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>13</b>  |
| <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA ....</b>  | <b>14</b>  |
| 1.1. Formulación y delimitación del problema .....                 | 14         |
| 1.1.1. Problema general .....                                      | 15         |
| 1.1.2. Problemas específicos.....                                  | 16         |
| 1.2. Objetivos .....   | 16         |
| 1.2.1. Objetivo general.....                                       | 16         |
| 1.2.2. Objetivos Específicos.....                                  | 16         |
| 1.3. Importancia y justificación del estudio .....                 | 16         |
| 1.3.1. Importancia .....   | 16         |
| 1.3.2. Justificación teórica .....                                 | 17         |
| 1.3.3. Justificación práctica.....                                 | 17         |
| 1.3.4. Justificación social .....                                  | 17         |
| 1.4. Limitaciones del estudio .....                                | 18         |
| 1.4.1. Delimitación espacial.....                                  | 18         |
| 1.4.2. Delimitación temporal .....                                 | 18         |
| 1.4.3. Delimitación poblacional .....                              | 18         |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>                            | <b>19</b>  |
| 2.1. Marco histórico .....   | 19         |
| 2.2. Investigaciones Relacionadas con el tema. ....                | 20         |
| 2.2.1. Investigaciones Internacionales .....                       | 20         |
| 2.2.2. Investigaciones Nacionales.....                             | 22         |
| 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio ..... | 27         |
| 2.3.1. Pavimento Flexible .....                                    | 27         |
| 2.3.1.1. Estructura del pavimento flexible:.....                   | 27         |
| 2.3.1.2. Factores que afectan al pavimento flexible .....          | 29         |
| 2.3.1.3. Vida útil o período de diseño.....                        | 30         |
| 2.3.1.4. Materiales de la estructura del pavimento flexible:.....  | 30         |
| 2.3.2. Métodos de Diseño de Pavimentos flexibles .....             | 31         |
| 2.3.3. Diseño de estructuras de Pavimentos AASHTO 93: .....        | 31         |



|   |            |
|---|------------|
| 2.3.4. Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos AASHTO 2015:..... | 54         |
| 2.3.4.1. Criterios de diseño.....                               | 54         |
| 2.3.4.2. Procedimiento de diseño.....                           | 55         |
| 2.3.4.3. Niveles de jerárquicos de los datos de entrada:.....   | 57         |
| 2.3.4.4. Datos de entrada:.....                                 | 59         |
| 2.4. Definición de términos básicos.....                        | 84         |
| <b>CAPÍTULO III: HIPÓTESIS.....</b>                             | <b>86</b>  |
| 3.1. General.....   | 86         |
| 3.2. Específicos.....   | 86         |
| <b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....</b>                | <b>87</b>  |
| 4.1. Tipo y método de investigación.....                        | 87         |
| 4.2. Población de estudio.....                                  | 88         |
| 4.3. Diseño muestral.....                                       | 88         |
| 4.4. Relación entre variables:.....                             | 88         |
| 4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....       | 89         |
| 4.6. Procedimientos para la recolección de datos.....           | 89         |
| 4.7. Técnicas de procesamientos y análisis de datos.....        | 89         |
| <b>CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>          | <b>91</b>  |
| 5.1. Método AASHTO 1993.....                                    | 91         |
| 5.1.1. Tráfico:.....  | 91         |
| 5.1.2. Suelos y clima.....                                      | 97         |
| 5.1.3. Cálculo de la estructura del pavimento.....              | 97         |
| 5.2. Método AASHTO 2015.....                                    | 99         |
| 5.2.1. Clima:.....  | 99         |
| 5.2.2. Tráfico:.....  | 102        |
| 5.2.3. Materiales:.....   | 111        |
| 5.2.4. Indicadores de desempeño:.....                           | 114        |
| 5.3. Comparación de los modelos AASHTO 93 y AASHTO 2015.....    | 118        |
| 5.4. Determinación del nivel de confiabilidad.....              | 120        |
| 5.5. Contratación de hipótesis.....                             | 125        |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>  | <b>130</b> |
| <b>RECOMENDACIONES.....</b>                                     | <b>131</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                          | <b>132</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>  | <b>134</b> |

|   |     |
|---|-----|
| Anexo I: Matriz de consistencia .....                     | 134 |
| Anexo II: Matriz de operacionalización de variables. .... | 135 |
| Anexo III: Número de ejes equivalentes.....               | 136 |
| Anexo IV: Diseño AASHTO 93 .....                          | 156 |
| Anexo V: Diseño AASHTO 2015 .....                         | 166 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1: Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos.....   | 27  |
| Figura 2: Periodo de análisis (PA) y periodo de diseño estructural (PDE) .....  | 30  |
| Figura 3: Tendencia del comportamiento de los pavimentos .....  | 36  |
| Figura 4: Ejemplo de capa de drenaje en una estructura de pavimento.....  | 42  |
| Figura 5: Representación de la Variación del Módulo Resiliente a lo largo del año .....   | 43  |
| Figura 6: Diagrama de Flujo Conceptual de las tres etapas del proceso de Diseño/Análisis para el AASHTOWare Pavement ME Design.....   | 56  |
| Figura 7: Clasificación de vehículos según Federal Highway Administration (FHWA).....   | 62  |
| Figura 8: Relación de carga de los tipos de ejes .....  | 63  |
| Figura 9: Espectro de cargas.....   | 63  |
| Figura 10: Capas del pavimento flexible del tramo ACOMAYO SANGARARÁ .....   | 98  |
| Figura 11: Formato de datos climatológicos para el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015.....   | 100 |
| Figura 12: Block de Notas de datos climáticos requeridos para el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 .....  | 101 |
| Figura 13: Resumen del clima en el software AASHTOWARE Pavement ME Design. ....   | 101 |
| Figura 14: Data horaria climática en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....  | 102 |
| Figura 15: Rangos de Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía. Fuente: Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018 ..... | 104 |
| Figura 16: Datos de entrada del tránsito en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....   | 108 |
| Figura 17: Espectro de carga de eje simple en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....   | 108 |
| Figura 18: Espectro de carga de eje tándem en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....   | 109 |
| Figura 19: Espectro de carga de eje trídem en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....   | 109 |
| Figura 20: Espectro de Carga, eje simple para vehículo clase 5.....   | 110 |
| Figura 21: Espectro de Carga, eje simple para vehículo clase 5.....   | 110 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 22: Espectro de Carga, eje simple para vehículo clase 5.....   | 110 |
| Figura 23: Datos de Entrada de la carpeta asfáltica en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....        | 112 |
| Figura 24: Datos de Entrada de la base en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....                     | 112 |
| Figura 25: Datos de Entrada de la subbase en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....                  | 113 |
| Figura 26: Datos de Entrada de la subrasante en el software AASHTOWARE Pavement ME Design .....               | 113 |
| Figura 27: Datos de Entrada para los índices de deterioros en el software AASHTOWARE Pavement ME Design ..... | 114 |
| Figura 28: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño.....  | 115 |
| Figura 29: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño.....  | 115 |
| Figura 30: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño.....  | 116 |
| Figura 31: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño.....  | 116 |
| Figura 32: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño.....  | 116 |
| Figura 33: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño.....  | 117 |
| Figura 34: Grafico de chi cuadrado para 4 grados de libertad.....   | 123 |
| Figura 35: Gráfico de chi cuadrado para 2 grados de libertad.....   | 124 |
| Figura 36: Grafico de chi cuadrado para 2 grados de libertad.....   | 125 |

## ÍNDICE DE TABLA

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1: Clasificación del tráfico:.....  | 45 |
| Tabla 2: Clasificación del tráfico.....   | 45 |
| Tabla 3: Clasificación del Tráfico .....  | 46 |
| Tabla 4: Categorías de Subrasante.....  | 46 |
| Tabla 5: Módulo de resiliencia obtenido por correlación con CBR .....   | 47 |
| Tabla 6: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola Etapa .....   | 48 |
| Tabla 7: Coeficiente de Desviación Estándar Normal ( $Z_r$ ) .....  | 48 |
| Tabla 8: Índice de Servicialidad Inicial ( $P_i$ ) .....  | 49 |
| Tabla 9: Índice de Servicialidad Final ( $P_f$ ) .....  | 50 |
| Tabla 10: Diferencial de Servicialidad ( $\Delta$ PSI) .....  | 50 |
| Tabla 11: Coeficientes Estructurales de las Capas de Pavimento $a_i$ .....  | 52 |
| Tabla 12: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base Granular .....   | 53 |
| Tabla 13: Niveles de entrada utilizados típicamente en los modelos del AASHTOWare Pavement ME Design .....  | 58 |
| Tabla 14: Datos meteorológicos para la metodología MEPDG.....   | 64 |
| Tabla 15: Parámetros y valores de datos de entrada recomendados para mezclas asfálticas en caliente (Niveles 2 o 3) .....   | 67 |
| Tabla 16: Parámetros y valores de datos de entrada recomendados para mezclas asfálticas en caliente (niveles 3) .....   | 68 |
| Tabla 17: Requerimiento y protocolos de ensayo para materiales nuevos de base granular, subbase, terraplén y subrasante.....  | 71 |
| Tabla 18: Parámetros y valores recomendados para los niveles de entrada 2 y 3, y para las propiedades de materiales de base granular, subbase, terraplén y subrasante ..... | 72 |
| Tabla 19: Niveles de Confiabilidad mínimos recomendados para las distintas clases funcionales de carreteras.....  | 73 |
| Tabla 20: Criterios de diseño o umbrales recomendados por AASHTOWare Pavement ME Design para evaluar la aceptación de un diseño de pavimento.....                           | 84 |
| Tabla 21: Índice medio diario anual del tramo Acomayo-Sangarará .....   | 92 |
| Tabla 22: Tasa de crecimiento vehicular .....   | 92 |
| Tabla 23: Índice medio diario año 2023 (inicio de puesta en funcionamiento).....  | 93 |
| Tabla 24: Relación de cargas por eje para determinar EE para pavimentos flexibles...  | 93 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 25: Cálculo de EE para cada vehículo .....  | 93  |
| Tabla 26: Tabla de cálculo de Ejes Equivalentes EE.....   | 95  |
| Tabla 27: CBR y Módulo Resiliente del tramo ACOMAYO - SANGARARÁ .....                               | 97  |
| Tabla 28: Coeficiente de capa ai.....   | 98  |
| Tabla 29: Resultados del diseño AASHTO 93 .....   | 99  |
| Tabla 30: Datos de entrada y la fuente necesarios para aplicar el diseño mecanístico-empírico ..... | 99  |
| Tabla 31: Conteo vehicular según norma MTC y FHWA.....  | 103 |
| Tabla 32: Valores sugeridos por AASHTO 2015 para el tráfico.....                                    | 104 |
| Tabla 33: Carga por eje Simple para cada tipo de vehículo según la clasificación FHWA .....         | 105 |
| Tabla 34: Carga por eje Tándem para cada tipo de vehículo según la clasificación FHWA .....         | 106 |
| Tabla 35: Carga por eje Trídem para cada tipo de vehículo según la clasificación FHWA .....         | 107 |
| Tabla 36: Datos de entrada para la carpeta asfáltica y sus fuentes de recolección .....             | 111 |
| Tabla 37: Datos de entrada para la base, subbase y subrasante; y sus fuentes de recolección .....   | 111 |
| Tabla 38: Índices de deterioros y sus fuentes de recolección .....                                  | 114 |
| Tabla 39: Resultados con el diseño AASHTO 2015 .....  | 117 |
| Tabla 40: Comparación de los datos de entrada de los modelos AASHTO 93/MTC y AASHTO 2015 .....      | 119 |
| Tabla 41: Comparación de los datos de salida del modelo AASHTO 93/MTC y el modelo AASHTO 2015 ..... | 120 |
| Tabla 42: Espesores de las capas del pavimento para todos los tramos y métodos.....                 | 121 |
| Tabla 43: Frecuencias observadas de la carpeta asfáltica.....                                       | 122 |
| Tabla 44: Frecuencias esperadas de la carpeta asfáltica .....                                       | 122 |
| Tabla 45: Chi cuadrado calculado de la carpeta asfáltica .....                                      | 122 |
| Tabla 46: Frecuencias observadas de la base.....  | 123 |
| Tabla 47: Frecuencias esperadas de la base .....  | 123 |
| Tabla 48: Chi cuadrado de la base .....   | 123 |
| Tabla 49: Frecuencias observadas de la subbase .....  | 124 |
| Tabla 50: Frecuencias esperadas de la subbase .....   | 124 |
| Tabla 51: Chi cuadrado de la subbase .....  | 125 |

## RESUMEN

En la presente tesis se realizó una comparación del diseño de estructuras de pavimento AASHTO 93 con el diseño mecanístico-empírico AASHTO 2015, por lo cual se realizaron 10 diseños con ambos métodos. En el método AASHTO 93, se respetaron los parámetros establecidos en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos y se utilizó el software Excel para hallar los espesores de las capas del pavimento asfáltico; en el caso de AASHTO 2015, se utilizó el software AASHTOWare Pavement ME Design para hallar los espesores de las capas del pavimento asfáltico y su comportamiento a lo largo de su vida útil.

Se obtuvieron los datos de entrada tales como clima, tráfico y materiales de las capas del pavimento para cada tramo a diseñar.

Finalmente, se obtuvieron resultados con ambos métodos, con ello se procedió a determinar el nivel de confiabilidad para cada capa. El nivel de confiabilidad de la carpeta asfáltica es de 36.96%; de la base, 20.94%; de la subbase, 99.32%.

Se concluyó que los espesores de la subbase, la base y carpeta asfáltica obtenidos mediante ambos métodos no se relacionan.

**Palabras Clave:** Método AASHTO 93 y AASHTO 2015, capas del pavimento, confiabilidad.

## **ABSTRACT**

In this thesis, a comparison was made of the AASHTO 93 pavement structure design with the mechanistic-empirical design AASHTO 2015, for which 10 designs were made with both methods. In the AASHTO 93 method, the parameters established in the Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos were respected and the Excel software was used to find the thickness of the asphalt pavement layers; in the case of AASHTO 2015, the AASHTOWare Pavement ME Design software was used to find the thickness of the asphalt pavement layers and their behavior throughout their useful life.

The input data such as climate, traffic and materials of the pavement layers were obtained for each section to be designed.

Finally, results were obtained with both methods, with this we proceeded to determine the level of reliability for each layer. The reliability level of the asphalt layer is 36.96%; of the base, 20.94%; of the subbase, 99.32%.

It was concluded that the thicknesses of the subbase, the base and the asphalt layer obtained by both methods are not related.

**Keywords:** AASHTO 93 and AASHTO 2015 method, pavement layers, reliability.



## INTRODUCCIÓN

Las vías son importantes para comunicarse entre ciudades o departamentos, estas aportan en el desarrollo económico como social. Para mejorar la transitabilidad entre lugares es necesario contar con vías adecuadas. Los tipos de pavimentos más conocidos y utilizados en el Perú son rígidos y flexibles, en la investigación nos enfocaremos en los pavimentos flexibles.

Para este tipo de pavimento se estableció en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos parámetros de diseños basado en el método AASHTO 93. La metodología se continuó investigando, presentando un manual de diseño actualizado llamado Guía de Diseño mecánico-empírico AASHTO 2015.

Por consiguiente, la investigación realiza una comparación de ambos métodos tanto en los parámetros de tráfico, clima y materiales.

La tesis presenta los siguientes capítulos:

En el capítulo I, se muestran el problema general y los específicos, los objetivos (general y específicos), importancia y justificación del estudio y las limitaciones del estudio.

En el capítulo II, se desarrolla el marco teórico de la guía AASHTO 93 y AASHTO 2015 explicando los parámetros a utilizar para cada diseño. Asimismo, se desarrolló los antecedentes del AASHTO 93 y su evolución.

En el capítulo III, se presentan la hipótesis general y las hipótesis específicas del estudio.

En el capítulo IV, se presenta la metodología del estudio (tipo y método, población, diseño muestral, relación entre variables, técnicas e instrumentos y procedimientos)

En el capítulo V, se desarrolla el análisis de los resultados, la contrastación de hipótesis en base a los resultados obtenidos.

# CAPÍTULO I:

## PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Formulación y delimitación del problema

En el Perú, los pavimentos más usados en carreteras son los flexibles, este pavimento está conformado por subbase, base y carpeta de rodadura (combinación de agregados y cemento asfáltico).

“El pavimento flexible en el Perú es diseñado en base a la Guía de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993, el cual es influenciado por dos parámetros básicos: cargas de tráfico vehicular y características de la subrasante” (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014).

Este diseño es basado en observación del experimento del AASHTO Road Test y utilizando métodos de regresión se logró una ecuación para hallar los espesores del pavimento. Sin embargo, dado que el método está basado en la observación de un cierto lugar emplean factores de seguridad muy altos, brindando como resultados del diseño espesores elevados, es decir, sobredimensiona la estructura del pavimento.

El uso del diseño AASHTO 93 de pavimento flexibles ha brindado beneficios a la población peruano y mundial, ya que mejora las condiciones de transitabilidad de los vehículos, el sobredimensionamiento de la estructura del pavimento flexible genera costos adicionales, pero no responde completamente a las necesidades de la carretera donde se ejecute. Este problema en el Perú, viene ocurriendo desde el 07 de marzo del 2013 con la implementación del método AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993 en el Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC.

Se realizaron investigaciones sobre esta metodología de diseño, donde Li, Q.; Xiao, D.; Wang, K.; Hall, K; Qui (2011) indican sus deficiencias:

- a) La carga del tráfico es mucho mayor que hace 60 años;
- b) la rehabilitación de pavimentos no fue monitoreada es decir no está incluida;
- c) un solo tipo de clima y un solo tipo de suelo fueron incluidos en el AASHO Road Test;
- d) los pavimentos de pruebas no incluían drenaje;
- e) solo hubieron 2 años de monitoreo, en lugar de toda la vida útil del pavimento de cada sección. (pág.115)

Dado que la Guía de Diseño de Estructura de Pavimentos AASHTO 1993 fue basado en observaciones del experimento realizadas en Estados Unidos, los valores de las ecuaciones propuestas para determinar los espesores de las estructuras del pavimento

flexible tienen mejor comportamiento en lugares que posean similares parámetros que el lugar de estudio.

Este problema de uso Guía de Diseño de Estructura de Pavimentos AASHTO 1993 para pavimentos flexibles involucra al MTC ya que se generan pavimentos sobredimensionadas y sobrecostos en las ejecuciones. Los perjudicados de estos problemas, se encuentra en primera fila está el Estado (ya que podría reducir costos de ejecución de los pavimentos flexibles), después los habitantes del país que utilizan diariamente las vías para trasladarse y último ente sería el planeta o el medio ambiente, ya que la utilización de una carpeta de rodadura sobredimensionada genera mayor contaminación ya que está compuesta de petróleo.

La alternativa de solución ante este problema sería la aplicación de una guía más reciente como la Guía de Diseño Mecánico empírico para pavimentos AASHTO 2015 ya que utiliza teorías mecánicas que permite determinar las respuestas del pavimento ante las cargas climáticas y cargas de tráfico utilizando modelos matemáticos por lo que el diseño es más confiable. En este diseño se adicionan parámetros como son la predicción del deterioro como el IRI, el clima (nubosidad, temperatura, velocidad del viento, precipitación y humedad relativa) y espectros de cargas de tránsito. Además, para la obtención de los espesores está relacionado con la predicción del deterioro y la verificación del comportamiento, esta verificación se realiza mediante el cumplimiento de los criterios de falla, es decir si no se cumple con todos los criterios se realiza un proceso iterativo con los espesores de la estructura del pavimento flexible hasta lograr cumplir con la verificación de los criterios de falla.

El método de diseño mecánico empírico AASHTO 2015 posee un software AASHTOWare Pavement ME Design que simplifica todos los conceptos, algoritmos y modelos para mayor facilidad de aplicación a los ingenieros de diseño de pavimento.

#### 1.1.1. Problema general

¿En qué medida la comparación del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 determinará el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico?

### 1.1.2. Problemas específicos

- a) ¿Cómo el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 determinará los espesores de las capas del pavimento asfáltico?
- b) ¿Cómo el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 determinará los espesores de las capas del pavimento asfáltico?
- c) ¿Cuáles son las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los modelos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015 para determinar los espesores de las capas del pavimento asfáltico?
- d) ¿Cuál es el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Comparar el diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecanístico empírico de pavimentos AASHTO 2015 para la determinación del nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico, año 2021.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Analizar el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 para la determinación del espesor de las capas del pavimento asfáltico.
- b) Analizar el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 para la determinación del espesor de las capas del pavimento asfáltico.
- c) Determinar las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015 para la determinación del espesor de las capas del pavimento asfáltico.
- d) Determinar el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015.

## 1.3. Importancia y justificación del estudio

### 1.3.1. Importancia

La red vial pavimentada en el Perú está conformada por pavimentos flexibles, rígidos y mixtos, de estos tres tipos la más utilizada es el pavimento flexible, según el MTC (2018) llega a ser el 90% de todas las carreteras pavimentadas.

Los pavimentos flexibles en el Perú son influenciados en base a la Guía de Diseño de Estructura de Pavimentos AASHTO 93, al ser un diseño basado en observación de un experimento en Estados Unidos, los resultados te brindan espesores conservadores; es decir, sobredimensionados. Aumentando así el costo de ejecución del pavimento y el uso de energía.

Es por estas razones que se debe mejorar el diseño de los pavimentos flexibles mediante el uso del diseño mecánico empírico de pavimentos AASHTO 2015 y así generar beneficios al medio ambiente, a las personas o trabajadores y al estado.

Por ello, la presente investigación es relevante ya que nos muestra un diseño reciente de pavimentos en el Perú. La investigación tendrá relevancia en aspectos técnicos, económicos, medioambientales y sociales, ya que en las tesis revisadas se han presentado contradicciones en los espesores con incidencia en los costos.

#### 1.3.2. Justificación teórica

La presente investigación va contribuir con un estudio sobre la comparación del método de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 93 con el método de diseño mecánico empírico de pavimentos AASHTO 2015, teniendo como finalidad obtener el nivel de confianza de las capas del pavimento flexible, la cual quedará como referencia para posteriores investigaciones y absolver las contradicciones de las investigaciones revisadas que figuran en los antecedentes.

#### 1.3.3. Justificación práctica

Al demostrar la optimización de los espesores del pavimento con el diseño mecánico empírico de pavimentos AASHTO 2015 se pretende promover o aplicar el uso de este diseño en las vías del país para mejorar la calidad y costos de los pavimentos flexibles.

#### 1.3.4. Justificación social

El uso del método de diseño mecánico empírico AASHTO 2015 conlleva a beneficios sociales para los trabajadores y el medio ambiente, ya que al mejorar el diseño de los espesores de las capas del pavimento produce la reducción de emisiones de gases tóxicos que dañan a los trabajadores y al ambiente.

## 1.4. Limitaciones del estudio

### 1.4.1. Delimitación espacial

La información brindada en la investigación será válida para el Perú ya que se desarrollará en este lugar las investigaciones pertinentes al estudio tanto del método de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 93 como el método de diseño mecánico empírico AASHTO 2015.

### 1.4.2. Delimitación temporal

La delimitación se relaciona con la obtención de los datos de diseño de estructuras de las tesis y expedientes técnicos de los años 2015 al 2020, para obtener los datos de diseños estructuras del pavimento del modelo AASHTO 93, a los que se aplicará el modelo AASHTO 2015.

### 1.4.3. Delimitación poblacional

La delimitación poblacional pertenecerá al Perú, ya que la norma peruana establece al modelo AASHTO 93 como base.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco histórico

El diseño de pavimentos basados en la experiencia se aplica desde el año 1923, en este año se aplicó los ensayos del CBR. En el año 1945, después de varios intentos de crear nuevos métodos de diseño de pavimentos, el profesor e investigador académico Donald Burmister fundamentándose en las ecuaciones de Boussinesq crea una metodología que sirve para hallar las deformaciones y esfuerzos de las capas de estructura del pavimento, estos estudios develaron que se producían mayores deformaciones y esfuerzos que los realizados mediante ensayos de laboratorio. (Mendoza, 2019, pág. 11)

En 1951, se realiza el experimento vial de la AASHO y la planificación de este experimento se realiza hasta 1954, esta planificación comprende la selección del sitio, los objetivos, planos y especificaciones; en 1955, empieza la etapa en campo en la que se realizan estudios topográficos. En 1956, en el estado Illinois, cerca de Ottawa comienza la construcción de los circuitos, este experimento constituía de 6 circuitos. Después de la construcción, en 1958, se inicia la prueba de cargas sobre los tramos del pavimento construido. En 1960, se finaliza con la etapa de mediciones en campo y comienza el análisis de la información. Casi 11 años después del inicio del experimento, es decir en 1962 se publican las primeras guías provisionales para el diseño de pavimento. Con esta guía se introduce el concepto de falla funcional de los pavimentos oponiéndose a los métodos tradicionales que utilizaban solo el concepto de falla estructural. En 1972, luego de utilizar la guía provisional en diversos proyectos, se realiza la segunda versión denominada “Guía AASHTO-72”, el cual posee el mismo esquema de aplicación que la guía provisional del 62. En 1986, se publica la nueva versión llamada “Guía para el diseño de pavimento” el cual adiciona la teoría elástica multicapa. En 1993, se realiza una revisión a la guía 1986 realizando leves modificaciones y se publica como AASHTO-1993, en este diseño se incorpora en valor de confiabilidad, se sustituye el Valor Soporte del Suelo por el Módulo Resiliente, se sustituye el “Factor Regional” por un enfoque más racional que toma en cuenta los efectos ambientales como la humedad y temperatura; con todos estos cambios, se modifica la ecuación de diseño. (Corredor, 2010)

Esta guía de diseño fue la más globalizada y aun cuando está ya era calificada como racional todavía fundamentaba su procedimiento en un alto grado de valores

experimentales. Por estos motivos, la asociación quiere desarrollar un método mecanístico para lograrlo realiza nuevas investigaciones de transición.

En 2002, la guía mecanístico empírico de diseño para nuevos y rehabilitados estructuras de pavimento, conocida como MEPDG, fue publicada en el NCHRP Project 1-37A. Esta incorpora las respuestas del pavimento como las tensiones, deformaciones y deflexiones ante las cargas como el clima y el tráfico. Adicionalmente en esta investigación se emplea módulo resiliente compuestos, el cual toma en consideración a las capas granulares y a la subrasante hasta una profundidad de 1.5m. (Li, Xiao, Wang, Hall, & Qiu, 2011)

En 2008, se publica una guía interina del AASHTO donde se actualizan los modelos de desempeño de la guía mecanístico empírico. Esta es una guía más de uso práctico. En 2015, se publica de forma oficial la Guía de Diseño Mecanístico empírico de Pavimentos. Este posee un software llamado AASHTOWare ME Design, el cual simplifica todas las ecuaciones de diseño. (Arias, 2020)

## 2.2. Investigaciones Relacionadas con el tema.

### 2.2.1. Investigaciones Internacionales

Matiz, J. F. (2015), en su investigación titulada “Aplicación de la Guía de Diseño Mecanístico-Empírico de Pavimentos diseñada por la AASHTO, una opción de crecimiento para Colombia” de la Universidad Militar Nueva Granada para obtener el título de Ingeniero Civil, tiene una metodología de investigación de carácter exploratorio cualitativa y su población es el País Colombia. Las técnicas de recolección de datos fueron de ensayos en laboratorio para el estudio de suelos, así mismo también se utilizó la técnica de observación para el estudio de tráfico, así también como el análisis de datos estadísticos para los datos climáticos. El instrumento de recolección de datos ayudó en la recolección de información de datos realizados en el laboratorio, en campo e informes técnicos. El autor indicó que:

El objetivo general de la investigación es dejar una guía de diseño del método mecanístico empírico AASHTO 2008 aplicada en el país de Colombia (pág. 8).

La conclusión más resaltante fue que en Colombia es aplicable la guía de diseño Mecanístico empírico de Pavimentos AASHTO 2008 ya que cuenta con los recursos para la recolección de datos que requiere el diseño.



Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que el método AASHTO 2008 fue una base del método mecanístico empírico AASHTO 2015 y sirve como guía para el desarrollo del procesamiento de los datos.

Palacios, C. (2017), en su investigación titulada “Diseño estructural del tramo 2 de la vía Mulaute, La Florida aplicando el método mecanístico empírico AASHTO 2008 y AASHTO 93” de la Universidad Politécnica Salesiana para obtener el título de Ingeniero Civil, tiene una metodología de investigación de carácter aplicada y su población es la provincia de Santo Domingo y su muestra es una vía a 2km de la vía E20, La estancia. Las técnicas de recolección de datos fueron de ensayos en laboratorio para el estudio de suelos, así mismo también se utilizó la técnica de observación para el estudio de tráfico, así también como el análisis de datos estadísticos para los datos climáticos. El instrumento de recolección de datos ayudó en la recolección de información de datos realizados en el laboratorio, en campo e informes técnicos. El autor indica que:

El objetivo general de la investigación es definir la aplicabilidad entre el método AASHTO 2008 y método AASHTO 93 para pavimentos flexibles. Los objetivos específicos son realizar un análisis comparativo de costos entre ambos métodos y realizar un análisis de variables involucradas en ambos métodos (págs. 16).

La conclusión más resaltante fue que con el método mecanístico empírico AASHTO 2008 se incrementan los espesores de las capas del pavimento, aumentando así su costo de ejecución, sin embargo, dado que se realiza con predicción de deterioro a la larga es más económico ya que presenta menores fallas.

Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que el método AASHTO 2008 fue una base del método mecanístico empírico AASHTO 2015, además la tesis tiene bastante detalle tanto teórico como del procesamiento de los datos, por lo cual nos sirve de guía para aplicar en nuestra tesis.

Arias, E. (2020), tiene investigación titulada “Propuesta para una guía de diseño mecanístico empírico para pavimentos flexibles y semirrígidos de Costa Rica” de la Universidad de Costa Rica para obtener el grado de Maestría en

Ingeniería de Transporte y Vías, tiene como método principal en revisión de data internacional que sean de interés para Costa Rica, posteriormente se aplica los conocimientos mediante un diseño y su población es el país de Costa Rica. Las técnicas de recolección de datos fueron obtención de guías de diseños internacionales que sirvan para aplicar en Costa Rica. El autor indica que:

El objetivo general de la investigación es desarrollar un procedimiento que permita el diseño de pavimentos flexibles y semirrígidos utilizando criterios mecanístico-empíricos provenientes de experiencias tanto a nivel nacional como internacional, aplicables a Costa Rica. Los objetivos específicos son realizar una revisión bibliográfica sobre las principales metodologías de diseño de pavimentos utilizadas a nivel internacional, proponer un algoritmo que permita relacionar los diferentes modelos, variables y procedimientos que permitan realizar un diseño de pavimento formal en Costa Rica considerando la experiencia adquirida en campo como en la mecánica de materiales en laboratorio y sintetizar la información analizada mediante en un manual independiente que pueda ser utilizado como una guía de diseño de pavimentos para Costa Rica.

La conclusión fue que se pudo realizar una guía de diseño para Costa Rica, tomando de base la metodología mecanístico – empírico (pág. 94). Está investigación se relaciona con la nuestra dado que queremos aplicar una guía mecanístico empírica, además la tesis tiene detalle tanto teórico como del procesamiento de los datos, por lo cual nos sirve de guía para aplicar en nuestra tesis.

### 2.2.2. Investigaciones Nacionales

Suica, J. (2020), tiene su investigación titulada “Estudio comparativo del diseño de pavimento flexible empleando el método AASHTO 93 y Mecanístico-Empírico AASHTO 2015, Chorrillos 2020” en la Universidad Cesar Vallejo para obtener el título de Ingeniero Civil. La metodología de la investigación utilizada es no experimental, transversal, explicativo, correlacional y cuantitativo. La población de la investigación fue la red vial Av. Cordillera Blanca, desde el inicio del cruce con la Av. Buenos Aires hasta donde culmina con el cruce con la Av. Vista Alegre, con una longitud de 25 cuadras. Para la muestra de la investigación se tomó 1 punto cada 3600m<sup>2</sup>, en

total siendo 3 muestras. Las técnicas de recolección de datos fueron de ensayos en laboratorio para el estudio de suelos, así mismo también se utilizó la técnica de observación para el estudio de tráfico, así también como el análisis de datos estadísticos para los datos climáticos. El instrumento de recolección de datos ayudó en la recolección de información de datos realizados en el laboratorio, en campo e informes técnicos. El autor indica que:

El objetivo general de esta investigación fue realizar el estudio comparativo de diseño pavimento flexible empleando el Método de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 93 y Mecanístico empírico AASHTO 2015, Chorrillos 2020. Los objetivos específicos fueron realizar la comparación de la estructura del pavimento empleando el Método de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 93 y Mecanístico empírico AASHTO 2015, calcular la diferencia de los presupuestos del pavimento flexible empleando el Método de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 93 y Mecanístico empírico AASHTO 2015 y realizar la diferencia de los cronogramas de ejecución del pavimento flexible empleando ambos métodos. (pág. 4)

Las principales conclusiones de esta investigación fueron que: a) los espesores de la subbase y la base del pavimento flexible diseñados mediante el método AASHTO 93 fueron mayores que mediante el método AASHTO 2015 ; en cambio, para la carpeta asfáltica requiere mayor espesor para evitar los daños; b) los costos de ejecución de estos tramos fueron mayores con el método de diseño AASHTO 2015 que con el método AASHTO 93; c) el tiempo de ejecución de estos tramos fue mayor utilizando el método AASHTO 2015 que en el método AASHTO 93.

Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que se utilizan las mismas metodologías de diseño. Además, se puede tomar como referencia los resultados obtenidos con respecto a los espesores de la estructura del pavimento flexible.

Noguera, B. (2020), tiene su investigación titulada “Prototipo de modelo climático (Integrated Climate Model-MEPDG AASHTO 2008) para el diseño de pavimentos flexibles en la ciudad de Arequipa” en la universidad Católica San Pablo para obtener el título de ingeniero civil. La metodología de la

investigación utilizada es exploratoria. La población de la investigación fue el clima de la Ciudad de Arequipa. Para la muestra de la investigación se tomó el clima de la ciudad de Arequipa de 2018-2020. Las técnicas de recolección de datos fueron de análisis estadísticos para el uso del clima. El instrumento de recolección de datos ayudó en la recolección de información de datos realizados en informes técnicos. El autor indica que:

El objetivo general de esta investigación fue adaptar un prototipo de modelo climático (ICM – MEPDG AASHTO 2008) para diseño de pavimentos flexibles en la ciudad de Arequipa. Los objetivos específicos fueron determinar archivo climático de la ciudad de Arequipa y aplicar el modelo climático desarrollado a un proyecto propio de la ciudad de Arequipa (pág. 8).

Las principales conclusiones de esta investigación fueron que la creación de un modelo climático es necesario para ejecutar el software AASHTOWare ME Design.

Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que se puede conocer cómo crear el modelo climático EICM de nuestro proyecto de investigación.

Huallpa, H.; Estrada, J. (2019) tiene su investigación titulada “Optimización del diseño de un pavimento alternativo mediante la aplicación del método mecanístico empírico MEPDG-AASHTO 2008 para la avenida Circunvalación Este de la ciudad de Juliaca” en la Universidad Peruana Unión para obtener el título de Ingeniero Civil. La metodología de la investigación utilizada es aplicada. La población de la investigación fue la Avenida Circunvalación Este de la ciudad de Juliaca. Para la muestra de la investigación se tomó el pavimento de la Avenida Circunvalación Este de la ciudad de Juliaca. Las técnicas de recolección de datos fueron de ensayos en laboratorio para el estudio de suelos, así mismo también se utilizó la técnica de observación para el estudio de tráfico, así también como el análisis de datos estadísticos para los datos climáticos. El instrumento de recolección de datos ayudó en la recolección de información de datos realizados en el laboratorio, en campo e informes técnicos. El autor indica que:

El objetivo general de esta investigación fue proponer un diseño racional y económico confiable aplicando el método mecanístico empírico

AASHTO 2008 con el fin de determinar el desempeño con datos de entrada al nivel 1 en la Av. Circunvalación Este entre el Ovalo Pedro Vilcapaza – Av. Las Américas (progresiva 00+000 hasta 01+000). Los objetivos específicos fueron implementar un modelo climático EICM (Distrito Juliaca) con fines de diseño para pavimento flexible aplicando la metodología AASHTO 2008, establecer la caracterización vehicular de la Av. Circunvalación Este para el tramo Ovalo Pedro Vilcapaza – Av. Las Américas (progresiva 00+000 hasta 01+000) para cumplir con los datos de entrada requeridos al nivel 1 en la metodología AASHTO 2008, Determinar las características que presenta el suelo de fundación de la Av. Circunvalación Este para el tramo Ovalo Pedro Vilcapaza – Av. Las Américas (progresiva 00+000 hasta 01+000) para que cumpla con los datos de entrada requeridos al nivel 1 y realizar un análisis comparativo económico entre los métodos AASHTO 93 y AASHTO 2008 para determinar la eficiencia entre ambos, con el fin de proponer un diseño factible de un pavimento (pág. 23).

Las principales conclusiones de esta investigación fueron que: a) los espesores de la subbase, la base y la carpeta asfáltica del pavimento flexible diseñados mediante el método AASHTO 93 fueron mayores que mediante el método AASHTO 2008; b) se logró implementar un modelo climático EICM, para el distrito de Juliaca con los parámetros climáticos requeridos por el AASHTO 2008; c) se logró generar un espectro de carga para cada clase de vehículo según el AASHTO 2008; d) los costos de ejecución de estos tramos fueron menores con el método de diseño mecanístico empírico AASHTO 2008 que con el método AASHTO 93; e) se demuestra que el AASHTO 2008 posee una mayor entrada de datos que el método AASHTO 93, esto presenta una mayor ventaja dado que se aplican variables a la necesidad actual de los pavimentos. Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que se utilizan las mismas metodologías de diseño. Así mismo, utilizan la recolección de datos climático para utilizar la metodología EICM que es aplicada en el AASHTO 2008. Además, se puede tomar como referencia los resultados obtenidos con respecto a los espesores de la estructura del pavimento flexible.

Vivanco, E. (2016), tiene su investigación titulada “Caracterización del tránsito de vehículos pesados aplicando la metodología MEPDG-AASHTO 2008; aplicación en pavimentos de concreto hidráulico-Lima” en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el título de ingeniero civil.

Las principales conclusiones de esta investigación fueron: a) que gracias a la información de tráfico vehicular (conteo y pesaje vehicular) en la estación de pesaje Serpentín de Pasamayo, se logró generar espectros de cargas del tráfico que son necesarios para desarrollar la metodología AASHTO 2008; b) que al hacer uso de los espectros de cargas se logró una mejor caracterización del tráfico, dejando de lado el uso de los ejes equivalentes; c) que se logró desarrollar un procedimiento para obtener los espectros de cargas y demás parámetros de tráfico requeridos por AASHTO 2008.

Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que se puede conocer los espectros de cargas del tráfico para realizarlo en nuestro proyecto de investigación.

Maximiliano. E. (2016), tiene su investigación titulada “Implementación del modelo climático EICM con fines de diseño para pavimento de concreto asfáltico aplicado la metodología MEPDG” en la Universidad Nacional de Ingeniería para obtener el título de ingeniero civil.

Las principales conclusiones de esta investigación fueron: a) que gracias a la información recopilada de la estación CORPAC del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, se logró general el archivo climático; b) que se cuenta con suficiente información climatológica en la Región Callao para poder implementar el modelo EICM; c) que el acceso a información climática de nivel 1 requerido por el EICM es muy limitado en nuestro país.

Esta investigación se relaciona con la nuestra dado que se puede conocer y utilizar las fuentes de información para nuestro proyecto de investigación.

Como podemos ver existen contradicciones en los resultados de la aplicación de la guía AASHTO 93, y la guía AASHTO 2015, lo cual demuestra la necesidad de revisar estas metodologías para determinar los espesores y el nivel de confiabilidad.

## 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1. Pavimento Flexible

El pavimento flexible está constituido por 3 capas, una capa de carpeta asfáltica y dos capas con menor rigidez que son base y subbase, estas tres capas se apoyan sobre la subrasante o terreno natural. Los esfuerzos que generan las cargas vehiculares se disipan a través de cada una de las capas de la estructura de tal forma que, al llegar a la subrasante, la resistencia mecánica del suelo que la compone debe ser capaz de resistir dicho esfuerzo sin generar deformaciones que permitan el deterioro funcional o estructural de la vía. (Rondón & Reyes, 2015, pág. 27)

#### 2.3.1.1. Estructura del pavimento flexible:

La estructura típica de un pavimento flexible está conformada por las siguientes:

- Subrasante
- Subbase
- Base
- Superficie de rodadura

Estas se pueden observar en la figura 1:



Figura 1: Estructura Típica de Pavimentos Asfálticos

Fuente: Diseño moderno de pavimentos asfálticos, por Minaya, S. y Ordoñez (2006, pág. 1)

Según Higuera (2011) las funciones de las capas de pavimento flexible son las siguientes:

- a) Subrasante: Servir de fundación al pavimento

b) Subbase:

**Función económica:** Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor que su resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; por lo tanto, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad, la cual es comúnmente la más barata.

**Capa de transición:** La subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante y, por otra parte, actúa como filtro de la base, impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen y menoscaben su calidad.

**Disminución de deformaciones:** Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de humedad (expansiones) o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa de subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

**Distribución de esfuerzos:** En la subbase continúa la disipación de esfuerzos transmitidos por la base, de manera que las presiones verticales a nivel de subrasante sean menores a las admisibles.

**Resistencia:** La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitirlos a un nivel adecuado a la subrasante.

c) Base:

**Función económica:** Respecto a la carpeta asfáltica, la base tiene una función económica análoga a la que tiene la subbase.

**Drenaje:** En muchos casos la base debe drenar el agua que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

**Distribución de esfuerzos:** La función primordial de la base es la de absorber los esfuerzos horizontales en la fibra inferior de la carpeta asfáltica.



Resistencia: La función fundamental de la base de un pavimento es proporcionar un elemento que transmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

d) Superficie de rodadura:

Superficie de rodamiento: La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme, estable y segura al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

Impermeabilidad: Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior.

Distribución de esfuerzos: La carpeta asfáltica está sometida básicamente a esfuerzos de compresión y tensión. La función principal es la de disipar los esfuerzos horizontales generados por las cargas de los vehículos, pasando de un valor positivo (de compresión) en la superficie a uno negativo (de tracción) en la fibra inferior; de manera que no se produzca el agrietamiento de la capa.

Resistencia: Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento (pág.21-22).

### 2.3.1.2. Factores que afectan al pavimento flexible

Según Higuera (2011), los factores que afectan para el diseño, construcción y comportamiento son los siguientes:

a) Estructurales: subrasante o terreno de fundación, la estructura del pavimento constituido por capas con sus espesores y condiciones mecánicas.

b) El tránsito: Tipos de vehículos, peso del vehículo, cargas por eje, espectro de cargas, presión y área de contacto, velocidad, impacto, número de aplicaciones.

c) El clima y condiciones: cambios de temperatura, lluvias, humedad, nubosidad, precipitación, vientos, presión, etc.

d) Los costos: de construcción, mantenimiento (págs. 24-25).

Esto significa que los pavimentos se diseñan en función a un periodo de vida útil.

### 2.3.1.3. Vida útil o período de diseño

Según Higuera (2011), el periodo de análisis y el periodo de diseño estructural son definidas de la siguiente manera:

Periodo de análisis: periodo donde no se realizará ninguna reconstrucción de la vía.

Periodo de diseño estructural: este periodo se refiere tiempo que la vía no requerirá ningún mantenimiento estructural, es necesario que el diseño considere el comportamiento que se espera de un pavimento en un determinado periodo de análisis, la estrategia de diseño depende generalmente entre tiempo y número de ejes equivalentes con el deterioro (págs. 29-30).

Es decir, el periodo de análisis considera el mantenimiento periódico o refuerzo para evitar la reconstrucción.

En la figura 2 se puede observar la variación del periodo de análisis y estructural en relación a la servicialidad

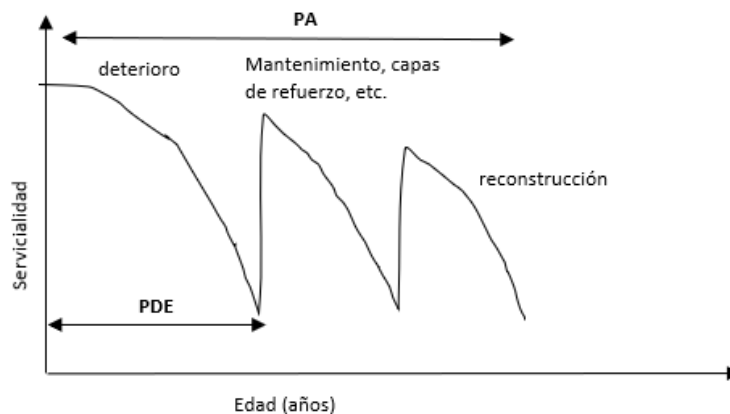


Figura 2: Periodo de análisis (PA) y periodo de diseño estructural (PDE)

Fuente: “Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras” por Higuera (2011, p.30).

### 2.3.1.4. Materiales de la estructura del pavimento flexible:

Los materiales que conforman la estructura del pavimento como son la sub base y base están sujetos a la disponibilidad de canteras en el lugar que se requiera construir, la calidad, la economía, etc. Es necesario el análisis de los materiales ya que su comportamiento puede variar.

La disponibilidad de los materiales es muy importante para la selección de las estructuras más adecuadas tanto económicamente y técnicamente. Los agregados generalmente se consiguen de canteras o depósitos aluviales, además de una específica calidad también se requiere homogeneidad. Otros materiales como son los ligantes, y conglomerantes especiales también requieren consideración. (Montejo, 2006)

### 2.3.2. Métodos de Diseño de Pavimentos flexibles

Los pavimentos deben ser diseñados para que las cargas aplicadas no generen deformaciones permanentes excesivas, en el caso del pavimento flexibles, estas deformaciones ocurren en la capa de rodadura.

Para determinar los espesores de las capas del pavimento flexible es necesario aplicar un diseño para que las capas de los pavimentos cumplan las funciones previamente explicadas. En el capítulo XII del Manual de carreteras Suelos, geología, geotecnia y pavimentos aprobado por RD N° 10-2014 – MTC/14 establece que para el dimensionamiento de un pavimento el procedimiento más generalizado de uso actual el Perú es el método AASHTO 93 y por el análisis de performance o comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño. Actualmente en el Perú se viene revisando el modelo mecanístico empírico AASHTO 2015 cuya principal diferencia con el modelo AASHTO 93 radica en:

- Datos del tráfico
- Datos del clima
- Criterios de falla

### 2.3.3. Diseño de estructuras de Pavimentos AASHTO 93:

El método AASHTO 93 es un método de regresión basado en resultados empíricos de la carretera de prueba AASHO construida en los años 50. El método AASHTO 93 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinar capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de servicialidad.

Esta guía proporciona un conjunto de procedimientos para ser utilizados para diseñar, rehabilitar pavimentos rígidos y flexibles, la finalidad de la guía es

determinar la estructura de pavimentos, es decir el espesor total y el espesor de los componentes (Sub Base, Base y Carpeta asfáltica en caso del pavimento flexible)

Consideraciones de diseño:

El método de diseño tiene en consideración ciertos elementos, estos son los siguientes:

- Comportamiento del pavimento
- Tráfico
- Suelo de Fundación
- Materiales de construcción
- Medio ambiente
- Drenaje
- Confiabilidad
- Costos del ciclo de vida
- Diseño de bermas

La guía no puede abarcar todas las condiciones específicas de todas las regiones, dado que se realizó en base al ensayo que tuvo ciertas especificaciones, por lo tanto, el usuario tiene que adaptar las experiencias a las condiciones locales, un ejemplo de variación son los materiales y el medio ambiente. (AASHTO, 1993, pág. 4)

En la guía de diseño para estructura de pavimentos flexibles AASHTO 93 se presenta la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07 \text{-----(Ec.1)}$$

Donde:

$W_{18}$  = Número previsto de aplicaciones de carga por eje simple equivalente a 18 kip.

$Z_r$  = Desviación estándar normal

$S_o$  = Error estándar combinado

$\Delta PSI$  = Diferencia entre el índice de servicialidad

$M_R$  = Módulo resiliente (psi)

SN = número estructural

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 m_3 \text{ -----(Ec.2)}$$

Donde:

$a_i$ = coeficiente de capa i

$D_i$ = Espesor de capa i (cm)

$m_i$ = Coeficiente de drenaje de la capa i.

La guía proporciona nomogramas que resuelven estas ecuaciones facilitando la aplicación.

El SN es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido para combinaciones dadas de soporte de suelo, tráfico, servicialidad terminal y medio ambiente. El SN es convertido a espesores de las capas, mediante los coeficientes de cada capa, estos coeficientes representan la resistencia relativa de los materiales de construcción. El promedio de los coeficientes de cada capa, es decir la resistencia relativa de cada capa de material usado en la carretera experimental AASHO son los siguientes:

Capa de concreto asfáltico = 0.44

Capa de base de piedra chancada =0.14

Sub base de grava arenosa = 0.11

Estos coeficientes de capas están basados en el Módulo Resiliente  $M_R$  y fueron calculados mediante esfuerzos y deformaciones en un sistema de pavimentos multicapa. Estos coeficientes pueden ser ajustados de tal forma que se mantenga un valor constante de esfuerzo o deformación requerido para brindar un comportamiento comparable.

Las ecuaciones (1) y (2) fueron derivadas de la información que se tuvo con la carretera experimental AASHO, por lo tanto, las ecuaciones representan un buen ajuste de lo observado en la carretera experimental.

#### A) Comportamiento del pavimento

En el caso del comportamiento del pavimento, la guía abarca dos tipos, funcionales y estructurales. El comportamiento estructural se refiere que afectan la capacidad de soporte de la estructura, este comportamiento está relacionado con la condición física, es decir con la ocurrencia de agrietamientos, fallas, peladuras que comprometen al pavimento. El comportamiento funcional las características más importantes son el grado

de confort y la calidad de transitabilidad, para poder darle una calificación al confort de la transitabilidad se desarrolló en concepto de servicialidad-comportamiento en el experimento de las carreteras AASHO. Por lo tanto, este concepto servicialidad-comportamiento es usado como una medida del comportamiento en las ecuaciones ya vistas.

La servicialidad está en base a 5 aspectos:

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del usuario.
- El confort y calidad de transitabilidad es una respuesta subjetiva, dado que es una opinión del usuario.
- La servicialidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y es denominada la calificación de la servicialidad.
- Hay características físicas del pavimento que se pueden medir objetivamente y pueden relacionarse con las evaluaciones subjetivas, este procedimiento produce un índice de servicialidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la servicialidad del pavimento.

La servicialidad del pavimento está expresada en términos del índice de servicialidad presente (PSI), este se mide en un momento particular durante la vida de servicio del pavimento mediante medidas de rugosidad, daños, ejemplo agrietamiento, parchado, profundidad del ahuellamiento. La rugosidad es determinante en el cálculo del PSI, por lo tanto, es contar con un método confiable para medir la rugosidad al monitorear la historia del pavimento.

Generalmente las ecuaciones que se desarrollaron en el experimento AASHO para calcular el índice de servicialidad han sido modificadas por la mayoría de usuarios de la guía para que ese índice de servicialidad represente las experiencias locales.

En la guía se asume que la cantidad de daño asociado al PSI terminal es aceptable.

La rugosidad es un factor importante en el diseño de pavimentos, el cambio que se le haga controlará el ciclo de vida del pavimento. La calidad de la construcción influirá en el comportamiento y el ciclo de vida del

pavimento. El PSI es una condición muy importante en el diseño ya que si se construye un pavimento con un PSI de 4.5 tendrá más tiempo de vida que otro pavimento construido con un PSI de 4. Para el diseño es necesario incluir el PSI inicial y el final.

El índice de servicialidad inicial  $P_i$  es una estimación hecha por el usuario inmediatamente después de la construcción, los valores de  $P_i$  establecidos por el experimento de AASHO fueron de 4.2 en el caso de pavimentos flexibles. Este valor inicial también es recomendado que se cambie por cada adaptación, tomando en cuenta las condiciones locales y así tenga mayor confianza.

El índice de servicialidad terminal  $P_t$  es en nivel más bajo que se puede aceptar antes de que el pavimento requiera recapado o reconstrucción. A menudo se coloca 2.5 o 3 para diseño de carreteras principales y de 2 para aquellas vías que tengan menor tráfico, en casos especiales donde hay condiciones económicas se puede dar un valor de 1.5 al  $P_t$ .

La pérdida de servicialidad está relacionada mayormente por el tráfico, edad y el medio ambiente, en la guía se hizo un esfuerzo considerar también el medio ambiente en casos de arcillas expansivas o levantamientos por heladas. En ese sentido el cambio total del PSI puede ser obtenido en cualquier momento sumando los efectos del tráfico, arcillas expansivas o levantamientos por heladas.

$$\Delta\text{PSI} = \Delta\text{PSI}_{\text{TRÁFICO}} + \Delta\text{PSI}_{\text{HINCHAMIENTO /LEVANTAMIENTO POR HELADA}} \text{----}$$

(Ec.3)

Dónde:

$\Delta\text{PSI}$  = pérdida total de servicialidad

$\Delta\text{PSI}_{\text{TRÁFICO}}$  = Pérdida de servicialidad a causa del tráfico (de ESAL)

$\Delta\text{PSI}_{\text{HINCHAMIENTO /LEVANTAMIENTO POR HELADA}}$  = Pérdida de servicialidad a causa de hinchamientos y/o levantamientos por helada en el suelo de fundación.

La guía no recomienda incrementar el espesor de la estructura del pavimento para compensar la pérdida de servicialidad a causa de suelos expansivos, pero es posible controlar el hinchamiento por helada incrementando el espesor de los materiales no susceptibles de congelar.

En caso de suelos expansivos se puede hacer mejoramiento con estabilización o reemplazo por materiales no expansivos, si es ese el caso no se toma en cuenta el efecto de los suelos expansivos en el ciclo de vida. En el caso e hinchamiento por helada se puede reemplazar el material susceptible a congelarse por materiales no susceptibles. (AASHTO, 1993, págs. 8-10).

Se puede notar en la Figura 3 que el efecto los suelos expansivos o del hinchamiento por helada es una reducción en la vida de servicio prevista del pavimento.

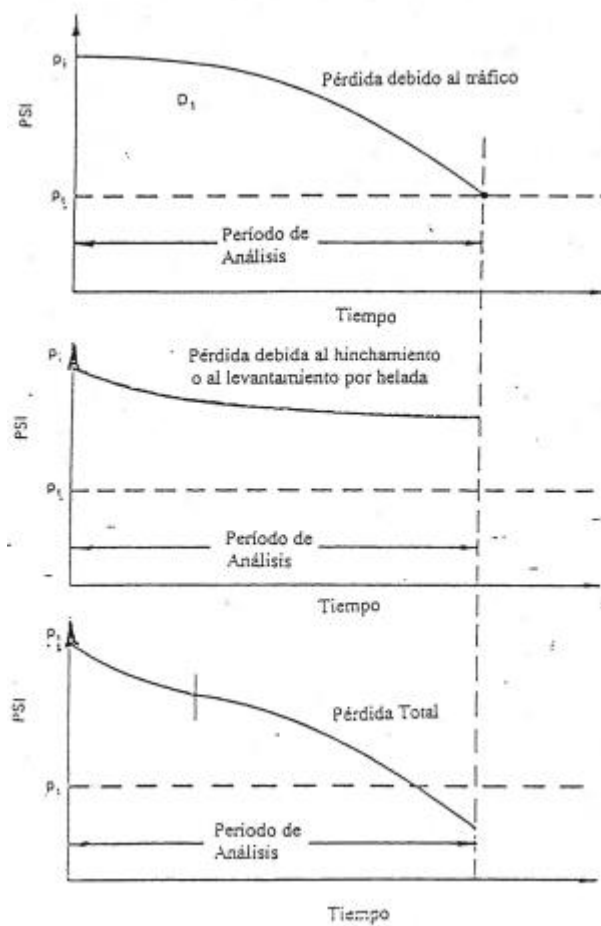


Figura 3: Tendencia del comportamiento de los pavimentos

Fuente: “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento”, por AASHTO (1993, pág. 11)



## B) Tráfico

La guía en las ecuaciones necesita del tráfico información sobre cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.

Mediante la carretera del experimento de AASHO se demostró que se puede representar el efecto dañino del paso de un eje de cualquier masa mediante un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kip o ESAL. Es decir, las cargas por eje se representan en porcentajes de 18 kip, por lo tanto, la determinación del ESAL de diseño es muy importante en esta guía.

La Guía de diseño de estructura de pavimentos AASHTO (1993), señala 3 consideraciones importantes respecto al tráfico:

### **Evaluación del tráfico**

El procedimiento para convertir un tráfico de flujo mixto a un número de tráfico para el diseño es convertir cada eje esperada a un porcentaje del número equivalente de cargas por eje simple de 18 kip y a estas conversiones sumarlas durante el periodo de diseño.

Hay 4 parámetros claves para los estudios de tráfico tengan mayor exactitud y puedan influir en el ciclo de vida del pavimento, estos son:

- La exactitud de los valores de equivalencia de carga utilizados para estimar el daño relativo inducido por las cargas de eje de diferentes masas y configuraciones.
- La información exacta de los volúmenes de tráfico y pesos que son utilizados para representar las proyecciones de cargas actuales.
- Predicción del ESAL durante el periodo de diseño.
- La interacción de edad y tráfico y como sus cambios afectan al PSI.

En el experimento de AASHO las cargas por eje simple son de 2 a 30 kips y de cargas tándem son de 24 a 48 kips. No se incluyeron ejes triples sobre la carretera.

Para asociar el tráfico con el número de cargas por eje simple, se realizaron mediciones de cargas. A partir de esta medición es posible obtener los factores de equivalencia de carga promedio para todos los camiones, es decir se obtendrán los factores promedio para eje simple, eje tándem y eje trídem.

Sin embargo a pesar que se tiene el estudio experimental, no es posible tomar los resultados de los peajes, ya que se demuestra que la variación por estados es muy variable. Por lo tanto, para reducir error es recomendable tomar múltiples muestras de los peajes por proyecto.

Ya que los pavimentos son diseñados para generalmente para periodos de 10 a 20 años, se requiere predecir el tráfico para el periodo de diseño, este periodo empieza cuando la vida es abierta al paso del tráfico y finaliza cuando su servicialidad es menor a 2.5 o 2. Si el tráfico es subestimando el periodo de diseño se reducirá, por lo cual a la vía va requerir rehabilitación o mantenimientos elevando el costo.

Las cargas equivalentes derivada de procedimientos de predicción representan en total para toda la vía, es decir para ambas direcciones. Con propósitos de diseño el tráfico debe ser distribuido por carriles y por dirección, la distribución de dirección es generalmente 50% para cada dirección a menos que se refleje lo contrario en los datos de tráfico.

En el caso de la distribución de carriles se les asigna el 100 % en cada dirección con propósitos de diseño estructural. Algunos estados varían de 60 a 100% de distribución por carriles cuando hay vías con múltiples carriles en cada dirección.

Para el diseño es necesario estimar el número de ESAL en el periodo de diseño, este número puede ser o no proporcional al tráfico diario promedio. El crecimiento del tráfico puede ser lineal, exponencial o no poseer crecimiento, generalmente para vías principales se considera un crecimiento exponencial, para vías menores un crecimiento lineal y para algunas calles residenciales puede que no varíe el tráfico. En el caso de vías que sean principales, generalmente se estima el crecimiento del tráfico separando los camiones de otros vehículos, dado que no necesariamente todos los vehículos tienen igual crecimiento.

El factor de equivalencia de carga se incrementa como una función de la relación de cualquier carga por eje dada a la carga por eje simple estándar de 18 kips elevada a la cuarta potencia. Por ejemplo la equivalencia de una carga simple de 12 kips es equivalente a 0.19, mientras que la equivalencia de una carga simple de 20 kips es de 1.51, por lo tanto, está última carga es 8 veces más dañina que la carga de 12 kips.

El factor camión sirve para el cálculo del ESAL futuro, por ejemplo, basados en la información de un camión tráiler de 5 ejes es posible desarrollar un multiplicador promedio para todos los caminos de 5 ejes, simplificando así el cálculo.

Aun así, cuando se realicé las estimaciones de tráfico, éstas no se pueden asegurar que será lo previsto por lo tengo se tiene que considerar la incertidumbre (págs. 12-16).

### **Limitaciones**

Se tiene que tener en cuenta que los factores de equivalencia de carga usados en la guía fueron basados en la carretera experimental de AASHO. Por lo tanto, existen limitaciones como son los tipos de pavimentos, cargas y aplicaciones de cargas, edad y medio ambiente.

El tipo de construcción de pavimento flexible construida en el experimento fue uno común conformado por carpeta de rodadura, base y sub base estabilizada, del cual se estable los valores de equivalencia de cargas, estos valores solo pueden ser modificados mediante experimentos controlados. Los valores de la guía se consideran uno de los mejores.

En las ecuaciones de la guía no incluyen a la edad, es decir no se refleja un término iterativo entre edad y tráfico.

Solamente se utilizó unos tipos de materiales y un tipo de rasante en el experimento. El uso de materiales alternativos representa una extrapolación de los datos básicos, sin embargo, esas extrapolaciones tienen que ser basadas en técnicas analíticas y es razonable que los resultados queden pendientes de las investigaciones de campo.

El clima del experimento pertenece a Ottawa y este representa una gran porción de estados unidos, este clima está sujeto a congelamiento en invierno y con lluvias medianamente elevadas todo el año. Se hace un esfuerzo para estimar los efectos de las condiciones estacionales para modificarlo de acuerdo a las localidades de los proyectos (págs. 17-18).

### **Casos especiales**

La guía no puede ser aplicada en calles urbanas, estacionamientos o vías expresa, ya que estas avenidas poseen distinto tipo de tráfico, tanto como diferencia de tráfico de camiones buses, vehículos menores, etc. Si se desea

hacer uso de esta guía tendrían que calcular sobre las cargas por eje y frecuencias típicas de los vehículos que operan (pág. 18).

### C) Suelo de fundación

Para caracterizar al suelo de fundación en esta guía se utiliza el módulo resiliente  $M_R$ , el procedimiento para determinarlo está en el Método de Ensayo AASHTO T 274.

El módulo calcula la propiedad elástica del suelo tomando en cuenta características no lineales, para el diseño se usa directamente. El módulo resiliente es reemplazo del valor de soporte del suelo debido a estas características:

- Puede ser utilizado en un análisis mecánico de sistema de multicapas para predecir la rugosidad, el agrietamiento, el ahuellamiento, etc.
- Existen técnicas para estimar el módulo resiliente mediante ensayos no destructivos.

Dado que en muchos lugares no se cuenta con equipamiento para realizar el ensayo para determinar el módulo de resiliencia, en la guía se propone una ecuación de correlación entre el  $M_R$  y el CBR, facilitando así su cálculo.

Huekelom y Klomp reportaron en el Cuerpo de Ingenieros la siguiente correlación:

$$M_R (\text{psi}) = 1.5 \times \text{CBR} \text{-----} (\text{Ec.4})$$

En algunos casos se debe tomar en cuenta si se requerirá modificar:

- Es necesario la debida compactación del suelo de fundación, está debe tener una densidad especifica. Si por algunas razones no se puede cumplir el requerimiento se debe ajustar el  $M_R$ .
- En suelos expansivos es necesario que se haga un tratamiento, ya sea haciendo estabilización, cubriendo con afirmado un determinado espesor, etc.
- En suelos sujetos a heladas, se puede remover el suelo y cambiar por material no susceptible a congelamiento y en caso de que no sea económico se deberá cubrir una capa con material no susceptible con el fin de modificar los efectos del congelamiento.

- Ciertos suelos producen dificultades para la construcción como es el caso de suelos sin cohesión, estos son mejorados con mezclas con materiales granulares, o aditivos.

Los valores de MR del diseño deben basarse en propiedades de capa compactada del suelo de fundación (AASHTO, 1993, págs. 19-22).

#### D) Materiales de construcción

En el caso de los materiales de construcción es necesario convertir el CBR a un módulo resiliente MR.

La Guía de diseño de estructuras de pavimentos AASHTO (1993), menciona lo siguiente respecto a las capas de los pavimentos flexibles:

##### **Suelo de fundación Sub rasante:**

Este suelo es la capa inferior donde se van a sentar las demás capas, esta puede ser de material de préstamo seleccionado y debe ser compactado a una densidad especificada.

##### **Sub base:**

Este suelo se coloca sobre la rasante, comúnmente es de material granular tratado o no, este suelo se distingue de la base por tener requerimientos menos estrictos en resistencia, gradación y plasticidad. El suelo va a ser mejor que la rasante. La construcción de la subbase es económica al colocarlos con suelos de fundación pobres. El manual no tiene requerimientos específicos sobre el material de la sub base, sin embargo, se puede basar en experiencias locales. Con el fin de convertir el espesor en un número estructural se requiere un coeficiente de capa denominado en la guía como  $a_3$ . La base que son de agregados no tratados debe tener una compactación de 95% o más de su máxima densidad de laboratorio. Además de actuar como una porción de estructuras cumple funciones secundarias como son las siguientes:

- Minimizar los efectos dañinos de las heladas si fuera el caso, utilizando materiales no susceptibles a congelamiento.
- Servir como material que provea drenaje si fuera necesario colocando materiales especificados para el caso.

##### **Capa de Base**

Después de la sub base se coloca la capa de base, en el caso de no usarse sub base se coloca después de la subrasante. Su principal función es de

soporte estructural por lo que generalmente se coloca piedra chancada, grava chancada y arena. Pueden ser estabilizadas con aditivos como cal cemento portland, asfalto, etc. para que las especificaciones sobre requerimientos y plasticidad eran los correctos. Aunque no especifican en la guía los requerimientos se pueden tomar como referencia de otras guías y además las propiedades deben ser superiores las de la sub base. De forma similar que la sub base, si los agregados no son tratados deben compactarse al 95 % o más de su máxima densidad de laboratorio. El espesor de la base debe ser convertido a un número estructural mediante un coeficiente de capa denominada  $a_2$ , este coeficiente está basado en el MR.

### Capa de drenaje

Algunas agencias están construyendo una capa de drenaje como se muestra en la siguiente figura:

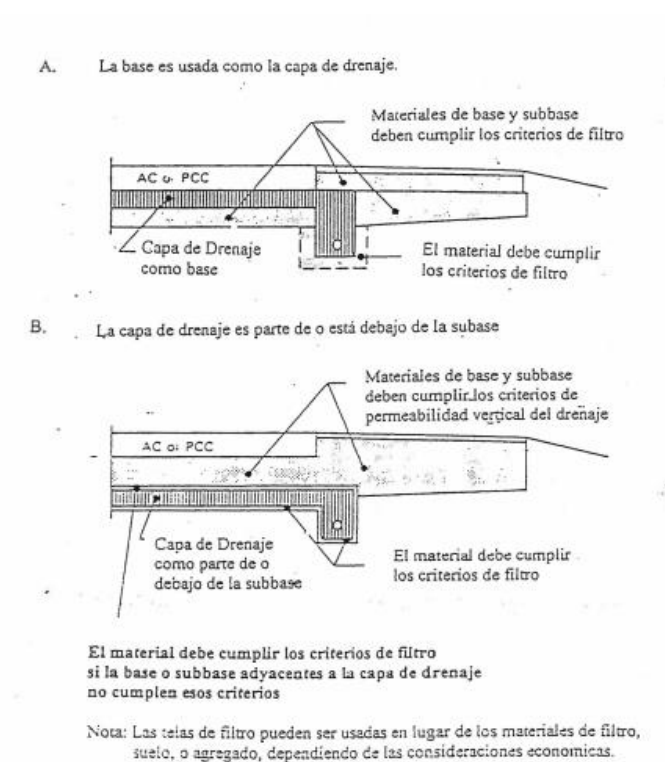


Figura 4: Ejemplo de capa de drenaje en una estructura de pavimento

Fuente: “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento”, por AASHTO (1993, pág. 27)

### Capa superficial

Esta capa es una estructura flexible que mezcla de agregados con un material bituminoso, diseño para resistir las fuerzas del tráfico, reducir la cantidad de agua que puede entrar en el pavimento y brinda una superficie

lisa y uniforme. El diseño de la mezcla debe ser de calidad y satisfactoria. Generalmente son recomendados agregados con gradación densa con un tamaño máximo de 1" y su combinación con el material bituminoso se realiza en plantas de asfalto caliente. Generalmente para mejor adhesión se recomienda colocar una capa sobre la base denominada imprimación. Es de vital importancia la compactación de esta capa superficial, si no se compacta de forma adecuada producirá daños que reducirán la vida del pavimento. Generalmente la insuficiencia de capacitación ocasiona los daños que incluyen ahuellamiento, fallas estructurales, fallas de infiltración (págs. 23-27).

E) Medio Ambiente

En la guía toman en consideración dos aspectos del medio ambiente, las lluvias y las temperaturas.

La temperatura afecta a las propiedades de fluencia del concreto asfálticos, los esfuerzos térmicos, el hielo y deshielo del terreno d fundación. Este último fu tratado con los investigadores, el mayor efecto está en la fase de descongelamiento, en la siguiente imagen se puede observar lo dicho:

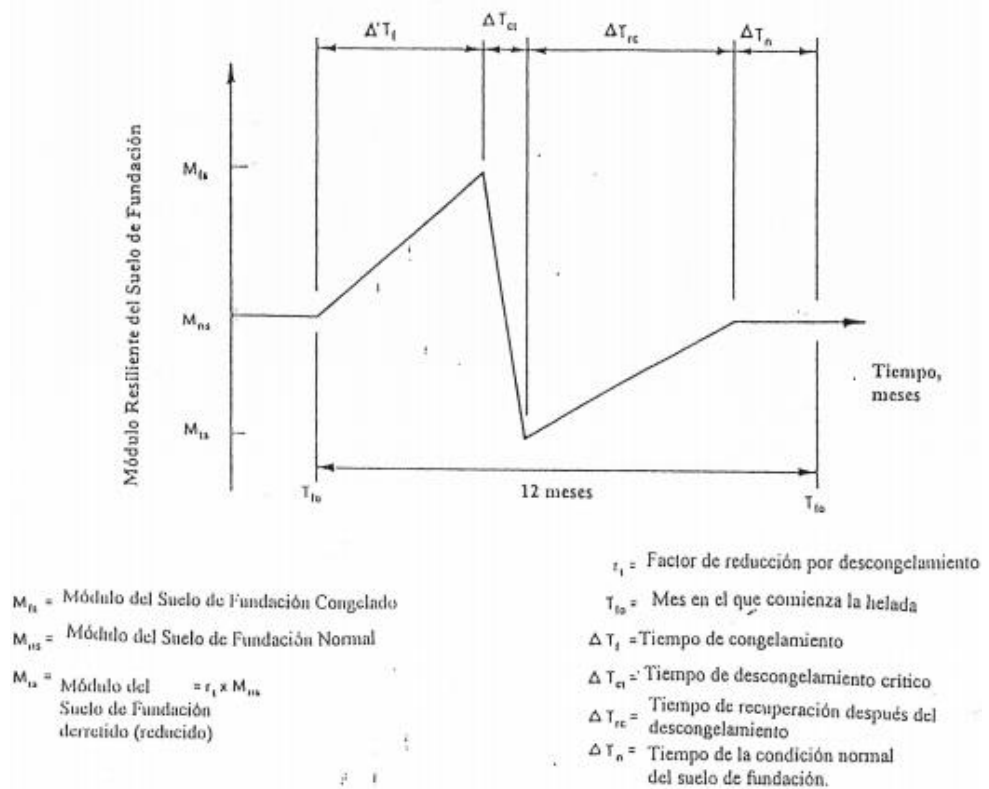


Figura 5: Representación de la Variación del Módulo Resiliente a lo largo del año  
 Fuente: “Guía AASHTO para el Diseño de Estructuras de Pavimento”, por AASHTO (1993, pág. 36)

El hinchamiento por helada debajo del pavimento e debido a la acumulación de hielo en los vacíos, estos cuerpos se incrementan, esto se denomina segregación.

#### F) Drenaje

El drenaje es una consideración en el diseño, de acuerdo a los métodos corrientes de diseño la capa de base no drena bien adicionando eso a el exceso de agua combinado con tráfico, esto genera un envejecimiento prematuro. El agua ingresa de diversas formas, pueden ser mediante grietas, juntas, infiltración. Es necesario una mejora en los pavimentos respecto al drenaje, dado que el agua atrapada genera una serie de problemas, por ejemplo, reduce la resistencia de los materiales granulares de baja cohesión, reduce la resistencia del suelo de fundación, modifica los bombeos.

La incorporación del efecto del drenaje en esta guía se mediante el adiconamiento de un coeficiente de capa estructural en el caso de pavimentos flexibles, este coeficiente está en función del tiempo requerido para drenar y el porcentaje de tiempo que la estructura estará expuesta a una humedad cercana a la saturación. (AASHTO, 1993, págs. 43-44).

#### G) Datos de entrada

El manual de suelos, geotecnia, y pavimentos está basado en la guía de estructuras de pavimentos AASHTO 93 y el análisis de la performance o comportamiento del pavimento durante el periodo de diseño.

a) Tráfico: las cargas están indicadas en ejes equivalentes (EE), la sumatoria de estos ejes equivalentes es llamado número de repeticiones W18 o ESALD. En el caso del tráfico el manual define 3 clases:

- Caminos de 150001 hasta 1000000 EE en carril y periodo de diseño.



Tabla 1: Clasificación del tráfico:

| TIPOS DE TRÁFICO PESADO<br>EXPRESADOS EN EE | RANGOS DE TRÁFICO PESADO<br>EXPRESADOS EN EE |
|---|--|
| $T_{P0}$                                    | > 75,000 EE<br>≤ 150,000 EE                  |
| $T_{P1}$                                    | > 150,000 EE<br>≤ 300,000 EE                 |
| $T_{P2}$                                    | > 300,000 EE<br>≤ 500,000 EE                 |
| $T_{P3}$                                    | > 500,000 EE<br>≤ 750,000 EE                 |
| $T_{P4}$                                    | > 750,000 EE<br>≤ 1'000,000 EE               |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 128).

- Caminos de 1000001 hasta 30000000 EE en carril y periodo de diseño.

Tabla 2: Clasificación del tráfico

| TIPOS DE TRÁFICO PESADO<br>EXPRESADOS EN EE | RANGOS DE TRÁFICO PESADO<br>EXPRESADOS EN EE |
|---|--|
| $T_{P5}$                                    | > 1'000,000 EE<br>≤ 1'500,000 EE             |
| $T_{P6}$                                    | > 1'500,000 EE<br>≤ 3'000,000 EE             |
| $T_{P7}$                                    | > 3'000,000 EE<br>≤ 5'000,000 EE             |
| $T_{P8}$                                    | > 5'000,000 EE<br>≤ 7'500,000 EE             |
| $T_{P9}$                                    | > 7'500,000 EE<br>≤ 10'000,000 EE            |
| $T_{P10}$                                   | > 10'000,000 EE<br>≤ 12'500,000 EE           |
| $T_{P11}$                                   | > 12'500,000 EE<br>≤ 15'000,000 EE           |
| $T_{P12}$                                   | > 15'000,000 EE<br>≤ 20'000,000 EE           |
| $T_{P13}$                                   | > 20'000,000 EE<br>≤ 25'000,000 EE           |
| $T_{P14}$                                   | > 25'000,000 EE<br>≤ 30'000,000 EE           |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 129).

- Caminos de 30000000 a más EE en carril y periodo de diseño. Está categoría no está incluida en el manual dado que requiere un estudio especial.

Tabla 3: Clasificación del Tráfico

| TIPOS DE TRÁFICO PESADO<br>EXPRESADOS EN EE | RANGOS DE TRÁFICO PESADO<br>EXPRESADOS EN EE |
|---|--|
| $T_{P15}$                                   | > 30'000,000 EE                              |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 129).

- b) Subrasante: en el manual clasifican la subrasante en base a su capacidad de soporte del suelo CBR

Tabla 4: Categorías de Subrasante

| CATEGORÍAS DE SUBRASANTE         | CBR                              |
|----------------------------------|----------------------------------|
| $S_0$ : Sub rasante inadecuada   | CBR < 3%                         |
| $S_1$ : Sub rasante insuficiente | De CBR $\geq$ 3%<br>A CBR < 6%   |
| $S_2$ : Sub rasante regular      | De CBR $\geq$ 6%<br>A CBR < 10%  |
| $S_3$ : Sub rasante buena        | De CBR $\geq$ 10%<br>A CBR < 20% |
| $S_4$ : Sub rasante muy buena    | De CBR $\geq$ 20%<br>A CBR < 30% |
| $S_5$ : Sub rasante excelente    | CBR $\geq$ 30%                   |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 129).

En caso el suelo de fundación tenga CBR menor a 6 %, se tiene que estabilizar los suelos (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Paviemntos, 2014, pág. 130).

- c) Período de diseño: En el manual indican que para caminos de bajo volumen de tránsito el periodo de diseño es de 10 años, para otros pavimentos el periodo de diseño puede ser en dos etapas de 10 años o de 20 años en una solo etapa (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimntos, 2014, pág. 131).
- d) Módulo de Resiliencia (MR): en el manual se muestra una tabla para relacionar el CBR con el módulo de resiliencia, esta se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Módulo de resiliencia obtenido por correlación con CBR

| CBR%<br>Sub<br>Rasante | Módulo<br>Resilente<br>Subrasante<br>(MR) (PSI) | CBR%<br>Sub<br>Rasante | Módulo<br>Resilente<br>Subrasante<br>(MR) (PSI) | CBR%<br>Sub<br>Rasante | Módulo<br>Resilente<br>Subrasante<br>(MR) (PSI) |
|------------------------|---|------------------------|---|------------------------|---|
| 6                      | 8043  | 15                     | 14457   | 24                     | 19531   |
| 7                      | 8877  | 16                     | 15067   | 25                     | 20048   |
| 8                      | 9669  | 17                     | 15663   | 26                     | 20558   |
| 9                      | 10426   | 18                     | 16247   | 27                     | 21060   |
| 10                     | 11153   | 19                     | 16819   | 28                     | 21556   |
| 11                     | 11854   | 20                     | 17380   | 29                     | 22046   |
| 12                     | 12533   | 21                     | 17931   | 30                     | 22529   |
| 13                     | 13192   | 22                     | 18473   |                        |   |
| 14                     | 13833   | 23                     | 19006   |                        |   |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 129).

- e) Confiabilidad (%R): La confiabilidad no es un parámetro de entrada en la ecuación de diseño, para ello debe emplear el coeficiente estadístico conocido como Desviación Normal Estándar ( $Z_r$ ). A continuación, en la Tabla 6 se detallan los valores recomendados de niveles de confiabilidad para los diferentes rangos de tráfico: (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimntos, 2014, pág. 133)

Tabla 6: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad para una sola Etapa

| Tipos de caminos                    | Tráfico | Ejes equivalentes acumulados |           | Nivel de confiabilidad (R) |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|-----------|----------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | TP0     | 75000                        | 150000    | 65%                        |
|                                     | TP1     | 150001                       | 300000    | 70%                        |
|                                     | TP2     | 300001                       | 500000    | 75%                        |
|                                     | TP3     | 500001                       | 750000    | 80%                        |
|                                     | TP4     | 750001                       | 1000000   | 80%                        |
| Resto de caminos                    | TP5     | 1000001                      | 1500000   | 85%                        |
|                                     | TP6     | 1500001                      | 3000000   | 85%                        |
|                                     | TP7     | 3000001                      | 5000000   | 85%                        |
|                                     | TP8     | 5000001                      | 7500000   | 90%                        |
|                                     | TP9     | 7500001                      | 10000000  | 90%                        |
|                                     | TP10    | 10000001                     | 12500000  | 90%                        |
|                                     | TP11    | 12500001                     | 15000000  | 90%                        |
|                                     | TP12    | 15000001                     | 20000000  | 95%                        |
|                                     | TP13    | 20000001                     | 25000000  | 95%                        |
|                                     | TP14    | 25000001                     | 30000000  | 95%                        |
|                                     | TP15    |                              | >30000000 | 95%                        |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 133).

f) Desviación Estándar Normal (Zr)

Tabla 7: Coeficiente de Desviación Estándar Normal

| Tipos de caminos                    | Tráfico | Ejes equivalentes acumulados |           | Desviación estándar normal (ZR) |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|-----------|---------------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | TP0     | 75000                        | 150000    | -0.385                          |
|                                     | TP1     | 150001                       | 300000    | -0.524                          |
|                                     | TP2     | 300001                       | 500000    | -0.674                          |
|                                     | TP3     | 500001                       | 750000    | -0.842                          |
|                                     | TP4     | 750001                       | 1000000   | -0.842                          |
| Resto de caminos                    | TP5     | 1000001                      | 1500000   | -1.036                          |
|                                     | TP6     | 1500001                      | 3000000   | -1.036                          |
|                                     | TP7     | 3000001                      | 5000000   | -1.036                          |
|                                     | TP8     | 5000001                      | 7500000   | -1.282                          |
|                                     | TP9     | 7500001                      | 10000000  | -1.282                          |
|                                     | TP10    | 10000001                     | 12500000  | -1.282                          |
|                                     | TP11    | 12500001                     | 15000000  | -1.282                          |
|                                     | TP12    | 15000001                     | 20000000  | -1.645                          |
|                                     | TP13    | 20000001                     | 25000000  | -1.645                          |
|                                     | TP14    | 25000001                     | 30000000  | -1.645                          |
|                                     | TP15    |                              | >30000000 | -1.645                          |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 133).

g) Desviación Estándar Combina (So):

La desviación Estándar Combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento; como, por ejemplo, la construcción, medio ambiente, incertidumbre del modelo. La Guía AASHTO recomienda adoptar para los pavimentos flexibles, valores de So comprendidos entre 0.40 y 0.50, en el presente Manual se adopta para los diseños recomendados el valor de 0.45. (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimientos, 2014, pág. 136).

h) Índice de servicialidad presente:

- Servicialidad Pi: es la condición de la vía inmediatamente después de la construcción.

Tabla 8: Índice de Servicialidad Inicial (Pi)

| Tipos de caminos                    | Tráfico | Ejes equivalentes acumulados |           | Índice de servicialidad inicial (Pi) |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|-----------|--------------------------------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | TP1     | 150001                       | 300000    | 3.80                                 |
|                                     | TP2     | 300001                       | 500000    | 3.80                                 |
|                                     | TP3     | 500001                       | 750000    | 3.80                                 |
|                                     | TP4     | 750001                       | 1000000   | 3.80                                 |
| Resto de caminos                    | TP5     | 1000001                      | 1500000   | 4.00                                 |
|                                     | TP6     | 1500001                      | 3000000   | 4.00                                 |
|                                     | TP7     | 3000001                      | 5000000   | 4.00                                 |
|                                     | TP8     | 5000001                      | 7500000   | 4.00                                 |
|                                     | TP9     | 7500001                      | 10000000  | 4.00                                 |
|                                     | TP10    | 10000001                     | 12500000  | 4.00                                 |
|                                     | TP11    | 12500001                     | 15000000  | 4.00                                 |
|                                     | TP12    | 15000001                     | 20000000  | 4.20                                 |
|                                     | TP13    | 20000001                     | 25000000  | 4.20                                 |
|                                     | TP14    | 25000001                     | 30000000  | 4.20                                 |
|                                     | TP15    |                              | >30000000 | 4.20                                 |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 137).

- Servicialidad Pt: es la condición de la vía cuando alcance la necesidad de rehabilitación.

Tabla 9: Índice de Servicialidad Final (Pt)

| Tipos de caminos                    | Tráfico | Ejes equivalentes acumulados |           | Índice de servicialidad final (Pt) |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|-----------|------------------------------------|
|                                     |         |                              |           |                                    |
| Caminos de bajo volumen de tránsito | TP1     | 150001                       | 300000    | 2.00                               |
|                                     | TP2     | 300001                       | 500000    | 2.00                               |
|                                     | TP3     | 500001                       | 750000    | 2.00                               |
|                                     | TP4     | 750001                       | 1000000   | 2.00                               |
| Resto de caminos                    | TP5     | 1000001                      | 1500000   | 2.50                               |
|                                     | TP6     | 1500001                      | 3000000   | 2.50                               |
|                                     | TP7     | 3000001                      | 5000000   | 2.50                               |
|                                     | TP8     | 5000001                      | 7500000   | 2.50                               |
|                                     | TP9     | 7500001                      | 10000000  | 2.50                               |
|                                     | TP10    | 10000001                     | 12500000  | 2.50                               |
|                                     | TP11    | 12500001                     | 15000000  | 2.50                               |
|                                     | TP12    | 15000001                     | 20000000  | 3.00                               |
|                                     | TP13    | 20000001                     | 25000000  | 3.00                               |
|                                     | TP14    | 25000001                     | 30000000  | 3.00                               |
|                                     | TP15    |                              | >30000000 | 3.00                               |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 138).

- Diferencia de servicialidad  $\Delta$ PSI:

Tabla 10: Diferencial de Servicialidad ( $\Delta$  PSI)

| Tipos de caminos                    | Tráfico | Ejes equivalentes acumulados |           | Índice de servicialidad final (Pt) |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|-----------|------------------------------------|
|                                     |         |                              |           |                                    |
| Caminos de bajo volumen de tránsito | TP1     | 150001                       | 300000    | 1.80                               |
|                                     | TP2     | 300001                       | 500000    | 1.80                               |
|                                     | TP3     | 500001                       | 750000    | 1.80                               |
|                                     | TP4     | 750001                       | 1000000   | 1.80                               |
| Resto de caminos                    | TP5     | 1000001                      | 1500000   | 1.50                               |
|                                     | TP6     | 1500001                      | 3000000   | 1.50                               |
|                                     | TP7     | 3000001                      | 5000000   | 1.50                               |
|                                     | TP8     | 5000001                      | 7500000   | 1.50                               |
|                                     | TP9     | 7500001                      | 10000000  | 1.50                               |
|                                     | TP10    | 10000001                     | 12500000  | 1.50                               |
|                                     | TP11    | 12500001                     | 15000000  | 1.50                               |
|                                     | TP12    | 15000001                     | 20000000  | 1.20                               |
|                                     | TP13    | 20000001                     | 25000000  | 1.20                               |
|                                     | TP14    | 25000001                     | 30000000  | 1.20                               |
|                                     | TP15    |                              | >30000000 | 1.20                               |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 139).

i) Número Estructural Propuesto (SNR)

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño AASHTO y se obtiene el Número Estructural, que representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, o sea de la capa de rodadura, de base y de subbase, mediante el uso de los coeficientes estructurales, esta conversión se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 x d_1 + a_2 x d_2 + a_3 x d_3 x m_3 \quad \text{----- (Ec.6)}$$

Según AASHTO la ecuación SN no tiene una solución única, es decir hay muchas combinaciones de espesores de cada capa que dan una solución satisfactoria.

Los valores de los coeficientes estructurales considerados en la Tabla 11 presente son: (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimntos, 2014, pág. 140).

Tabla 11: Coeficientes Estructurales de las Capas de Pavimento aiX

| Componente del pavimento   | Coefficiente | Valor coeficiente estructural ai (cm) | Observación   |
|--|--------------|---------------------------------------|---|
| <b>Capa superficial</b>  |              |                                       |   |
| Carpeta Asfáltica en caliente, módulo 2.965 Mpa (430000 PSI) a 20°C (68°F)                     | a1           | 0.170/cm                              | Capa superficial recomendada para todos los tipos de tráfico  |
| Carpeta asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.                                      | a1           | 0.125/cm                              | Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 1000000 EE  |
| Micropavimento 25 mm   | a1           | 0.130/cm                              | Capa Superficial recomendada para tráfico ≤ 1000000 EE  |
| Tratamiento superficial bicapa   | a1           | (*)                                   | Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500000 EE. No aplica en tramos con pendiente mayor a 8%; y en vpias con curvas pronunciadas, curvas con volteo, curvas y contracurvas y en tramos que obliguen al frenado de vehículos. |
| Lechada asfáltica (slurry seal) de 12mm.   | a1           | (*)                                   | Capa superficial recomendada para tráfico ≤ 500000 EE. No aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehículos.   |
| (*) no se considera po no tener aporte estructural   |              |                                       |   |
| <b>Base</b>  |              |                                       |   |
| Base granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS   | a2           | 0.052/cm                              | Capa de base recomendada para tráfico ≤ 10000000 EE   |
| Base granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS  | a2           | 0.054/cm                              | Capa de base recomendada para tráfico > 10000000 EE   |
| Base granular tratada con asfalto (estabilidad Marshall = 1500lb)                              | a2           | 0.115/cm                              | Capa de base recomendada para todos los tipo de tráfico   |
| Base granular tratada con cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35kg/cm <sup>2</sup> ) | a2           | 0.070/cm                              | Capa de base recomendada para todos los tipo de tráfico   |
| Base granular tratada con cal (resistencia a la compresión 7 días = 12kg/cm <sup>2</sup> )     | a2           | 0.080/cm                              | Capa de base recomendada para todos los tipo de tráfico   |
| <b>Subbase</b>   |              |                                       |   |
| SubBase granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS  | a3           | 0.047/cm                              | Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de tráfico   |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 141).



j) Drenaje m<sub>i</sub>

Para la definición de las secciones de estructuras de pavimento del Manual, el coeficiente de drenaje para las capas base y subbase, asumido fue de 1.00.

i) Espesores mínimos recomendados

Tabla 12: Valores recomendados de Espesores Mínimos de Capa Superficial y Base

| Tipos de caminos                    | Tráfico | Ejes equivalentes acumulados |          | Capas Superficial  | Base Granular |
|-------------------------------------|---------|------------------------------|----------|--|---------------|
| Caminos de bajo volumen de tránsito | TP1     | 150001                       | 300000   | TSB , o Lechada asfáltica (slurry seal): 12mm, o micropavimento: 25mm , carpeta asfáltica en frío: 50mm, Carpeta Asfáltica en caliente: 50mm | 150 mm        |
|                                     | TP2     | 300001                       | 500000   | TSB , o Lechada asfáltica (slurry seal): 12mm, o micropavimento: 25mm , carpeta asfáltica en frío: 60mm, Carpeta Asfáltica en caliente: 60mm | 150 mm        |
|                                     | TP3     | 500001                       | 750000   | Micropavimento: 25mm , carpeta asfáltica en frío: 60mm, Carpeta Asfáltica en caliente: 70mm  | 150 mm        |
|                                     | TP4     | 750001                       | 1000000  | Micropavimento: 25mm , carpeta asfáltica en frío: 60mm, Carpeta Asfáltica en caliente: 80mm  | 200 mm        |
| Resto de caminos                    | TP5     | 1000001                      | 1500000  | Carpeta Asfáltica en caliente: 80mm  | 200 mm        |
|                                     | TP6     | 1500001                      | 3000000  | Carpeta Asfáltica en caliente: 90mm  | 200 mm        |
|                                     | TP7     | 3000001                      | 5000000  | Carpeta Asfáltica en caliente: 90mm  | 200 mm        |
|                                     | TP8     | 5000001                      | 7500000  | Carpeta Asfáltica en caliente: 100mm   | 250 mm        |
|                                     | TP9     | 7500001                      | 10000000 | Carpeta Asfáltica en caliente: 110mm   | 250 mm        |
|                                     | TP10    | 10000001                     | 12500000 | Carpeta Asfáltica en caliente: 120mm   | 250 mm        |
|                                     | TP11    | 12500001                     | 15000000 | Carpeta Asfáltica en caliente: 130mm   | 250 mm        |
|                                     | TP12    | 15000001                     | 20000000 | Carpeta Asfáltica en caliente: 140mm   | 250 mm        |
|                                     | TP13    | 20000001                     | 25000000 | Carpeta Asfáltica en caliente: 150mm   | 300 mm        |
|                                     | TP14    | 25000001                     | 30000000 | Carpeta Asfáltica en caliente: 150mm   | 300 mm        |

Fuente: “Manual de Carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos” por MTC (2014, pág. 145).

#### 2.3.4. Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos AASHTO 2015:

Esta guía proporciona un conjunto de procedimientos para ser utilizados para diseñar, rehabilitar pavimentos rígidos y flexibles. Esta guía cuenta con el software AASHTOWare Pavement ME Design (AASHTOWare PMED) que simplifica todo el proceso de diseño. El objetivo es determinar los espesores de la estructura del pavimento óptimos que cumplan con los requisitos de predicción de deterioro y regularidad superficial a la confiabilidad que le asigna el ingeniero de diseño.

##### 2.3.4.1. Criterios de diseño

Este diseño agrega la ingeniería mecánica y empírica, lo que conduce a un proceso racional. Como afirma la guía AASHTO (2015):

El MPEDG posee tres elementos fundamentales para el diseño de las capas del pavimento flexible: la teoría utilizada para predecir las reacciones críticas del pavimento en función al tráfico y la carga climática (parte mecánica); el procedimiento para caracterizar a los materiales que brindan consistencia y soporte con la teoría seleccionada; y la correlación entre los criterios críticos de las reacciones del pavimento y los deterioros vistos en campo (parte empírica). (pág. 17)

“El software AASHTOWare PMED divide la cimentación en subcapas y subdivide las capas de la estructura del pavimento. Los espesores de las subcapas son influenciados por el tipo de material, del espesor de la capa real y de la profundidad dentro de la estructura del pavimento” (AASHTO, 2015, pág. 37)

El software AASHTOWare PMED posee integrado diversos programas para realizar el análisis/diseño del pavimento. La guía AASHTO (2015) afirma:

Las respuestas críticas del pavimento se obtienen en cada subcapa del pavimento flexible mediante la teoría de capas elásticas conocido como JULEA, el cual viene integrado en el software, ... Así también, se utiliza el EICM para unir los valores del módulo de capa del pavimento con la temperatura y la humedad en cada capa del pavimento flexible. El programa EICM computa las

condiciones de la temperatura y humedad del lugar donde se realiza el proyecto, a lo largo de la estructura del pavimento con intervalos de una hora. El EICM calcula las temperaturas de la MAC en intervalos de una hora para el caso de las fisuras transversales. El AASHTOWARE PMED utiliza las temperaturas, que obtenemos del EICM, por hora para determinar el comportamiento de la carpeta asfáltica (comportamiento en fluencia lenta y resistencia indirecta a la tracción) y así calcular los esfuerzos de tensión a través de la capa superficial de MAC. El EICM también calcula las temperaturas dentro de cada subcapa de material no ligado y determina los meses durante los cuales cualquier subcapa está congelada. (pág. 37-39)

#### 2.3.4.2.Procedimiento de diseño

El proceso de diseño del método mecanístico-empírico AASHTO 2015 es un proceso iterativo hasta que cumpla con el resultado deseado. La guía AASHTO (2015) afirma:

Cuando se realiza un análisis de proyectos de diseño de pavimentos, sea flexibles o rígidos, utilizando AASHTOWare Pavement ME Design, sea un proyecto nuevo, un recapado o una rehabilitación, se lleva a cabo un proceso iterativo que consta de 3 pasos básicos:

- Crear un diseño de prueba para el proyecto, para el primer diseño de prueba se utiliza una metodología de diseño que se encuentre en el catálogo M-E.
- Ejecutar el software AASHTOWare Pavement ME Design, para predecir los principales deterioros estructurales, esto se realiza mediante los índices de deterioro, y la regularidad superficial para el diseño de prueba.
- Revisar el desempeño predicho del diseño de prueba comparándolo con los criterios de desempeño y modificar el diseño de prueba inicial según sea necesario para producir un diseño viable que satisfaga los criterios de desempeño. (pág. 2)

El software AASHTOWare PMED, como se aprecia en el proceso iterativo, ayuda al ingeniero de diseño a simplificar los cálculos y obtener resultados más rápidos. El resultado que se obtiene del software es la predicción del deterioro y el IRI para el nivel de confiabilidad seleccionado.

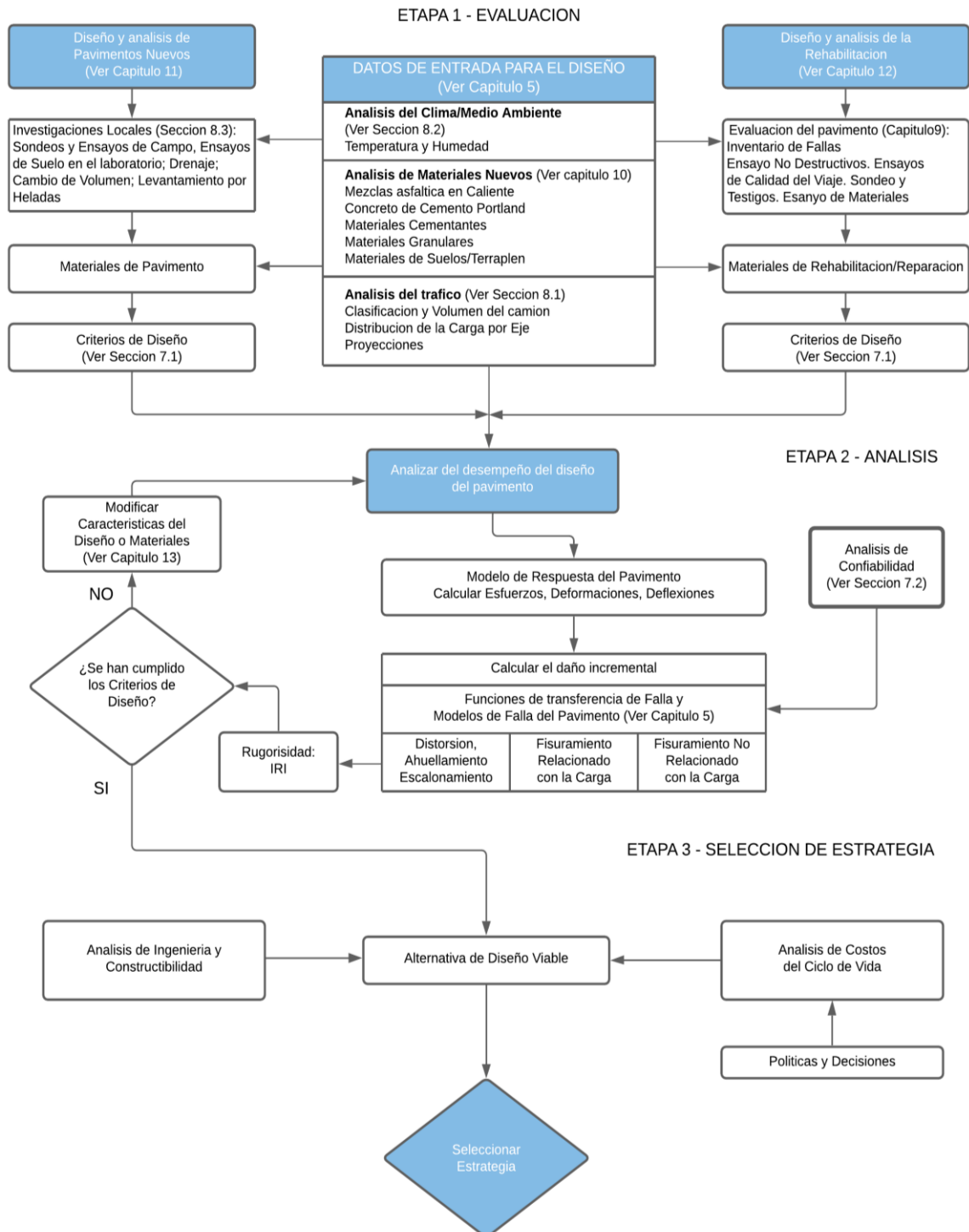


Figura 6: Diagrama de Flujo Conceptual de las tres etapas del proceso de Diseño/Análisis para el AASHTOWare Pavement ME Design  
Fuente: “Guía de Diseño Mecánico-Empírico de Pavimentos”, por AASHTO (2015, pág.3)

En la figura 6 se puede apreciar el diagrama de flujo conceptual de las etapas del proceso de diseño, la última etapa que es la de selección de estrategia no se encuentra pautada en la guía ya que se basa en las políticas y decisiones de cada agencia.

#### 2.3.4.3. Niveles de jerárquicos de los datos de entrada:

“El nivel jerárquico de los datos que ingresan en el AASHTOWare PMED es un esquema que se utiliza para categorizar el conocimiento que posee el ingeniero de diseño acerca de los datos de entrada” (AASHTO, 2015, pág. 31). Estos niveles se basan en cuanto conocimiento se posee del pavimento a realizar, es decir que si se han hecho ensayos in situ o si los parámetros han sido obtenidos de antiguos proyectos cercanos al lugar donde se va a realizar el proyecto.

Existen 3 niveles jerárquicos para categorizar los parámetros de entrada, como afirma la guía AASHTO (2015):

- Nivel de entrada 1: Representa el mayor grado de conocimiento sobre el parámetro de entrada para un proyecto específico. Este debe ser utilizado en lugares con características poco habituales, o bien con condiciones de tráfico o materiales que estén fuera de los lugares con conocimiento previo para desarrollar las correlaciones y los valores por defecto para los niveles 2 y 3.

- Nivel de entrada 2: Los parámetros que poseen en el nivel de entrada 2 han sido calculado mediante correlaciones o ecuaciones de regresión. Este representa los valores regionales medidos que no son específicos del lugar del proyecto.

- Nivel de entrada 3: Este está basado en valores estimados. Es decir, valores globales o regionales por defecto. Representa el menor grado de conocimiento para el proyecto. (pág. 31)

Los niveles de entrada a medida que sean más altos, son más costosos. Ya que se deben realizar más ensayos in situ o en laboratorio para cada parámetro y esto va elevando el costo del proyecto. Sin embargo, a mayor nivel de entrada, los errores estándares serán probablemente menores que los incluidos por defecto.

Como se aprecia en la Tabla 13, el software AASHTOWare PMED sugieren utilizar estos niveles para los errores estándar en su proceso de calibración global.

Tabla 13:  
Niveles de entrada utilizados típicamente en los modelos del AASHTOWare Pavement ME Design

| Grupo de entrada  | Parametro de Entrada   | Nivel de Entrada usado para la Recalibracion |
|---|--|--|
| Tráfico de Camiones                                     | Distribuciones de Carga por Eje (single, tándem, tridem)                               | Nivel 1                                      |
|   | Distribuciones de Volumen del Camión   | Nivel 1                                      |
|   | Distribuciones del Carril y la Direccional del Camión                                  | Nivel 1                                      |
|   | Presion de los Neumaticos  | Nivel 3                                      |
|   | Configuracion del Eje  | Nivel 3                                      |
|   | Espaciamiento entre los Neumaticos   | Nivel 3                                      |
|   | Zigzaguo del Camión  | Nivel 3                                      |
| Clima   | Temperatura, Velocidad del Viento, Nubosidad, Precipitacion, Humedad Relativa          | Estaciones Metereologicas del Nivel 1        |
| Capas granulares y subrasante                           | Modulo Resiliente-Todas las Capas no tratadas  | Nivel 1; Retrocalculo                        |
|   | Clasificacion y Propiedades Volumetricas   | Nivel 1                                      |
|   | Relaciones Humedad-Densidad  | Nivel 1                                      |
|   | Relaciones respecto al suelo-agua  | Nivel 3                                      |
|   | Conductividad Hidraulica Saturada  | Nivel 3                                      |
| Propiedades de los Materiales                           | Modulo Dinamico de HMA   | Nivel 3                                      |
|   | Comportamietno de Fluencia Lenta y Resistencia a la Traccion Indirecta del HMA         | Niveles 1, 2 y 3                             |
|   | Propiedades Volumetricas   | Nivel 1                                      |
|   | Coficiente de Expansion Termica del HMA  | Nivel 3                                      |
|   | PCC  | Modulo Elastico del PCC                      |
| Resistencia a la Flexion del PCC                        |  | Nivel 1                                      |
| Resistencia a la traccion Indirecta del PCC (solo CRCP) |  | Nivel 2                                      |
| Coficiente de Expansion Termica del PCC                 |  | Nivel 1                                      |
| Todos los Materiales                                    | Peso Especifico  | Nivel 1                                      |
|   | Coficiente de Poisson  | Niveles 1 y 3                                |
|   | Otras Propiedades Termicas: Conductividad, capacidad calorifica, absorcion superficial | Nivel 3                                      |
| Pavimento Existente                                     | Estado de las Capas Existentes   | Niveles 1 y 2                                |

Fuente: “Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 36).

#### 2.3.4.4. Datos de entrada:

“El AASHTOWare emplea parámetros comunes de diseño para el tráfico, la subrasante, el clima y la confiabilidad para todos los tipos de pavimento” (AASHTO, 2015, pág. 17). Para hallar los parámetros se realizan ensayos in situ o pueden ser correlacionados o estimados según el presupuesto que posea la institución a realizar el proyecto.

##### A) Tráfico:

El tráfico es un elemento fundamental para el diseño mediante el método mecanístico empírico de pavimentos AASHTO 2015. Este se basa en el tránsito de camiones. “El AASHTOWare PMED utiliza los datos del espectro de carga por eje para cada tipo de eje en los procedimientos de diseño, Los espectros de carga se obtienen del procesamiento de datos del pesaje en movimiento (Weighing in Motion-WIM) (AASHTO, 2015, pág. 87).

Además, como dato de entrada para el software AASHTOWare PMED se utiliza varios parámetros tales como volumen de tránsito, distribución de carriles, factores de ajuste de volumen y datos de los pesos.

La guía AASHTO (2015) define estos parámetros como:

1. Tránsito Promedio Diario Anual Inicial de Camiones en Vías de Dos sentidos (AADTT): Este parámetro influye significativamente en los indicadores pronosticados del desempeño del pavimento y representa un promedio ponderado del tránsito de camiones entre los días laborables y los fines de semana. El AADTT se puede obtener a partir de estaciones de peajes WIM o de conteos manuales de tránsito. El valor debe ser de ambas direcciones de tráfico y todos los carriles.
2. Porcentaje de Camiones en el Carril de Diseño: Se obtiene mediante el cálculo del porcentaje de tránsito de camiones en el carril de diseño en relación a todo el tránsito de camiones en una dirección. El AASHTOWare considera la clase principal de camiones para la carretera. La clase principal de camiones representa el tipo de camión con la mayoría de aplicaciones.

3. Porcentaje de camiones en la dirección del diseño: Representa el porcentaje de camiones en la dirección del diseño con respecto a todos los camiones que utilizan la carretera en ambas direcciones.
4. Velocidad de operación: La velocidad tiene un efecto definitivo en  $E^*$  pronosticado del MAC y por lo tanto de su deterioro. Las velocidades más bajas resultan en valores más altos de daño incremental calculado por el software AASHTOWare PMED (más fisuración por fatiga y ahuellamiento o escalonamientos más profundos). Se sugiere que el límite de velocidad establecido para camiones se use para evaluar los diseños de prueba.
5. Crecimiento del tránsito de camiones: Es difícil predecir el crecimiento de tránsito de camiones con exactitud debido a la existencia de muchos factores socioeconómicos. La tasa de crecimiento sigue siendo la misma durante todo el análisis para el software AASHTOWare PMED.
6. Distribución de carga por eje: Representa una gran cantidad de datos y su procesamiento debe ser complementado en forma externa al software AASHTOWare.
7. Distribución Normalizada del Volumen de Camiones: Es necesaria cuando se dispone de datos limitados de las estaciones de peaje para determinar la distribución total de la carga por eje para un proyecto. Esta representa el porcentaje de cada clase de camión dentro de la distribución del tránsito de camiones. El valor índice TTC se utiliza para seleccionar una distribución apropiada del volumen de camiones para una carretera específica y puede determinarse a partir del conteo de tránsito y de clasificaciones funcionales de la carretera.
8. Configuraciones de carga por eje: Estos valores son relativamente constantes en los camiones estándar y se registran en las estaciones de peaje.
9. Factores de distribución mensual: Se utiliza para distribuir el tránsito de camiones de cada clase durante todo el año.



10. Factores de distribución horaria: Se utiliza para distribuir el tránsito total de los camiones durante un día típico. Este factor solo es requerido para los pavimentos rígidos.
11. Separación entre neumáticos Duales: El software asume que todos los ejes del camión estándar contienen neumáticos duales. Se estableció un valor por defecto de 12 pulgadas de separación de los neumáticos utilizado en la mayoría de camiones. Se recomienda utilizar este valor por defecto.
12. Presión de los neumáticos: El software asume una presión constante de neumático en todas las condiciones de carga. Se utilizó un valor promedio de 120 psi en todos los esfuerzos de calibración. Se recomienda utilizar este valor.
13. Zigzagueo lateral de las cargas de eje: El software asume un zigzagueo constante para todos los casos de camiones. Se utilizó un valor de 10 pulgadas. Para anchos más estrechos de carril (10 pies) se utiliza valores menores a 10 pulgadas, es decir 8 pulgadas (recomendado). Para carriles anchos (mayores a 12 pies) se sugiere un valor de 12 pulgadas.
14. Distancia entre ejes del camión: Es la distancia entre el primer eje y el siguiente eje. Se han dividido en 3 categorías: cortos (12 pies), medianos (15 pies) y largos (18 pies). Según los promedios nacionales de USA: 17 % cortos, 22% medianos y 61% largos.  
(pág. 77-81)

### **Clasificación de vehículos según FHWA**

Para utilizar el diseño empírico-mecánico AASHTO 2015, se utiliza la clasificación de vehículos FHWA, en donde se dividen en 13 clases.














| CLASIFICACIÓN DE VEHICULOS SEGÚN LA FHWA   |   |   |  |
|--|---|---|--|
| CLASE 1  | CLASE 2   | CLASE 3   | CLASE 4  |
| Motocicleta<br>2 ejes, 2 o 3<br>ruedas<br>                | Carros pasajeros<br>2 ejes<br> | Camionetas, van, ambulancia<br>2 ejes, 4 ruedas simples<br> | Buses<br>2 o 3 ejes<br>           |
| CLASE 5  |   | CLASE 6   | CLASE 7  |
| Camion simple<br>2 ejes, 6 ruedas<br>                     |   | Camion simple de 3 ejes<br>                                  | Camión simple,<br>4 o más ejes<br> |
| CLASE 9  |   | CLASE 10  |  |
| Camion semirremolque,<br>5 ejes<br>                       |   | Camion semirremolque,<br>6 o más ejes<br>                   |  |
| CLASE 11   |   | CLASE 12  |  |
| Camión semirremolque + acoplado,<br>5 o menos ejes<br>    |   | Camión semirremolque + acoplado,<br>6 ejes<br>              |  |
| CLASE 13   |   |   |  |
| Camión semirremolque + acoplado,<br>siete o más ejes<br> |   |   |  |

Figura 7: Clasificación de vehículos según Federal Highway Administration (FHWA)

Fuente: ARA, Inc. Eres Consultants Division, NCHRP 1-37A, 2004

Asimismo, se utilizan las clases 4 al 13 para el diseño, ya que las clases 1-3 no influyen significativamente en el daño incremental del pavimento.

### Espectros de carga:

Es la distribución normalizada de la carga de un tipo de eje dado (Simple, tándem o trídem) y de un tipo de vehículo durante un período de tiempo. Los espectros de carga se determinan por tipo de eje y por tipo de vehículo. Los factores de distribución de carga por eje son los porcentajes del total de ejes aplicados para cada rango de carga por eje.

Para determinar los espectros de cargas se utiliza el siguiente procedimiento:

- Obtener los pesajes de los ejes de forma individual de las estaciones de pesaje, para agruparlos por eje simple, tándem o trídem.

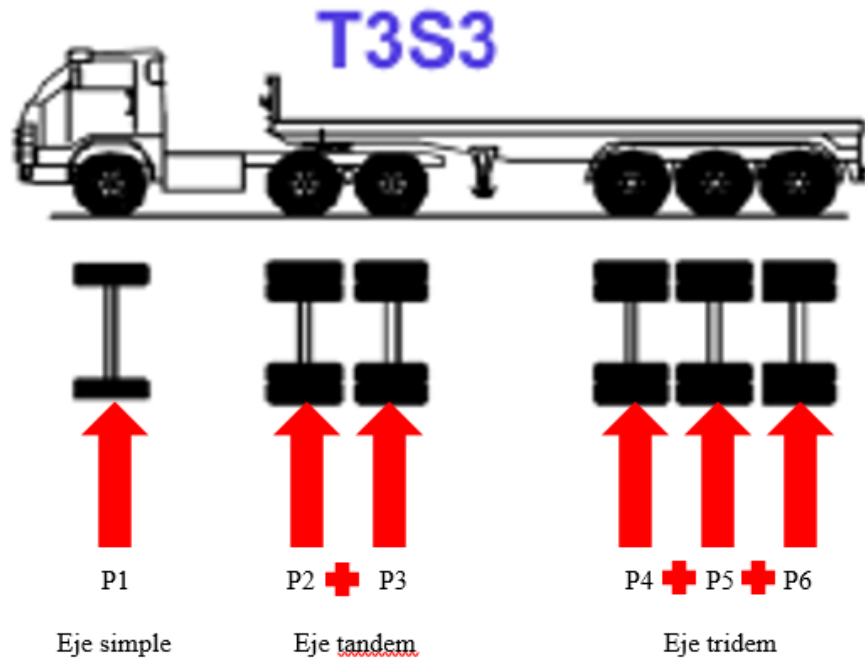


Figura 8: Relación de carga de los tipos de ejes  
Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento se realizará para cada tipo de vehículo. Obteniendo así, la relación de cargas de los tipos de ejes (simple, tándem, trídem).

- Se procederá a contar el número de ejes para cada rango de cargas para cada tipo de eje y clase.
- Calcular el porcentaje de las cantidades de ejes para cada rango de carga para cada tipo de eje y vehículo.
- Realizar el espectro de cargas en un gráfico de 2 ejes. En el eje X, se coloca los datos de carga por eje (ton); y en el eje Y, se coloca el porcentaje de la cantidad total de eje.

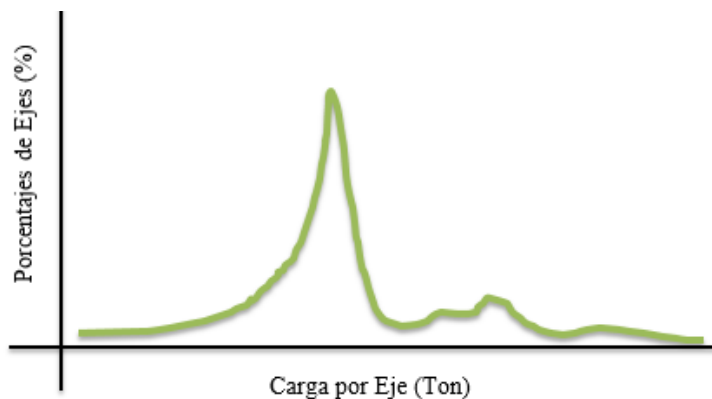


Figura 9: Espectro de cargas  
Fuente: Elaboración propia

B) Clima:

“El AASHTOWare PMED considera los efectos climáticos en los materiales del pavimento, las respuestas y los deterioros, ... utilizando el Modelo Climático Integrado Mejorado (Enhanced Integrated Climatic Model, EICM)” (AASHTO, 2015, pág. 19). Este software EICM que se encuentra integrado en el AASHTOWare PMED es una implementación al diseño.

Asimismo, la guía AASHTO (2015) afirma:

Se utiliza el EICM que modela la temperatura y la humedad dentro de cada capa del pavimento y de la cimentación, para esto se utiliza temperaturas, precipitación, velocidad del viento, nubosidad y humedad relativa. Para ello utiliza la data de las estaciones meteorológicas para predecir la temperatura y las condiciones de humedad de las capas del pavimento. Las predicciones de temperatura y humedad de las capas del pavimento se calculan por hora y se utilizan en una serie de aplicaciones para estimar las propiedades del material para la cimentación y para las capas del pavimento a lo largo de la vida útil de diseño. (pág. 19).

Tabla 14: Datos meteorológicos para la metodología MEPDG

| Factor            | Descripcion             | Unidades        | Frecuencia |
|-------------------|-------------------------|-----------------|------------|
| Factores Horarios | Precipitación           | Pulg.           | Horaria    |
|                   | Temperatura del aire    | °F              | Horaria    |
|                   | Nubosidad               | %               | Horaria    |
|                   | Viento                  | millas/h        | Horaria    |
|                   | Nivel Freatico          | Pie-ft          | Horaria    |
| Otros factores    | Salida y puesta del Sol | Hora en decimal | Diaria     |
|                   | Humedad Relativa        | %               | Mensual    |
|                   | Radiacion solar         | BUT/(ft2*dia)   | Diaria     |
|                   | Coordenadas Geodesicas  | Altura en (ft)  | -          |

Fuente: Maximiliano (2016)

El software cuenta con data de las estaciones meteorológicas de Estados Unidos, pero también se puede importar la data al software AASHTOWare PMED como afirma la guía AASHTO (2015): “Se recomienda crear una estación meteorológica importando un nuevo

archivo de clima que haya sido creado en base a la recolección de datos climatológicos locales para un análisis más preciso” (pág. 82).

#### C) Materiales:

El software analiza las propiedades de los materiales de la cimentación, subbase, base y carpeta de rodadura.

“Las propiedades de los materiales insertados en el software para la nueva estructura del pavimento representan los valores que tendrán justo después de la construcción” (AASHTO, 2015, pág. 109)

#### **Mezclas Asfálticas en Caliente**

El software necesita las propiedades fundamentales de la mezcla asfáltica en caliente. Estas pueden agruparse en propiedades volumétricas y mecánicas como afirma la guía AASHTO (2015):

“Las propiedades volumétricas incluyen contenido de vacíos, contenido efectivo de asfalto por volumen, granulometría del agregado, densidad de la mezcla y grado del asfalto, ... Las propiedades mecánicas incluyen el módulo dinámico, el comportamiento a fluencia lenta y la resistencia a tracción indirecta” (pág. 110)

Estos parámetros o propiedades pueden ser hallados mediante ensayos in situ o mediante experiencia previa cercana al lugar donde se realiza el proyecto. Asimismo, la guía AASHTO (2015) aconseja lo siguiente:

1. **Granulometría del agregado:** Se utiliza los valores que están cerca del rango medio de las especificaciones del proyecto o utilice los valores promedios de los anteriores registros para un determinado tipo de mezcla.
2. **Contenido de vacío, contenido efectivo de asfalto en volumen, densidad, vacíos del agregado mineral (VMA), vacío llenos con asfalto (VFA):** Se utiliza los valores que están cerca del rango medio de las especificaciones del proyecto o utilice los valores promedios de los anteriores registros para un determinado tipo de mezcla.
3. **Coefficiente de Poisson:** Se utiliza los valores de la temperatura calculados dentro del MEPDG.

4. Módulo dinámico, módulo de comportamiento de fluencia lenta, resistencia a la tracción directa: Se puede utilizar los niveles 2 o 3. Las propiedades de los materiales necesarias para los niveles 2 y 3 incluyen granulometría, clasificación de asfalto PG y resultados de ensayos del reómetro de corte dinámico. El software provee dos formas para calcular el módulo dinámico: en base a la viscosidad (NCHRP 1-37A) y otro modelo del NCHRP 1-40D (módulo dinámico de corte). La opción depende de los datos históricos que posee el ingeniero de diseño.
5. Absorción de onda corta superficial: Utilice el valor por defecto establecido en el AASHTOWare PMED, 0.85.
6. Coeficiente de contracción térmica de la mezcla: Utilice el valor pro defecto en el AASHTOWare PMED.
7. Temperatura de referencia: Usar 70°F.
8. Conductividad térmica del asfalto: Utilizar el valor por defecto 1.25 BTU.
9. Capacidad calórica del asfalto: Utilice el valor por defecto establecido: 0.28 BTU/lb°F.
10. Contenido de vacíos: Este debe representar el promedio de vacíos con aire in-situ esperado después que la MAC ha sido compactada.
11. Gravedad específica de la masa de la mezcla de agregados combinados: Depende del tipo de agregados que se utiliza en la mezcla y de la granulometría.
12. Máxima gravedad específica de la mezcla: Depende del tipo del agregado, su granulometría y el contenido de asfalto utilizado en la mezcla.
13. Vacíos del agregado mineral, VMA: Es un dato de entrada usado para predicciones de fisuras térmicas y para la determinación de otras propiedades volumétricas.
14. Contenido de asfalto efectivo por volumen: Debe representar el contenido de asfalto in-situ después que la mezcla ha sido colocada. (pág. 112-113)

Tabla 15:  
Parámetros y valores de datos de entrada recomendados para mezclas asfálticas en caliente (Niveles 2 o 3)

| Propiedad Medida  | Niveles de datos de entrada 2 o 3   |
|---|---|
| Modulo dinamico,<br>$E_{MAC}$ (nuevas capas de MAC)                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• No se requieren ensayos de laboratorio para el modulo dinamico, <math>E_{MAC}</math></li> <li>• Utilizar la ecuacion predictiva <math>E_{MAC}</math> del MEPDG. Los datos de entrada son granulometría, viscosidad del asfalto (bitumen), frecuencia de carga, contenido de vacios y contenido de asfalto efectivo en volumen. Las variables de los datos de entrada pueden ser obtenidas a través de ensayos de extraccion de nucleos o de archivos historicos de agencias</li> <li>• Utilizar los valores típicos Ai-VTS basados en el grado de asfalto (PG, viscosidad o grados de penetracion)</li> </ul>  |
| Resistencia a la traccion, TS (nueva superficie de MAC)                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar la ecuacion de regresion del MEPDG:<br/> <math display="block">TS(\text{psi}) = 7416.712 - 114.06 * Va - 122.592 * VFA + 0.704 * VFA^2</math> </li> <li>donde: <ul style="list-style-type: none"> <li>TS = Resistencia a la traccion indirecta a 14°F, en psi</li> <li>Va = Contenido de vacios con aire de MAC, como se construyó, en porcentaje</li> <li>VFA = Vacios llenos con asfalto, como se construyó, en porcentaje.</li> <li>Pen77 = Penetracion de asfalto a 77 °F, en mm/10.</li> <li>A = Interceptar la susceptibilidad entre viscosidad y temperatura del asfalto,</li> </ul> </li> <li>Las variables de entrada pueden obtenerse a traves de ensayos de muestras de mezclas preparadas en el laboratorio, de nucleos extraidos (para pavimentos existentes) o de archivos historicos de la agencia.</li> </ul>   |
| Comportamiento de la fluencia lenta, Creep Compliance, D(t) (nueva superficie de MAC) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizar la ecuacion de regresion del MEPDG:<br/> <math display="block">D(t) = D^t * t^m</math> <math display="block">\log(D_t) = -8.524 + 0.01306 * T + 0.7957 * \log_{10}(Va) + 2.0103 * \log_{10}(VFA) - 1.923 * \log_{10}(A)</math> <math display="block">m = 1.1628 - 0.00185 * T - 0.04596 * Va - 0.01126 * VFA + 0.00247 * Pen77 + 0.001683 * T * PEN77^{0.4605}</math> </li> <li>donde: <ul style="list-style-type: none"> <li>t = Tiempo, en meses.</li> <li>T = Temperatura en la cual el módulo de fluencia es medido, en °F.</li> <li>Va = Vacios con aire de MAC, como se construyó, en %.</li> <li>VFA = Vacios llenos con asfalto, como se construyó, en %.</li> <li>Pen77 = Penetracion de asfalto a 77 °F, en mm/10.</li> </ul> </li> <li>Las variables de entrada pueden obtenerse a traves de ensayos de muestras de mezclas preparadas en el laboratorio, de nucleos extraidos (para pavimentos existentes) o de archivos historicos de la agencia.</li> </ul> |
| Contenido de Vacios   | Utilice los valores especificos del tipo de mezcla construida disponibles de registro de construcciones anteriores  |
| Contenido de asfalto en volumen   | Utilice los valores especificos del tipo de mezcla construida disponibles de registro de construcciones anteriores  |
| Peso especifico total   | Utilice los valores especificos del tipo de mezcla construida disponibles de registro de construcciones anteriores  |

Fuente: “Guía de diseño mecanístico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 114).

Como se aprecia en la tabla 15, los primeros tres parámetros, que son mecánicos, son en base a correlaciones con otros parámetros como el tiempo, temperatura y los parámetros de volumétricos.

Tabla 16:  
Parámetros y valores de datos de entrada recomendados para mezclas asfálticas en caliente (niveles 3)

| Propiedad Medida                    | Datos de entrada recomendados de Nivel 3   |
|-------------------------------------|--|
| Coefficiente de Poisson             | Utilizar la ecuacion de prediccion basada en la temperatura incluida en el MEPDG para mezclas asfalticas en caliente (MAC) nuevas.                                   |
| Absorcion de onda corta superficial | Utilice el valor por defecto 0.85 del AASHTOWare PMED.   |
| Conductividad termica               | Los valores típicos de la mezcla asfaltica varian de 0.244 a 2.0 BTU/(pie)(h)(°F). Utilizar el valor por defecto configurado en el programa - 1.25 BTU/(pie)(h)(°F). |
| Capacidad calorifica                | Los valores típicos de la mezcla asfaltica varian de 1 a 0.50 BTU/(pie)(h)(°F). Utilizar el valor por defecto configurado en el programa - 1.28 BTU/(pie)(h)(°F)     |

Utilizar la ecuacion predictiva del MEPDG mostrado debajo:

$$L_{MIX} = \frac{VMA * B_{ac} + V_{AGG} * B_{AGG}}{3 * V_{TOTAL}}$$

donde:

|             |   |   |
|-------------|---|---|
| $L_{MIX}$   | = | Coefficiente de contraccion termica lineal de la mezcla asfaltica (l/°C)  |
| $B_{AC}$    | = | Coefficiente volumetrico de contraccion termica del asfalto en el estado solido (l/°C)  |
| $B_{AGG}$   | = | Coefficiente volumetrico de contraccion termica del agregado(l/°C)  |
| $VMA$       | = | Porcentaje del volumen de vacios del agregado mineral (igual al porcentaje de volumen de vacios con aire más al porcentaje de volumen de cemento asfaltico menos el porcentaje de volumen del asfalto absorbido). |
| $V_{AGG}$   | = | Porcentaje de volumen de agregado en la mezcla.   |
| $V_{TOTAL}$ | = | 100 por ciento.   |

Coefficiente de contraccion termica

Los valores típicos del coeficiente de contraccion termica lineal, el coeficiente volumétrico de contraccion térmica del asfalto en estado solido y el coeficiente volumetrico de contraccion térmica de agregados medidos en varios estudios de investigacion son los siguientes:

- $L_{MIX}$  = 2.2 a 3.4 \* 10<sup>-5</sup> /°C (lineal)
- $B_{AC}$  = 3.5 a 4.3 \* 10<sup>-4</sup> /°C (cúbico)
- $B_{AGG}$  = 21 a 37 \* 10<sup>-6</sup> /°C (cúbico)

Fuente: “Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 115).



La tabla 16 muestra propiedades de las mezclas asfálticas, en su mayoría, que se encuentra por defecto en el software AASHTOWare PMED. Como también se observa la propiedad de coeficiente de contracción térmica que es mediante una ecuación predictiva.

### **Materiales de bases granulares y terraplenes**

El software necesita las propiedades fundamentales de la subbase, base y cimentación. Estas pueden agruparse en propiedades físicas y mecánicas como afirma la guía AASHTO (2015): “Las propiedades físicas incluyen densidad seca, contenido de humedad y propiedades de clasificación, ... Las propiedades mecánicas incluyen el módulo resiliente” (pág. 123).

Estos parámetros o propiedades pueden ser hallados mediante ensayos in situ o mediante experiencia previa cercana al lugar donde se realiza el proyecto. Asimismo, la guía AASHTO (2015) aconseja lo siguiente:

1. Granulometría: Se recomienda utilizar el rango medio de las especificaciones del material o la granulometría promedio de los registros previos de construcción para materiales similares. Si no se recuperó el material suficiente durante la investigación de campo, pueden utilizarse los valores por defecto incluidos en el AASHTOWare PMED para la clasificación del material.
2. Límite de Atterberg: Se recomienda usar el rango medio permitido por las especificaciones del material o el límite líquido promedio y el índice de plasticidad de los anteriores registros, pueden utilizarse los valores por defecto incluidos en el AASHTOWare PMED para la clasificación del material, si no se recuperó suficiente material durante la investigación de campo.
3. Densidad Seca: Se recomienda utilizar la densidad seca máxima o la densidad seca promedio medida en proyectos de construcción anteriores.
4. Contenido de humedad: Se recomienda utilizar el contenido de humedad óptimo o el contenido de humedad promedio medido en anteriores registros.

5. Coeficiente de Poisson: Se recomienda utilizar los valores por defecto provistos por el AASHTOWare PMED.
6. Módulo Resiliente: Es recomendable utilizar los niveles de entrada 2 o 3. Las propiedades del material necesarias para los niveles 2 o 3 incluyen granulometría, clasificación, límites de Atterberg, contenido de humedad y densidad seca. El módulo resiliente también puede ser estimado a partir de ensayos CBR (AASHTO T 193) o el Valor-R del ensayo (AASHTO T 190).
7. Conductividad Hidráulica Saturada: Para medir este parámetro se utiliza el ensayo AASHTO T 215. Se recomienda el uso del valor por defecto ya que para los trabajos de calibración se utilizaron los valores por defecto en el software AASHTOWare PMED.
8. Parámetros de la Curva Característica Suelo Agua: Se recomienda el uso por defecto de estos valores. (pág. 124–127)

La tabla 17 muestra un resumen de cómo se determinan los parámetros como sus respectivos ensayos AASHTO o su ecuación de correlación. Estos parámetros influyen en todas las capas granulares como subbase, base y subrasante.

Tabla 17:

Requerimiento y protocolos de ensayo para materiales nuevos de base granular, subbase, terraplén y subrasante

| Propiedad Medida   | Fuente de Datos |          | Protocolo de ensayo recomendado y/o fuentes de datos   |
|--|-----------------|----------|--|
|  | Ensayo          | Estimado |  |
| Dos opciones:  |                 |          | AASHTO T 307 o NCHRP 1-28A   |
| Coefficientes de regresión k1, k2, k3 para el modelo constitutivo generalizado que define al módulo resiliente como una función del estado de tensiones obtenido de los ensayos del modulo resiliente del laboratorio. | X               |          | El modelo generalizado usado en el procedimiento de diseño MEPDG es como sigue:<br><br>$M_r = k_1 p_a \left(\frac{\theta}{P_a}\right)^2 \left(\frac{\tau_{oct}}{P_a} + 1\right)^2$ donde:<br>$M_r$ = módulo resiliente, psi<br>$\theta$ = en sumatorias de tensiones<br>$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$<br>$\sigma_1$ = tensión principal mayor<br>$\sigma_2$ = tensión principal intermedia<br>$\sigma_3$ = tensión principal menor<br>presión de confinamiento<br>$\tau_{oct}$ = tensión de corte octaédrico<br><br>$= \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$<br><br>$P_a$ = tensión normal<br>$k_1, k_2, k_3$ = constante de regresión |
| Determinar el módulo de diseño promedio correspondiente al estado de tensiones esperado in-situ de los ensayos de módulo resiliente de laboratorio   |                 | X        |  |
| Coefficiente de Poisson  |                 | X        | Ninguna norma de ensayo nacional. Utilizar los valores por defecto incluidos en el AASHTOWare Pavement ME Design.  |
| Densidad seca máxima   | X               |          | AASHTO T 180   |
| Contenido óptimo de humedad  | X               |          | AASHTO T 180   |
| Gravedad específica  | X               |          | AASHTO T 100   |
| Permeabilidad hidráulica saturada  | X               |          | AASHTO T 215   |
| Párametros de la curva suelo agua característica   | X               |          | AASHTO T 99: Relaciones humedad-densidad de suelos usando un pisón de 2.5 kg (5.5 libras) y una altura de caída de 305 mm (12 pulgadas)<br>o<br>AASHTO T 180: Relaciones humedad-densidad de suelos usando un pisón de 4.45 kg (10 libras) y una altura de caída de 457 mm (18 pulgadas)<br>o<br>AASHTO T 100: Gravedad específica de suelos   |

Fuente: “Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 124).

En la tabla 18 se aprecia el parámetro mecanístico módulo resiliente de los materiales granulares. Según se aprecia, se determina mediante una correlación de la clasificación del suelo a una humedad óptima. Asimismo, los otros parámetros que se encuentran en la tabla también se hallan mediante estimaciones.

Tabla 18:

Parámetros y valores recomendados para los niveles de entrada 2 y 3, y para las propiedades de materiales de base granular, subbase, terraplén y subrasante

| Propiedad Medida                                 | Nivel de Entrada Recomendado  |  |  |
|--|---|--|--|
|  | Utilizar los datos de entrada del nivel 3 en materiales de base, subbase, terraplén y subrasante acorde a la AASHTO Soil Classification (Clasificación de Suelos AASHTO). La clase de Suelo AASHTO se determina utilizando la granulometría del material, el índice de plasticidad y el límite líquido. |  |  |
|  | Clasificación de Suelos de AASHTO   | Módulo Resiliente Recomendado en la Humedad Óptima (AASHTO T 180), psi |  |
|  |   | Base/subbase para Pavimentos Flexibles y Rígidos                       | Terraplén y Subrasante para Pavimentos Flexibles |
| Modulo Resiliente                                | A-1-a   | 40000  | 29500  |
|  | A-1-b   | 38000  | 26500  |
|  | A-2-4   | 32000  | 24500  |
|  | A-2-5   | 28000  | 21500  |
|  | A-2-6   | 26000  | 21000  |
|  | A-2-7   | 24000  | 20500  |
|  | A-3   | 29000  | 16500  |
|  | A-4   | 24000  | 16500  |
|  | A-5   | 20000  | 15500  |
|  | A-6   | 17000  | 14500  |
|  | A-7-5   | 12000  | 13000  |
| A-7-6  | 8000  | 11500  |  |
| Máxima densidad seca                             | Estimar usando las siguientes entradas: granulometría, índice de plasticidad y límite líquido.  |  |  |
| Gravedad específica                              | Estimar usando las siguientes entradas: granulometría, índice de plasticidad y límite líquido.  |  |  |
| Contenido óptimo de humedad                      | Estimar usando las siguientes entradas: granulometría, índice de plasticidad y límite líquido.  |  |  |
| Permeabilidad hidráulica saturada                | Seleccionar basado en las siguientes entradas: granulometría, índice de plasticidad y límite líquido.   |  |  |
| Parámetros de la curva característica suelo agua | Seleccionar basado en la clase de material de agregado/subrasante   |  |  |

Fuente: “Guía de diseño mecanístico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 125).

#### D) Confiabilidad:

La confiabilidad es primordial en diseño de pavimentos. Esta se define como la probabilidad que el daño presumido en la toda vida útil del pavimento será menor que un nivel aceptable durante el periodo de diseño y análisis. La confiabilidad se aplica a los indicadores de deterioro. La guía AASHTO (2015) afirma que: “Esta ha sido incorporada en el AASHTOWare PMED, ... El ingeniero de diseño puede colocar el nivel de confiabilidad para cada tipo de deterioro y el IRI. Se debe tener criterio y experiencia al seleccionar el valor de la confiabilidad” (pág. 72).

Asimismo, el criterio y experiencia del ingeniero de diseño para colocar la confiabilidad para cada indicador de deterioro, es fundamental; ya que esta puede aumentar los espesores de las capas cuando existe una confiabilidad alta o disminuirlos en caso contrario. Además, la guía AASHTO (2015) recomienda lo siguiente: “En la práctica, el ingeniero de diseño probablemente necesita de una confiabilidad mayor al 50% para que pavimento cumpla los criterios de desempeño durante su vida útil, ... No se recomienda la selección de una confiabilidad alta (>96%)” (pág. 73-74)

La tabla 19 recomienda los niveles de confiabilidad para los distintos tipos de carreteras según AASHTOWare PMED.

Tabla 19:  
Niveles de Confiabilidad mínimos recomendados para las distintas clases funcionales de carreteras

| Clasificación Funcional | Nivel de Confiabilidad |       |
|-------------------------|------------------------|-------|
|                         | Urbano                 | Rural |
| Interestatal/Autopistas | 95                     | 95    |
| Arterias Principales    | 90                     | 85    |
| Colectores              | 80                     | 75    |
| Local                   | 75                     | 70    |

Fuente: “Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 74).

#### E) Indicadores de desempeño:

El software AASHTOWare utiliza los indicadores de desempeño para comprender el comportamiento a lo largo de la vida útil del pavimento. “Los indicadores de desempeño fueron predichos

mediante funciones de transferencia y ecuaciones de regresión. Estas fueron calculadas usando datos extraídos del Long-Term Pavement Performance (LTPP)” (AASHTO, 2015, pág. 17). Existen 6 indicadores de desempeño:

### **Profundidad Total de Ahuellamiento**

La guía AASHTO (2015) define al indicador de desempeño Profundidad Total de Ahuellamiento como:

Causada por la deformación vertical plástica o permanente en las capas con mezcla asfáltica caliente (MAC), en las capas granulares y en la cimentación. El enfoque AASHTOWare PMED está basado en el cómputo de los incrementos en las deformaciones dentro de cada subcapa del pavimento flexible. El modelo para calcular la deformación permanente total utiliza la deformación plástica vertical bajo condiciones específicas del pavimento para el número total de camiones. Las condiciones varían de un mes a otro, por eso, se utiliza un enfoque especial llamado “endurecimiento por deformación”, para incorporar estas deformaciones mensuales a un subsistema de deformaciones acumuladas. Esta deformación plástica acumulada se mide mediante el ensayo triaxiales de deformación permanente por carga repetidas tanto para mezclas asfálticas como materiales granulares. Para las mezclas asfálticas calientes, se utiliza la ecuación 7. (pág. 39)

$$\Delta_{p(MAC)} = \varepsilon_{P(MAC)} h_{(MAC)} = \beta_{1r} k_z \varepsilon_{r(MAC)} 10^{k_{1r}} n^{k_{2r}} \beta_{2r} T^{k_{3r}} \beta_{3r}$$

(Ec. 7)

donde:

- $\Delta_{p(MAC)}$  = Deformación acumulada permanente en la subcapa/capa de MAC, en pulgadas.
- $\varepsilon_{P(MAC)}$  = Deformación unitaria permanente en la subcapa/capa de MAC, en pulgada/pulgada.

- $\varepsilon_{r(MAC)}$  = Deformación unitaria resiliente calculada por el modelo de respuesta estructural a una profundidad media de cada subcapa de MAC, en pulgada /pulgada.
- $h_{(MAC)}$  = Espesor de la subcapa/capa de MAC, en pulgada.
- $n$  = Número de repeticiones de carga por eje.
- $T$  = Temperatura de mezcla o del pavimento, en °F.
- $k_z$  = Factor de confinamiento en profundidad.
- $k_{1r,2r,3r}$  = Parámetros de calibración global de campo ( $k_{1r}=- 3.35412$ ,  $k_{2r}=0.4791$ ,  $k_{3r}= 1.5606$ )
- $\beta_{1r}, \beta_{2r}, \beta_{3r}$  = Constante de calibración locales o de mezclas en el campo; para la calibración global, estas constantes se establecieron en 1.0.

$$k_z = (C_1 + C_2 D) 0.328196^D \quad (\text{Ec. 8})$$

$$C_1 = -0.1039(H_{MAC})^2 + 2.4868H_{MAC} - 17.342 \quad (\text{Ec. 9})$$

$$C_2 = 0.0172(H_{MAC})^2 - 1.7331H_{MAC} - 27.428 \quad (\text{Ec. 10})$$

donde:

- $D$  = Profundidad debajo de la superficie, en pulgada
- $H_{MAC}$  = Espesor total de MAC, en pulgada.

Para calcular la deformación vertical plástica dentro de todas las capas granulares y el suelo de cimentación, se utiliza la ecuación 11.

$$\Delta_{p(suelo)} = \beta_{s1} k_{s1} \varepsilon_v h_{suelo} \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r}\right) e^{\left(\frac{\rho}{n}\right)^\beta} \quad (\text{Ec. 11})$$

donde:

- $\Delta_{p(suelo)}$  = Deformación permanentemente o plástica para capa/subcapa, en pulgada.
- $n$  = Número de repeticiones de carga por eje.

- $\varepsilon_o$  = Intercepción determinada de los ensayos de deformación permanente de carga repetida en el laboratorio, en pulgada/pulgada.
- $\varepsilon_r$  = Deformación unitaria resiliente impuesta en el ensayo de laboratorio para obtener las propiedades del material  $\varepsilon_o$ ,  $\beta$  y  $\rho$ , en pulgada/pulgada
- $\varepsilon_v$  = Deformación unitaria vertical resiliente o elástica promedio en la capa/subcapa y calculada por el modelo de respuesta estructural, en pulgada/pulgada
- $h_{suelo}$  = Espesor de la capa/subcapa granular, en pulgada.
- $k_{s1}$  = Coeficiente de calibración global;  $k_{s1}= 2.03$  para materiales granulares y  $1.35$  para materiales de grano fino.
- $\varepsilon_{s1}$  = Constante de calibración local para el ahuellamiento en las capas granulares; la constante de calibración local fue establecida en  $1.0$  para esfuerzo de calibración global.

$$\text{Log}\beta = -0.61119 - 0.017638 (W_c) \quad (\text{Ec. 12})$$

$$\rho = 10^9 \left( \frac{C_o}{(1-(10^9)\beta)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (\text{Ec. 13})$$

$$C_o = \text{Ln} \left( \frac{a_1 M_r^{b_1}}{a_9 M_r^{b_9}} \right) \quad (\text{Ec. 14})$$

donde:

- $W_c$  = Contenido de agua, en %
- $M_r$  = Módulo resiliente de la capa o subcapa granular, en psi
- $a_{1,9}$  = Constantes de regresión;  $a_1= 0.15$  y  $a_9= 20.0$
- $b_{1,9}$  = Constantes de regresión;  $b_1= 0.0$  y  $b_9= 0.0$

Todas estas fórmulas que están simplificadas en el software AASHTOWare PMED.



### **Fisuramiento relacionado con la carga:**

El software AASHTOWare PMED predice dos tipos de fisura con respecto a los fisuramiento relacionados con la carga: fisuramiento tipo piel de cocodrilo (fatiga) y fisuramiento longitudinales. El software toma que el fisuramiento tipo piel de cocodrilo se inicia en la parte inferior de las carpetas asfálticas y se propagan a la superficie con el tráfico continuo de camiones, mientras que las fisuras longitudinales se inician en la superficie. (AASHTO, 2015, pag.42).

La ecuación 15 muestra el número permisivo de repeticiones de carga por eje para aplicar el índice daño incremental para predecir ambos tipos de fisura:

$$N_{f-MAC} = k_{f1}(C)(C_H)\beta_{f1}(\varepsilon_t)^{k_{f2}\beta_{f2}}(E_{MAC})^{k_{f3}\beta_{f3}} \quad (\text{Ec. 15})$$

donde:

$N_{f-MAC}$  = Número permitido de repeticiones de carga por eje para un pavimento flexible y recapado de mezcla asfáltica en caliente (MAC).

$\varepsilon_t$  = Deformación unitaria por tensión en lugares críticos y calculados por el modelo de respuesta estructural, en pulgada/pulgada.

$E_{MAC}$  = Modulo dinámico del MAC medido en compresión, psi.

$k_{f1}, k_{f2}, k_{f3}$  = Coeficientes de calibración global en campo ( $k_{f1}=0.007566$ ,  $k_{f2}=+3.9492$ ,  $k_{f3}=+1.281$ ).

$\beta_{f1}, \beta_{f2}, \beta_{f3}$  = Constantes de calibración de campo especifica local o específicas de la mezcla; para el esfuerzo de calibración global, estas constantes fueron establecidas en 1.0.

$$C = 10^M \quad (\text{Ec. 16})$$

$$M = 4.84 \left( \frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right) \quad (\text{Ec. 17})$$

donde:

- $V_{be}$  = Contenido de asfalto efectivo en volumen, en %.
- $V_a$  = Porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica.
- $C_H$  = Factor de corrección de espesor, dependiente del tipo de fisura.

Para fisuramiento tipo piel de cocodrilo o de abajo hacia arriba, el factor de corrección de espesor se halla mediante la ecuación 18:

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(11.02 - 3.49H_{MAC})}}} \quad (\text{Ec. 18})$$

Para fisuramiento longitudinales o de arriba hacia abajo, el factor de corrección de espesor se halla mediante la ecuación 19.

$$C_H = \frac{1}{0.01 + \frac{12.00}{1 + e^{(15.676 - 2.8186H_{MAC})}}} \quad (\text{Ec. 19})$$

donde:

- $H_{MAC}$  = Espesor total de MAC, en pulgada.

El software AASHTOWare PMED computa los índices de daño incremental a profundidades críticas siguiendo una malla patrón a través de las capas de la mezcla asfálticas en caliente. El índice de daño incremental ( $\Delta DI$ ) se calcula dividiendo el número real de cargas por eje con el número permitido de cargas por eje, dentro de un espacio de tiempo y un intervalo de cargas por eje para cada tipo de eje. Esta se expresa mediante la ecuación 20.

$$DI = \sum (\Delta DI)_{j,m,l,\rho,T} = \sum \left( \frac{n}{N_{f-MAC}} \right)_{j,m,l,\rho,T} \quad (\text{Ec. 20})$$

donde:

- $n$  = Número real de repeticiones de carga por eje dentro de un periodo de tiempo específico.

$j$  = Intervalo de carga por eje.

$m$  = Tipo de carga por eje (single, tándem, tridem o quad).

$l$  = Tipo de camión utilizando grupos de clasificación de camiones incluidos en el AASHTOWare PMED.

$\rho$  = Mes.

$T$  = Temperatura media para los cinco intervalos de temperatura o quintiles usados para subdividir cada mes, °F.

El área de fisuramiento tipo piel de cocodrilo y la longitud fisuramiento longitudinal se calculan a partir del daño total a través del tiempo. La ecuación 21 es la relación utilizada para predecir la cantidad de fisuramiento tipo de piel de cocodrilo en función de un área.

$$FC_{Bottom} = \left(\frac{1}{60}\right) \left(\frac{C_4}{1+e^{(C_1 C_1^* + C_2 C_2^* \text{Log}(DI_{Bottom} * 100))}}\right) \quad (\text{Ec. 21})$$

donde:

$FC_{Bottom}$  = Área de fisuramiento tipo piel de cocodrilo (fatiga) que inicia en la parte inferior de las capas de MAC, % del área total del carril.

$DI_{Bottom}$  = Índice de daño acumulado en la parte inferior de las capas asfálticas.

$C_{1,2,4}$  = Constantes de regresión de la función transferencia;  
 $c_4 = 6.00$ ;  $c_1 = 1.00$  y  $c_2 = 1.00$

$C_1^*$  =  $-2C_2^*$

$C_2^*$  =  $-2.40874 - 39.748 (1 + H_{MAC})^{-2.856}$

En el caso de fisuras longitudinales por fatiga, la ecuación 22 es para predecir la longitud de estas:

$$FC_{Top} = 10.56 \left(\frac{C_4}{1+e^{(C_1 - C_2 \text{Log}(DI_{Top}))}}\right) \quad (\text{Ec. 22})$$

donde:

$FC_{Top}$  = Longitud de fisuras longitudinales que inician en la parte superior de la capa de MAC, en pies/milla.

$DI_{Top}$  = Índice de daño acumulado cerca de la parte superior de la capa de MAC, pies/milla.

$C_{1,2,4}$  = Constantes de regresión de la función transferencia;  
 $c_1= 7.00$ ;  $c_2= 3.50$  y  $c_4= 1.00$

**Fisuramiento no relacionado con la carga – Fisuramiento Transversal:**

Este tipo de fisuramiento no está relacionada a las cargas de tránsito. Se puede identificar como perpendicular a la línea central del pavimento. Es causada por bajas temperaturas o por ciclos térmicos. (AASHTO, 2015, pag.47).

El modelo de fisura miento térmico se representa en la ecuación 23.

$$\Delta C = A (\Delta K)^n \quad (\text{Ec. 23})$$

donde:

$\Delta C$  = Cambio en la profundidad de la fisura debido al ciclo de enfriamiento.

$\Delta K$  = Cambio en el factor de intensidad de esfuerzo debido al ciclo de enfriamiento.

$A, n$  = Parámetros de fractura para la mezcla MAC.

Mediante las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente como la fluencia lenta por tracción indirecta y de la resistencia se pueden estimar  $A, n$ .

$$A = k_t \beta_t 10^{[4.389 - 2.52 \text{Log}(E_{MAC} \sigma_m^n)]} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$n = 0.8 \left[ 1 + \frac{1}{m} \right] \quad (\text{Ec. 25})$$

donde:

$k_t$  = Coeficiente determinado a través de la calibración global para cada nivel de entrada (nivel 1 = 1.5; nivel 2 = 0.5 y nivel 3 = 1.5).

$E_{MAC}$  = Módulo de tracción indirecta de MAC, psi.

$\sigma_m$  = Parámetros de fractura para la mezcla MAC.

$m$  = El valor-m derivado de la curva de fluencia por tracción indirecta medida en laboratorio

$\beta_t$  = Factor de calibración local o de mezcla.

El factor de intensidad del esfuerzo,  $K$ , ha sido incorporado en el software AASHTOWare PMED a través del uso de una ecuación simplificada que ha sido desarrollada a partir de estudios teóricos con elementos finitos.

$$K = \sigma_{tip} [0.45 + 1.99(C_o)^{0.56}] \quad (\text{Ec. 26})$$

donde:

- $\sigma_{tip}$  = Esfuerzo distante in-situ obtenido del modelo de respuesta de pavimento en el extremo de la fisura en profundidad, en psi.
- $C_o$  = Longitud actual de la fisura, en pies.

El software pronostica el grado de fisuración térmica utilizando una relación asumida como la ratio entre la distribución de probabilidad del logaritmo de la profundidad de la fisura el espesor de la capa de MAC y el porcentaje del fisuramiento. La ecuación 27 es la representación de lo previamente dicho.

$$TC = \beta_{t1} N \left[ \frac{1}{\sigma_d} \text{Log} \left( \frac{C_d}{H_{MAC}} \right) \right] \quad (\text{Ec. 27})$$

donde:

- $TC$  = Extensión observada del fisuramiento térmico, en pies/milla.
- $\beta_{t1}$  = Coeficiente de regresión determinada a través de la calibración global (400).
- $N[z]$  = Distribución normal estándar evaluada en el  $[z]$ .
- $\sigma_d$  = Desviación estándar del logaritmo de la profundidad de las fisuras en el pavimento (0.769), en pulgada.
- $C_d$  = Profundidad de la fisura, en pulgada.
- $H_{MAC}$  = Espesor de las capas de MAC, en pulgada.

#### **Fisuras reflejas en Recapados de MAC:**

El AASHTOWare PMED predice fisuras reflejas en los recapados de MAC por medio del uso de una ecuación empírica. Esta se utiliza para calcular la cantidad de fisuras por fatiga y de fisuras térmicas

desde una capa no-superficial que ha sido reflejada a la superficie después de cierto periodo de tiempo. Esta ecuación empírica predice el porcentaje del área de las fisuras que se propagan a través del MAC, como una función del tiempo y utilizando una función sigmoidea. Sin embargo, no está calibrada a nivel mundial. (AASHTO, 2015, pag.48).

La ecuación 28 determina las fisuras por reflejo

$$RC = \frac{100}{1+e^{a(c)+bt(d)}} \quad (\text{Ec. 28})$$

donde:

- $RC$  = Porcentaje de fisuras reflejadas.
- $t$  = Tiempo en años.
- $a, b$  = Parámetros de ajuste de regresión definido a través del proceso de calibración
- $c, d$  = Parámetros de progresión del fisuramiento definido por el usuario.

### **Regularidad Superficial**

Según el AASHTOWare PMED, para predecir la regularidad superficial se basa en la aparición de deterioros en la superficie resultara en el aumento de la rugosidad superficial. La ecuación 29 son en base a datos recogidos del LTPP y se encuentran dentro del software para predecir el IRI del pavimento de mezclas de MAC a través de su vida útil. (AASHTO, 2015, pag.51).

$$IRI = IRI_0 + C_1(RD) + C_2(FC_{Total}) + C_3(TC) + C_4(SF) \quad (\text{Ec. 29})$$

donde:

- $IRI_0$  = Iri inicial después de la construcción, en pulgadas/millas.
- $SF$  = Factor sitio.
- $FC_{Total}$  = Área de fisuramiento por fatiga (fisuramiento combinado de fisuras por fatiga, longitudinal y reflejas en la huella del neumático), porcentaje del área total del carril. Todas las fisuras relacionadas con

la carga están combinadas en un área base; la longitud de las fisuras longitudinales es multiplicada por 1 pie para convertir la longitud en un área base.

$TC$  = Longitud del fisuramiento transversal (incluyendo las fisuras transversales reflejas en pavimentos existentes de MAC), en pies/milla.

$RD$  = Promedio de la profundidad de ahuellamiento, en pulgadas.

$C_{1,2,3,4}$  = Factores de calibración;  $C_1 = 40.0$ ,  $C_2 = 0.400$ ,  $C_3 = 0.008$ ,  $C_4 = 0.015$ .

Para hallar el factor sitio (FC), se utiliza la ecuación 30.

$$SF = Age^{1.5} \left\{ \ln[(Precip + 1)(FI + 1)_{\rho_{02}}] \right\} + \left\{ \ln[(Precip + 1)(PI + 1)_{\rho_{200}}] \right\} \text{-----} \text{(Ec. 30)}$$

donde:

$Age$  = Edad del pavimento, en años.

$PI$  = Índice de porcentaje de plasticidad del suelo.

$FI$  = Índice promedio del congelamiento anual, en °F días.

$Precip$  = Precipitación o pluviosidad promedio anual, en pulgadas.

$\rho_{02}$  = Porcentaje que pasa el tamiz de 0.02mm.

$\rho_{200}$  = Porcentaje que pasa el tamiz de 0.075mm. (pág.39-51)

Estos 6 indicadores de deterioro: Profundidad total de ahuellamiento, fisuramiento tipo piel de cocodrilo, fisuramiento longitudinales, fisuramiento transversal, fisuras reflejas y regularidad superficial, son fundamentales para el desarrollo del diseño. Asimismo, el software AASHTOWare PMED recomienda los siguientes umbrales para los indicadores de deterioro.

Tabla 20:

Criterios de diseño o umbrales recomendados por AASHTOWare Pavement ME Design para evaluar la aceptación de un diseño de pavimento

| Tipo de Pavimento | Criterios de Desempeño   | Valor umbral al final de la Vida Útil de diseño  |
|-------------------|--|--|
| Pavimento de MAC  | Fisuramiento tipo piel de cocodrilo (fisuramiento de mezcla asfáltica en caliente MAC de abajo hacia arriba) | Interestatal: 10% del área del carril<br>Primara: 20% del área del carril<br>Secundaria: 35% del área del carril |
|                   | Profundidad del ahuellamiento (deformación permanente en las trayectorias de las ruedas)                     | Interestatal: 0.40 pulgadas<br>Primara: 0.50 pulgadas<br>Otros (<45 mph): 0.65 pulgadas                          |
|                   | Longitud del fisuramiento transversal (fisuras térmicas)   | Interestatal: 500 pies/milla<br>Primara: 700 pies/milla<br>Secundaria: 700 pies/milla                            |
|                   | IRI (regularidad superficial)  | Interestatal: 160 pulgadas/milla<br>Primara: 260 pulgadas/milla<br>Secundaria: 200 pulgadas/milla                |

Fuente: “Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos” por AASHTO (2015, pág. 72).

#### 2.4. Definición de términos básicos

- a) Guía de diseño de estructura de pavimentos AASHTO 93: La Guía de diseño AASHTO 93 es un método de regresión basado en resultados del experimento de la carretera de prueba AASHO construida en los años 50. El método AASHTO 93 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinar capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de servicialidad (Minaya , 2006, pág. 108).
- b) Capas del pavimento asfáltico: El pavimento asfáltico está compuesto por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y sub base (Montejo, 2006, pág. 2).
- c) Tránsito: Interesan para el dimensionamiento del pavimento las cargas más pesadas por eje esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas de tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. (Montejo, 2006, pág. 9).
- d) Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 (MEPDG): es la guía donde se encuentra el procedimiento y el análisis del diseño mecánico-empírico. (AASHTO, 2015, pág. 1)



- e) AASHTOWare Pavement ME Design (AASHTOWare PMED): Es el software con el cual se simplifica el diseño mecanístico-empírico AASHTO 2015. (AASHTO, 2015, pág. 1)
- f) Modelo Climático Integrado Mejorado (EICM): Es el software que se encuentra implementado el AASHTOWare PMED, este analiza el clima del lugar donde se realiza el proyecto. (AASHTO, 2015, pág. 37)
- g) Profundidad Total de Ahuellamiento: Es un índice de deterioro, se basa en la deformación en cada capa del pavimento, ocasionado por la presión ejercida por el neumático. (AASHTO, 2015, pág. 33)
- h) Fisuramiento Tipo Piel de Cocodrilo: Es un índice de deterioro, se basa en las fisuras interconectadas en la mezcla asfáltica caliente. Están se forman en dirección en la trayectoria del neumático. (AASHTO, 2015, pág. 32)
- i) Fisuramiento Longitudinales: Es un índice de deterioro, son las fisuras que son paralela a la línea central del pavimento. Inician como fisuras cortas y se van interconectando debido a las cargas de camiones. (AASHTO, 2015, pág. 32)
- j) Fisuramiento Transversal: Es un índice de deterioro, es causado por los cambios de temperatura o debido a bajas temperaturas. (AASHTO, 2015, pág. 33)
- k) Fisuras Reflejas: Es un índice de deterioro, causado por reflejado de una junta transversal al pavimento o una grieta que se encuentra debajo de la carpeta. (AASHTO, 2015, pág. 33)
- l) Regularidad Superficial (IRI): Es un índice de deterioro, se basa en el estado de la carretera por donde transita el usuario. (AASHTO, 2015, pág. 33)

## **CAPÍTULO III: HIPÓTESIS**

### **3.1. General**

Mediante la comparación del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determina el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico.

### **3.2. Específicos**

- a) Analizando el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.
- b) Analizando el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.
- c) Determinando las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 se determinan espesores distintos de las capas del pavimento asfáltico.
- d) Se puede determinar el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### 4.1. Tipo y método de investigación

Método de investigación: la tesis es deductivo debido a que, “va de lo general a lo particular, es decir, parte de un principio general y se emplea en cada caso” (Muñoz, 2015, pág. 77).

Enfoque de la investigación es cualitativa, ya que no es necesario la claridad de los problemas y de hipótesis de la investigación estas pueden ser modificadas antes, durante y después de la recolección de datos, asimismo para este enfoque la investigación se realiza a través de distintos datos recolectados documentos, entrevistas, imágenes, etc.

Orientación de la investigación: aplicada, dado que se aplican los conocimientos adquiridos, está relacionada con los resultados de la aplicación. La presente investigación es aplicada ya que se aplicarán los diseños de la investigación a través de conocimientos recolectado de documentos (Díaz, Metodología de la investigación científica, 2006, pág. 43).

Tipo de investigación: Investigación descriptiva ya que se determina las características de los dos diseños, pueden hacer uso de técnicas cualitativas o cuantitativas.

Nivel de la investigación: exploratorio - descriptivo - explicativo - correlacional.

Exploratorio: llamada también “reconocimiento del terreno de la investigación”; se le denomina así ya que es como una primera fase de la investigación en la que el investigador forma busca información del tema de investigación. En ese motivo esta investigación también lleva una eta de exploración en la que se recolecta información de libros, papers, tesis, etc.

Descriptiva: ya que identifica y describe las características o cualidades, propiedades esenciales de las variables e indicadores. En ese sentido en la investigación se describirá los parámetros para los diseños AASHTO 93 y 2015.

Explicativa: una vez conocidas o descritas las variables se busca una explicación respondiendo a preguntas como ¿Por qué? En ese sentido la presente investigación es explicativa ya que se busca conocer porqué la comparación de los diseños AASHTO 93 y 2015 determina el nivel de confianza del espesor de las capas del pavimento.

Correlacional: Es correlacional ya que permite relacionar las variables. En ese sentido se va relacionar las siguientes variables:

1. Diseños AASHTO 1993 y 2015
2. Capas del pavimento flexible (Díaz, Metodología de la investigación científica, 2006, págs. 41-42)

El diseño de la investigación es un conjunto de estrategias, planes y metodologías que se deben realizar para el desarrollo de la investigación y poder brindar una respuesta a los problemas de investigación. Dado que las investigaciones son distintas, el diseño se clasifica en diseños experimentales y no experimentales, siendo las primeras, las cuales hacen una manipulación intencionada de las variables de la investigación y la segunda no hace manipulación de las variables.

Para esta investigación el diseño de la investigación: Es no experimental ya que la investigación carece de manipulación intencional de las variables, es transversal correlacional debido a que se analiza y estudia la relación de las variables (Díaz, Metodología de la investigación científica, 2006, pág. 72).

#### 4.2. Población de estudio

Las carreteras que pertenecen a la Red Vial del Perú.

#### 4.3. Diseño muestral

La muestra está conformada por 10 tramos de carretera en el Perú.

- CU-117, Acomayo – Sangarará
- CU-117, EMP. PE 3S (CUSCO) – Paruro
- CU-117, Sangarará – Pomacanchi
- CU-117, Pomacanchi – Chuquichahuana
- CU-117, Paruro – Dv. Cusibamba
- CU-117, Cusibamba – Accha
- CU-117, Accha – Pillpinto
- CU-117, Acos - Acomayo
- CU-124, Pitumarca – Dv. Ausangate
- PE-5N, Calzada - Soritor

#### 4.4. Relación entre variables:

##### **Variable independiente:**

X: Diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 y Diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015.

**Variable dependiente:**

Y: Capas del pavimento asfáltico

**4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para determinar los datos de entrada para desarrollar las metodologías de diseño de pavimentos AASHTO 93 y AASHTO 2015 se realizó la recopilación de la información técnica de las redes viales de Cusco.

Para obtener información bibliográfica de diversas investigaciones pasadas a nuestra investigación, se utilizó la técnica de observación no participante.

Ya que “existe un contacto con el grupo de investigadores, pero no se forma parte de sus actividades que realizan los investigadores” (Díaz, Metodología de la investigación científica, 2006, pág. 286)

Para recolectar data climatológica de entidades que poseen un alto grado de confiabilidad, se utilizó la observación indirecta. Ya que “se recogen y corroboran datos de otros, ya sea información oral o escrita que haya tenido contacto de alto grado de confiabilidad con la fuente” (Tamayo, 1991, pág. 100)

La información obtenida para el estudio del clima local es acreditada y validada por las instituciones del estado correspondientes.

**4.6. Procedimientos para la recolección de datos**

El procedimiento a realizar es el siguiente:

- a) Investigación bibliográfica de las metodologías a estudiar y reconocimiento de la información necesaria a utilizar para el desarrollo de la investigación.
- b) Recolección de información de los datos de entrada de las metodologías de diseño en expedientes técnicos de las carreteras de la red vial.
- f) Recolección de información de las condiciones climáticas en entidades como CORPAC, para su procesamiento según los métodos AASHTO 93 y AASHTO 2015 lo establezcan.
- g) Aplicación de los datos de entrada de las metodologías de diseño para la obtención de resultados para dar las conclusiones de la investigación.

**4.7. Técnicas de procesamientos y análisis de datos**

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos utilizadas en esta investigación son por medio de fórmulas matemáticas establecidas en los métodos AASHTO 93 y AASHTO 2015.

Para el desarrollo del método AASHTO 93 nos basamos en el procedimiento establecido por el Manual de Carreteras: Sección, Suelos y Pavimentos, del MTC; mientras que para el método AASHTO utilizamos la guía de diseño mecanístico-empírica de pavimentos AASTO 2015.

Para determinar los niveles de confiabilidad de las capas asfálticas se realizará mediante técnicas de estadísticas. “En cualquier investigación que posea niveles de análisis cuantitativo, se procesan los datos obtenidos con técnicas permitan identificar las características fundamentales en las variables” (Velázquez & Rey, 2007, pág. 194)

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Comparar el diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecanístico empírico de pavimentos AASHTO 2015 para la determinación del nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico, año 2021.

Para comparar el método de diseño de pavimentos AASHTO 93 con AASHTO 2015 se tomó en consideración 10 tramos de vías para ser diseñados mediante AASHTO 93 y AASHTO 2015 posteriormente se compararon los resultados de los métodos de diseños para la determinación del nivel de confiabilidad.

Los detalles y procedimientos de diseño con ambos métodos (AASHTO 93 y AASHTO 2015), se muestran en el anexo N° III, IV y V.

### **5.1. Método AASHTO 1993**




















Para analizar la metodología de diseño AASHTO 93 presentamos el tramo ACOMAYO – SANGARÁ del corredor vial 37: Cuzco II Ubicada en el departamento de Cuzco, en el anexo N° III y IV. se encuentran detallados los tramos restantes.

Los datos para el diseño fueron obtenidos del informe técnico N°2 CVA N° 37-A, tales como Tráfico, suelos y datos climáticos.

#### **5.1.1. Tráfico:**

Para el tramo en estudio se utilizó la estación ACOMAYO, en el cual el conteo vehicular se realizó durante 7 días. En la tabla 21 se muestra el índice medio diario anual del tramo.

Tabla 21:  
Índice medio diario anual del tramo Acomayo-Sangarará

| Día  | Automóvil       | S. Wagon  | Camionetas  |   |   | Micro   | Omnibus   |   |  | Camión  |   |   |     |
|------|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|-----|
|      |                 |   | Pick Up   | Panel   | Rural   |   | 2E  | 3E  | 4E   | 2E  | 3E  | 4E  |     |
|      |                 |   |  |  |  |   |  |  |   |   |  |  |     |
| 2019 | Total vehículos | 120   | 38  | 52  | 1   | 103   | 74  | 29  | 6  | 0   | 19  | 9   | 4   |
| Día  | Total vehículos | Semitraylers  |   |   |   |   |   | Traylers  |  |   |   | Total de vehículos  |     |
|      |                 | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2   | 2T3  | 3T2   | >=3T3   |   |     |
|      |                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |     |
| 2019 | Total vehículos | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 455 |

Fuente: Informe técnico N°2 CVA N° 37-A

Se calculó el tráfico futuro hasta el año 2023, año en que debe ser puesta en operación la carretera. Se aplicó la siguiente fórmula.

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$$

Donde:

$T_n$  = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

$T_0$  = Tránsito actual (año base) en veh/día

n = año futuro de proyección

r = tasa anual de crecimiento de tránsito

La tasa anual de crecimiento para esta vía serán los siguientes:

Tabla22:

Tasa de crecimiento vehicular

| Tasa de crecimiento | %    |
|---------------------|------|
| Vehículos Pesados   | 3.53 |
| Vehículos Ligeros   | 1.25 |

Fuente: Informe técnico N°2 CVA N° 37-A

En este caso se calcula el tráfico futuro para todos los vehículos para el año 2023, ya que la vía tendrá un tiempo de ejecución de 4 años.



Tabla 23:  
Índice medio diario año 2023 (inicio de puesta en funcionamiento)

| Día  | Automóvil | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    | Camion |    |    |   |
|------|-----------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|--------|----|----|---|
|      |           |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E | 2E     | 3E | 4E |   |
| 2023 | Total     | 125      | 40         | 54    | 2     | 107   | 77      | 31 | 7  | 0      | 22 | 10 | 5 |

| Día  | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       | Total de vehículos |     |
|------|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|--------------------|-----|
|      | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |                    |     |
| 2023 | Total        | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     | 0                  | 480 |

Fuente: Informe técnico N°2 CVA N° 37-A

Se procedió a determinar los ejes equivalentes de los vehículos que pasan por la vía. En la siguiente tabla N°24 se puede observar las fórmulas para el cálculo de los ejes equivalentes para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos por tipo de eje.

Tabla 24:  
Relación de cargas por eje para determinar EE para pavimentos flexibles

| Tipo de eje   | Eje Equivalente (EE 8.2 ton) |
|---|------------------------------|
| Eje simple de ruedas simples (EEs1)                           | $EEs1=(P/6.6)^4$             |
| Eje simple de ruedas dobles (EEs2)                            | $EEs2=(P/8.2)^4$             |
| Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple)(EETA1)  | $EETA1=(P/14.8)^4$           |
| Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)                  | $EETA2=(P/15.1)^4$           |
| Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)(EETR1) | $EETR1=(P/20.7)^3.9$         |
| Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EETR2)                  | $EETR2=(P/21.8)^3.9$         |

P= peso real por eje en toneladas

Fuente Manual de carreteras, suelos, geología, geotécnica y pavimentos.

Se detallará como se calculó los ejes equivalentes de cada vehículo.

Tabla 25:  
Cálculo de EE para cada vehículo

| TIPO DE VEHICULO | IMDA   | TIPO   | NUMERO  | CARGA  | EE por | ΣEE     |
|------------------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
|                  | 2023   | EJE    | LLANTAS | EJE Tn | eje    | por eje |
| OMNIBUS          | 2E     | SIMPLE | 2       | 7      | 1.27   | 39.23   |
|                  |        | SIMPLE | 4       | 11     | 3.24   | 100.39  |
|                  | 3E     | SIMPLE | 2       | 7      | 1.27   | 8.86    |
|                  |        | TANDEM | 6       | 16     | 1.37   | 9.56    |
|                  | 4E     | TANDEM | 4       | 14     | 2.20   | 0.00    |
|                  | TANDEM | 6      | 16      | 1.37   | 0.00   |         |

Elaboración propia.

Para calcular el EE por eje, del OMNIBUS 2E, se utilizó las siguientes dos fórmulas obtenidas de la tabla 24.

Para el caso de eje simple con dos llantas = eje simple de ruedas simples:

$$EE=(P/6.6)^4$$

$$EE=(7/6.6)^4=1.265$$

Entonces la  $\sum EE$  por eje simple de ruedas simples para todos los Ómnibus 2E sería:

$$EE \text{ por eje x IMDA 2023} = 1.265 \times 31 = 39.266$$

Para el caso de eje simple con 4 llantas = eje simple de ruedas dobles:

$$EE=(P/8.2)^4=(11/8.2)^4=3.238$$

Entonces la  $\sum EE$  por eje simple de ruedas simples para todos los OMNIBUS 2E sería:

$$EE \text{ por eje x IMDA 2023} = 3.238 \times 31 = 100.387$$

En la N° 26 se observa lo explicado anteriormente para todos los vehículos.

Tabla 26:  
Tabla de cálculo de Ejes Equivalentes EE

| TIPO DE VEHÍCULO | IMDA<br>2023 | TIPO<br>EJE | NUMERO<br>LLANTAS | CARGA<br>EJE Tn | EE por<br>eje | ΣEE<br>por eje |        |
|------------------|--------------|-------------|-------------------|-----------------|---------------|----------------|--------|
| OMNIBUS          | 2E           | 31.00       | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 39.23  |
|                  |              | 31.00       | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 100.39 |
|                  | 3E           | 7.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 8.86   |
|                  |              | 7.00        | TANDEM            | 6               | 16            | 1.37           | 9.56   |
|                  | 4E           | 0.00        | TANDEM            | 4               | 14            | 2.20           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 6               | 16            | 1.37           | 0.00   |
| CAMIÓN           | 2E           | 22.00       | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 27.84  |
|                  |              | 22.00       | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 71.24  |
|                  | 3E           | 10.00       | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 12.65  |
|                  |              | 10.00       | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 20.19  |
|                  | 4E           | 5.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 6.33   |
|                  |              | 5.00        | TRIDEM            | 10              | 23            | 1.51           | 7.54   |
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  | 2S2          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  | 2S3          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TRIDEM            | 12              | 25            | 1.71           | 0.00   |
|                  | 3S1          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  | 3S2          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  | >=S3         | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TRIDEM            | 12              | 25            | 1.71           | 0.00   |
| TRAYLERS         | 2T2          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  | 2T3          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  | 3T2          | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  | >=3T3        | 0.00        | SIMPLE            | 2               | 7             | 1.27           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | TANDEM            | 8               | 18            | 2.02           | 0.00   |
|                  |              | 0.00        | SIMPLE            | 4               | 11            | 3.24           | 0.00   |
|                  | 0.00         | TANDEM      | 8                 | 18              | 2.02          | 0.00           |        |

Fuente propia.

De la tabla N° 26 se utilizó la sumatoria de EE vehículos pesados, ya que estos son los pesos más significativos.

$$(\Sigma EE) = 303.826$$

Luego es necesario calcular el Factor de crecimiento acumulado Fca de vehículos pesados con la siguiente formula:

$$Factor\ Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$

Donde:

Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados  $r = 3.53 \%$

Tiempo de vida útil de pavimento (años)  $n = 20$

$$Factor\ Fca = 28.37$$

Como últimos parámetros del estudio de tráfico es necesario la determinación del factor carril (Fc) que es expresado como una relación que corresponde al carril que recibe el mayor número de ejes equivalentes, donde el tránsito por dirección mayormente se canaliza por ese carril y el Factor de distribución dirección (Fd), que corresponde a una relación entre el número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, estos parámetros son generalmente determinados por el estudio del conteo de tráfico. (MTC, Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2014)

El tramo estudiado presenta 1 calzada, 2 sentidos y 2 carriles por sentido.

Según el informe técnico N°2 CVA N° 37-A, el tramo ACOMAYO – SANGARARÁ tiene:

Fd= 0.5 y Fc=1

Por consiguiente, FcxFd =0.50

Finalmente, con todo lo datos previamente calculados se determinó el número de ejes equivalentes al 2043 (ESAL de diseño) con la siguiente formula:

$$EE = 365 * (\Sigma f. IMDa) * Fd * Fc * Fca$$

$$EE = 365 * 303.826 * 0.50 * 28.37$$

$$EE = 1572903 = 1.57 E + 06$$

Se ha respetado el Fca del proyecto con fines académicos.

Suponiendo que los vehículos llevan carga total en un sentido y al 50% de carga en el otro sentido los ejes equivalentes son de 7.7E+05.

### 5.1.2. Suelos y clima

En este párrafo trataremos los factores de suelos, datos estadísticos de confiabilidad, servicialidad y clima.

#### A) CBR Y Módulo resiliente

La relación en entre el CBR y módulo resiliente se obtuvo la tabla 5, o aplicar la siguiente fórmula de correlación:

$$MR = 2555 \times CBR^{0.64}$$

Tabla 27:

CBR y Módulo Resiliente del tramo ACOMAYO - SANGARARÁ

|            | CBR%  | MR    |
|------------|-------|-------|
| Base       | 100   | 48685 |
| Subbase    | 40    | 27084 |
| Subrasante | 18.02 | 16258 |

Fuente: elaboración propia con datos del informe técnico N°2 CVA N° 37-A

#### B) Datos estadísticos y climáticos

##### Índice de Serviciabilidad

|                           |        |  |
|---------------------------|--------|--|
| PSIo =                    | 4.00   | (Según Tabla 8)  |
| PSIf =                    | 2.50   | (Según Tabla 9)  |
| $\Delta$ PSI =            | 1.50   |  |
| Confiabilidad, R=         | 85%    | (Según Tabla 6)  |
| Desv. Est. Normal, ZR =   | -1.036 | (Según Tabla 7)  |
| Error Estándar, So = 0.45 |        | (Según Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos) |
| Coeficiente de drenaje m: |        |  |
| Base: 1 y Subbase: 1      |        | (Según Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos) |

### 5.1.3. Cálculo de la estructura del pavimento

Se aplicó la fórmula de AASHTO 93.

$$\log_{10}(w18) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Se efectuaron los cálculos y el número estructural SN= 2.71

Se aplicaron los valores mínimos de espesores según la tabla 12 en la siguiente formula:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

D1= 9cm } valores mínimos indicados en la tabla 12  
 D2= 20cm }  
 D3= 15cm }

Los coeficientes de capas ai, según la tabla 11 son:

Tabla 28:  
 Coeficiente de capa ai

| Materiales        | Coef. Capa ai |
|-------------------|---------------|
| Carpeta Asfáltica | 0.170         |
| Base              | 0.052         |
| Subbase           | 0.047         |
| Subrasante        | --            |

Fuente: Manual de carreteras, suelos, geología, geotécnica y pavimentos.

Entonces SN= 3.28 >SN=2.71

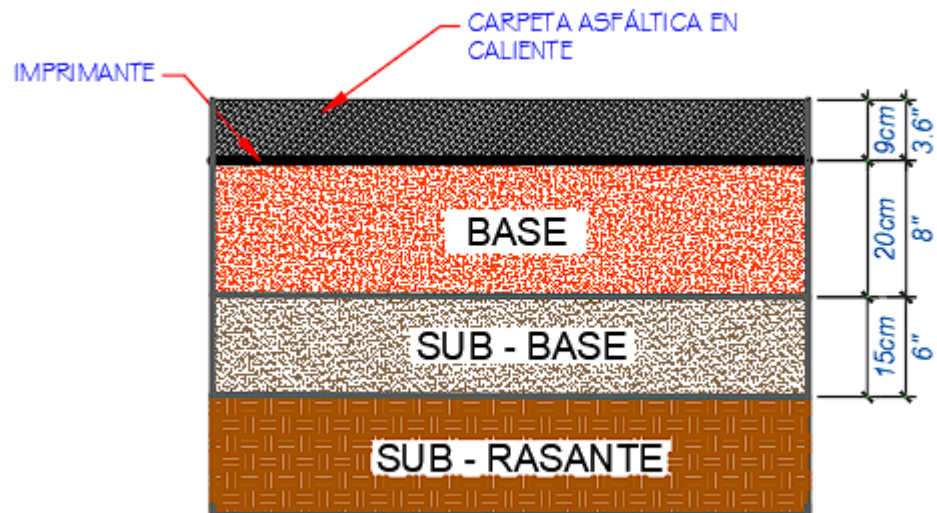


Figura 10: Capas del pavimento flexible del tramo ACOMAYO SANGARARÁ

Fuente propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados de los 10 tramos:

Tabla 29:  
Resultados del diseño AASHTO 93

| RUTA    | TRAMO                       | MÉTODOS        | C.A | BASE | SUBBASE |
|---------|-----------------------------|----------------|-----|------|---------|
| CU- 117 | ACOMAYO -SANGARARÁ          | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | EMP. PE-3S (CUSCO) - PARURO | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | SANGARARÁ - POMACANCHI      | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | POMACANCHI - CHUQUICAHUANA  | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | PARURO - DV.CUSIBAMBA       | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | CUSIBAMBA-ACCHA             | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | ACCHA-PILLPINTO             | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|         | ACOS- ACOMAYO               | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
| CU- 124 | PITUMARCA-DV. AUSANGATE     | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 20      |
| PE-5N   | CALZADA - SORITOR           | AASHTO 93 (cm) | 10  | 25   | 15      |

Fuente Propia

## 5.2. Método AASHTO 2015

El diseño de pavimentos AASHTO 2015, se detalló para el tramo ACOMAYO – SANGARÁ del corredor vial 37: Cuzco II Ubicada en el departamento de Cuzco.

Todos los datos para el estudio de la carretera fueron obtenidos del informe técnico N°2 CVA N° 37-A.

### 5.2.1. Clima:

Para el tramo en estudio se utilizó los datos climáticos obtenidos del Aeropuerto Alejandro Velasco Astete, se recolectó data de 2 años como requiere el diseño mecanístico-empírico. Este diseño solicita datos horarios diarios como: Temperatura, Precipitación, Velocidad de Viento, Nubosidad y Nivel. Prof. Freática. En el siguiente cuadro se observa los datos de entrada y la fuente de donde se obtuvieron.

Tabla 30:  
Datos de entrada y la fuente necesarios para aplicar el diseño mecanístico-empírico

| Dato de Entrada        | Fuente  |
|------------------------|---|
| Temperatura            | OGIMET ( <a href="http://www.ogimet.com/metars.phtml">http://www.ogimet.com/metars.phtml</a> )      |
| Velocidad del Viento   | OGIMET ( <a href="http://www.ogimet.com/metars.phtml">http://www.ogimet.com/metars.phtml</a> )      |
| Nubosidad              | OGIMET ( <a href="http://www.ogimet.com/metars.phtml">http://www.ogimet.com/metars.phtml</a> )      |
| Precipitacion          | OGIMET ( <a href="http://www.ogimet.com/metars.phtml">http://www.ogimet.com/metars.phtml</a> )      |
| Humedad Relativa       | Weather Atlas ( <a href="https://www.weather-atlas.com/es/">https://www.weather-atlas.com/es/</a> ) |
| Prof. Nivel Freatico   | Expediente Tecnico  |
| Salida y Puesta de Sol | <a href="https://www.sunrise-and-sunset.com/es/sun/">https://www.sunrise-and-sunset.com/es/sun/</a> |
| Radiacion Solar Maxima | SENAMHI (Atlas de Energia Solar del Peru)   |

Fuente: Elaboración propia

En el Perú no contamos con datos meteorológicos por lo que se tiene que recurrir a la data de los aeropuertos más cercanos generando una distorsión. Luego de recolectar la data para el uso del diseño mecanístico-empírico. Se procedió a ordenarla y procesarla según el formato requerido en el software Microsoft Excel. El diseño mecanístico-empírico AASHTO 2015 determina los datos de entrada en el sistema de unidades inglés. Por lo tanto, se tuvo que cambiar de unidades a los datos de entrada para que satisfaga el proceso de diseño requerido. En la siguiente figura, se aprecia como es el formato de ordenamiento y procesamiento en el software para luego ser extraído.

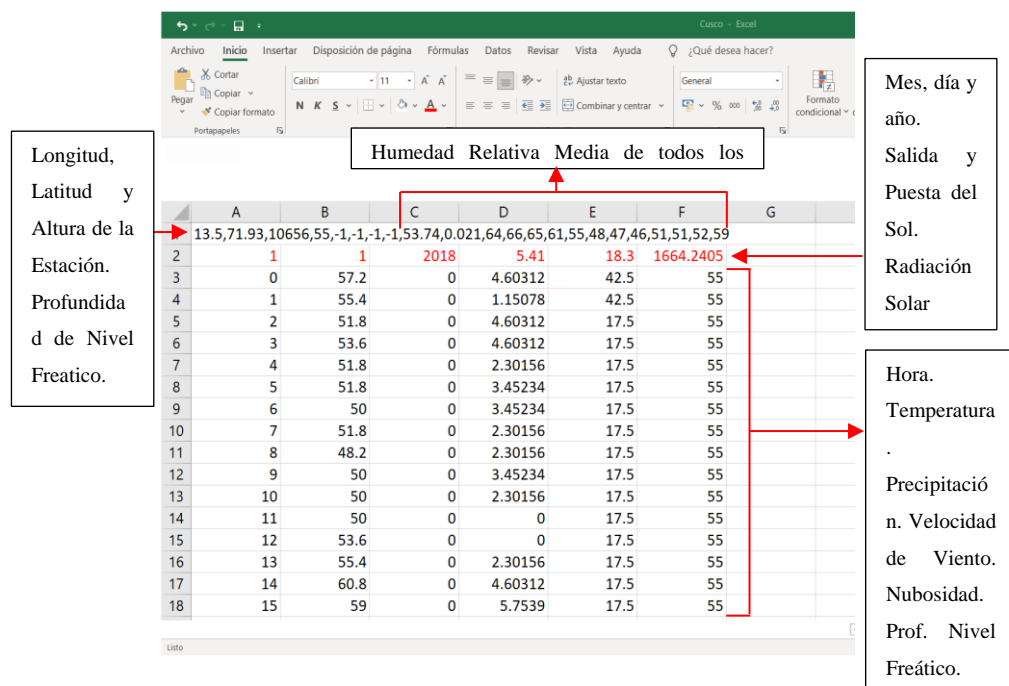


Figura 11: Formato de datos climatológicos para el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015  
Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizar todo el orden y procesamiento en Microsoft Excel, se extrajeron los datos climatológicos a un Block de Notas. Asimismo, se colocaron los datos informativos como se aprecia en la siguiente figura en las primeras 7 filas.



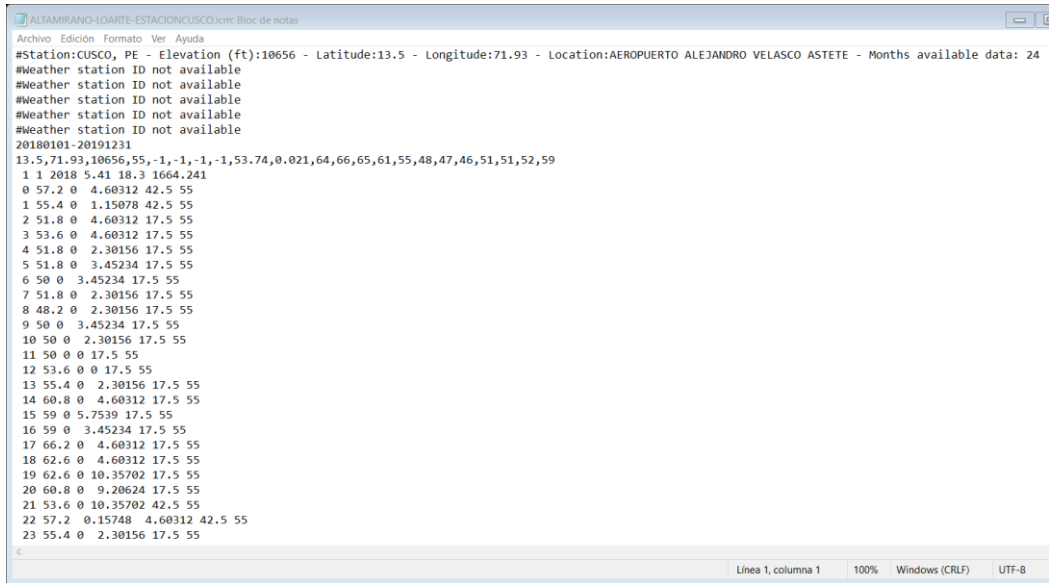


Figura 12: Block de Notas de datos climáticos requeridos para el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se guardó el block de notas en formato. icm para luego ser importado al software AASHTOWare PMED.

En las siguientes figuras, se aprecia el resumen climatológico de la estación del pavimento a diseñar; datos de entrada como: longitud, latitud, elevación, temperatura anual del aire, precipitación anual, número de días lluviosos, días bajo cero, promedio anual de días congelados y las temperaturas promedio mensuales.

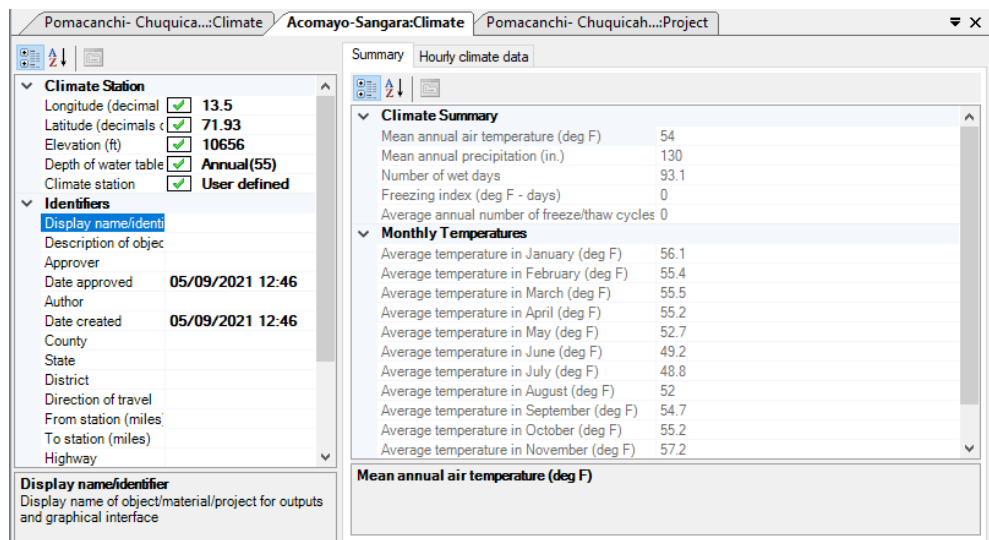


Figura 13: Resumen del clima en el software AASHTOWARE Pavement ME Design.

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

En la siguiente figura, se aprecia la data horaria climática de la estación. Los datos de entrada se muestran en el software son: temperatura, velocidad del viento, brillo solar, precipitación, humedad y nivel freático.

The screenshot shows the 'Hourly climate data' window in AASHTOWARE Pavement ME Design. The left sidebar displays station properties:

- Climate Station:** Longitude (decimal) 13.5, Latitude (decimals) 71.93, Elevation (ft) 10656, Depth of water table Annual(55), Climate station User defined.
- Identifiers:** Display name/identi, Description of objec, Approver, Date approved 05/09/2021 12:46, Author, Date created 05/09/2021 12:46, County, State, District, Direction of travel, From station (miles), To station (miles), Highway.
- Display name/identifier:** Display name of object/material/project for outputs and graphical interface.

The main data table shows hourly climate data for the period from Enero /2018 to Diciembre /2019. The columns are: Date/Hour, Temperature (deg F), Wind Speed (mph), Sunshine (%), Precipitation (in.), Humidity (%), and Water Table (ft).

| Date/Hour    | Temperature (deg F) | Wind Speed (mph) | Sunshine (%) | Precipitation (in.) | Humidity (%) | Water Table (ft) |
|--------------|---------------------|------------------|--------------|---------------------|--------------|------------------|
| 01/01/201... | 57.2                | 4.60312          | 60           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 55.4                | 1.15078          | 60           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 51.8                | 4.60312          | 60           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 53.6                | 4.60312          | 70           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 51.8                | 2.30156          | 70           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 51.8                | 3.45234          | 80           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 50                  | 3.45234          | 80           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 51.8                | 2.30156          | 80           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 48.2                | 2.30156          | 90           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 50                  | 3.45234          | 90           | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 50                  | 2.30156          | 100          | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 50                  | 0                | 100          | 0                   | 64           | 55               |
| 01/01/201... | 53.6                | 0                | 100          | 0                   | 64           | 55               |

An 'Error List' window is visible at the bottom, with columns for Project, Object, Property, and Description.

Figura 14: Data horaria climática en el software AASHTOWARE Pavement ME Design  
Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

### 5.2.2. Tráfico:

Para el tramo se utilizó el conteo vehicular del informe técnico N°2 CVA N° 37-A, luego se analizó y se redistribuyó la cantidad de vehículos según el modelo FHWA, el cual el diseño AASHTO 2015 sigue. Como se aprecia en la siguiente tabla, el modelo AASHTO 2015 solo toma en cuenta los camiones; es decir, de la clase 4 a la clase 13 de la clasificación según FHWA.

Tabla 31:  
 Conteo vehicular según norma MTC y FHWA

| Según MTC    |             | Según FHWA |          |
|--------------|-------------|------------|----------|
| Auto         | 125         | Clase 4    | 40       |
| S.Wagon      | 40          |            |          |
| Camionetas   | Pickup      | 54         | Clase 5  |
|              | Panel       | 2          | 22       |
|              | Rural Combi | 107        | Clase 6  |
|              |             |            | 10       |
| Micro        | 77          |            |          |
|              |             | Clase 7    | 5        |
| Bus          | 2E          | 33         |          |
|              | 3E          | 7          | Clase 8  |
|              | 2E          | 22         | 0        |
| Camion       | 3E          | 10         | Clase 9  |
|              | 4E          | 5          | 0        |
|              | 2S1/2S2     | 0          | Clase 10 |
| Semi Trayler | 2S3         | 0          | 0        |
|              | 3S1/3S2     | 0          | Clase 11 |
|              | >=3S2       | 0          | 0        |
| Trayler      | 2T2         | 0          | Clase 12 |
|              | 2T3         | 0          | 0        |
|              | 3T2         | 0          | Clase 13 |
|              | 3T3         | 0          | 0        |

Fuente: Elaboración propia

El tramo a analizar posee 2 carriles de diseño. Asimismo, se le asignó 50% al porcentaje de camiones en la dirección de diseño y 90% al porcentaje de camiones en el carril de diseño. La velocidad operacional a escoger se asignó según el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018. La siguiente figura nos muestra la velocidad de diseño permitida para cada tipo de carretera y según su orografía. La velocidad operacional a escoger es de 70km/h (43.50 mph) según la Figura 15.

| CLASIFICACIÓN                     | OROGRAFÍA   | VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h) |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|-----------------------------------|-------------|--|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|--|
|                                   |             | 30   | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |  |  |
| <b>Autopista de primera clase</b> | Plano       |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Ondulado    |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Accidentado |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Escarpado   |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
| <b>Autopista de segunda clase</b> | Plano       |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Ondulado    |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Accidentado |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Escarpado   |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
| <b>Carretera de primera clase</b> | Plano       |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Ondulado    |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Accidentado |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Escarpado   |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
| <b>Carretera de segunda clase</b> | Plano       |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Ondulado    |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Accidentado |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Escarpado   |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
| <b>Carretera de tercera clase</b> | Plano       |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Ondulado    |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Accidentado |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |
|                                   | Escarpado   |  |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |  |  |

Figura 15: Rangos de Velocidad de Diseño en función a la clasificación de la carretera por demanda y orografía.

Fuente: Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

Asimismo, el AASHTO 2015 considera diversos parámetros relacionados con la configuración de los ejes, el zigzag lateral y el espaciamiento entre ruedas. Este sugiere valores estándar para los datos como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 32:

Valores sugeridos por AASHTO 2015 para el tráfico

| Dato                                    | Valor   |
|---|---------|
| Ancho de Ejes Promedio                  | 8.5 ft  |
| Distancia entre Ejes Promedio           | 12 in   |
| Presion del Neumatico                   | 120 psi |
| Separacion Eje Tandem                   | 51.6 in |
| Separacion Eje Tridem                   | 49.2 in |
| Separacion Eje Quad                     | 49.2 in |
| Ubicación Promedio de la Rueda          | 18 in   |
| Zigzag lateral de las Cargas por Eje    | 10 in   |
| Ancho del Carril del Diseño             | 12 ft   |
| Espaciamiento Promedio para Ejes Cortos | 12 ft   |
| Espaciamiento Promedio para Ejes Medios | 15 ft   |
| Espaciamiento Promedio para Ejes Largos | 18 ft   |
| Porcentaje de camiones con Ejes Cortos  | 33%     |
| Porcentaje de camiones con Ejes Medios  | 33%     |
| Porcentaje de camiones con Ejes Largos  | 34%     |

Fuente: Elaboración propia

Para realizar el espectro de carga se utilizó datos de nivel de entrada 3, es decir nivel regional. Se utilizó data de la estación de pesaje Serpentín de Pasamayo. Vivanco, E (2016), registró la data en las cargas por eje de los vehículos transitados en el año 2013 en el serpentín de Pasamayo, y que nos sirve para realizar el espectro de cargas al considerar el pesaje de los ejes de cada camión.

Luego ordenar la data y realizar una distribución de carga por eje para cada clase de camión según la FHWA. En la siguiente tabla se puede apreciar la carga por eje simple para cada tipo de vehículo según FHWA.

Tabla 33:  
Carga por eje Simple para cada tipo de vehículo según la clasificación FHWA

| Carga por Eje Simple (ton) | Espectro de carga (%) |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
|----------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
|                            | Clasificación FHWA    |       |       |       |       |       |       |      |       |       |
|                            | 4                     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11   | 12    | 13    |
| 0,00-1,35                  | 0.1%                  | 0.8%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.3%  | 0.5%  | 0.0%  | 0.2% | 0.2%  | 0.0%  |
| 1,35-1,80                  | 0.0%                  | 0.4%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.2%  | 0.0%  | 0.0% | 0.1%  | 0.0%  |
| 1,80-2,25                  | 0.0%                  | 0.9%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.1%  | 0.3%  | 0.0%  | 0.2% | 0.1%  | 0.0%  |
| 2,25-2,70                  | 0.1%                  | 1.8%  | 0.3%  | 0.1%  | 0.2%  | 0.6%  | 0.0%  | 1.0% | 0.7%  | 2.9%  |
| 2,70-3,15                  | 0.1%                  | 2.2%  | 0.8%  | 0.3%  | 0.3%  | 0.6%  | 0.1%  | 1.2% | 0.7%  | 0.0%  |
| 3,15-3,60                  | 0.1%                  | 3.4%  | 2.1%  | 0.5%  | 1.0%  | 0.8%  | 0.1%  | 1.0% | 0.4%  | 0.0%  |
| 3,60-4,05                  | 0.2%                  | 6.4%  | 4.7%  | 1.0%  | 1.8%  | 3.5%  | 1.1%  | 0.8% | 0.3%  | 2.9%  |
| 4,05-4,50                  | 0.2%                  | 10.6% | 8.0%  | 1.1%  | 2.6%  | 7.6%  | 11.4% | 1.2% | 0.9%  | 13.5% |
| 4,50-4,95                  | 0.5%                  | 10.4% | 10.0% | 1.5%  | 3.7%  | 10.4% | 21.7% | 1.2% | 1.3%  | 10.8% |
| 4,95-5,40                  | 0.6%                  | 6.7%  | 11.2% | 2.3%  | 4.9%  | 10.7% | 28.0% | 2.2% | 2.3%  | 2.9%  |
| 5,40-5,85                  | 1.1%                  | 4.3%  | 10.1% | 4.0%  | 10.5% | 7.7%  | 13.7% | 4.0% | 4.3%  | 0.0%  |
| 5,85-6,30                  | 2.5%                  | 2.4%  | 9.2%  | 7.2%  | 6.4%  | 3.9%  | 4.7%  | 4.4% | 6.8%  | 10.7% |
| 6,30-6,75                  | 6.2%                  | 1.3%  | 9.1%  | 9.6%  | 5.6%  | 5.5%  | 9.2%  | 7.6% | 10.4% | 2.7%  |
| 6,75-7,20                  | 14.6%                 | 0.7%  | 8.5%  | 12.1% | 4.6%  | 4.1%  | 8.0%  | 7.0% | 9.6%  | 8.0%  |
| 7,20-7,65                  | 32.6%                 | 0.7%  | 11.2% | 16.7% | 3.5%  | 2.3%  | 1.7%  | 7.4% | 14.2% | 8.0%  |
| 7,65-8,10                  | 20.5%                 | 0.7%  | 8.8%  | 17.5% | 3.2%  | 0.8%  | 0.2%  | 6.5% | 9.4%  | 5.4%  |
| 8,10-8,55                  | 4.6%                  | 0.8%  | 3.6%  | 13.6% | 3.7%  | 0.9%  | 0.0%  | 5.4% | 5.9%  | 10.6% |
| 8,55-9,00                  | 2.1%                  | 0.8%  | 1.4%  | 7.0%  | 5.2%  | 1.3%  | 0.0%  | 5.7% | 5.9%  | 2.7%  |
| 9,00-9,45                  | 1.9%                  | 1.0%  | 0.7%  | 3.2%  | 5.2%  | 1.8%  | 0.0%  | 5.0% | 6.6%  | 5.4%  |
| 9,45-9,90                  | 1.9%                  | 1.0%  | 0.2%  | 1.3%  | 5.7%  | 2.3%  | 0.0%  | 5.0% | 6.5%  | 2.7%  |
| 9,90-10,35                 | 1.5%                  | 1.3%  | 0.1%  | 0.6%  | 4.4%  | 3.1%  | 0.0%  | 6.2% | 5.5%  | 0.0%  |
| 10,35-10,80                | 1.4%                  | 1.8%  | 0.0%  | 0.2%  | 3.6%  | 4.8%  | 0.0%  | 8.2% | 4.2%  | 0.0%  |
| 10,80-11,25                | 2.0%                  | 3.5%  | 0.0%  | 0.1%  | 3.0%  | 5.5%  | 0.0%  | 7.5% | 2.1%  | 0.0%  |
| 11,25-11,70                | 2.7%                  | 6.8%  | 0.0%  | 0.0%  | 4.7%  | 5.5%  | 0.0%  | 5.7% | 1.0%  | 0.0%  |
| 11,70-12,15                | 1.3%                  | 8.9%  | 0.0%  | 0.0%  | 5.5%  | 4.7%  | 0.0%  | 2.7% | 0.4%  | 5.4%  |
| 12,15-12,60                | 0.6%                  | 8.8%  | 0.0%  | 0.0%  | 4.6%  | 2.1%  | 0.0%  | 1.3% | 0.1%  | 2.7%  |
| 12,60-13,05                | 0.2%                  | 5.9%  | 0.0%  | 0.0%  | 2.4%  | 1.6%  | 0.0%  | 0.6% | 0.0%  | 0.0%  |
| 13,05-13,50                | 0.1%                  | 3.2%  | 0.0%  | 0.0%  | 1.3%  | 1.3%  | 0.0%  | 0.3% | 0.0%  | 0.0%  |
| 13,50-13,95                | 0.2%                  | 1.7%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.9%  | 1.2%  | 0.0%  | 0.1% | 0.0%  | 0.0%  |
| 13,95-14,40                | 0.1%                  | 0.6%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.5%  | 0.9%  | 0.0%  | 0.1% | 0.0%  | 2.7%  |
| 14,40-14,85                | 0.0%                  | 0.2%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.3%  | 0.7%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 14,85-15,30                | 0.0%                  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.6%  | 0.0%  | 0.1% | 0.0%  | 0.0%  |
| 15,30-15,75                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.6%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 15,75-16,20                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.6%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 16,20-16,65                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.4%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 16,65-17,10                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.3%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 17,10-17,55                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 17,55-18,00                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |
| 18,00-18,45                | 0.0%                  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0% | 0.0%  | 0.0%  |

Fuente: Vivanco. E. (2016)

En la siguiente tabla se aprecia la carga por eje tándem para cada tipo de vehículo según FHWA.

Tabla 34:  
Carga por eje Tándem para cada tipo de vehículo según la clasificación FHWA

| Carga por Eje<br>Tandem (ton) | Espectro de carga (%) |   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | Clasificación FHWA    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                               | 4                     | 5 | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    |
| 0,00-2,70                     | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 2,70-3,60                     | 0.0%                  | - | 0.1%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  |
| 3,60-4,50                     | 0.0%                  | - | 0.2%  | 0.0%  | 0.9%  | 0.2%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.3%  | 2.6%  |
| 4,50-5,40                     | 0.0%                  | - | 0.1%  | 0.0%  | 1.8%  | 2.5%  | 0.0%  | 0.3%  | 0.4%  | 0.0%  |
| 5,40-6,30                     | 0.0%                  | - | 0.3%  | 0.0%  | 4.0%  | 7.0%  | 0.3%  | 0.3%  | 0.3%  | 2.6%  |
| 6,30-7,20                     | 0.0%                  | - | 0.3%  | 0.3%  | 2.2%  | 3.5%  | 0.4%  | 0.9%  | 0.5%  | 5.1%  |
| 7,20-8,10                     | 0.1%                  | - | 0.4%  | 0.3%  | 1.6%  | 1.5%  | 0.2%  | 0.5%  | 0.5%  | 0.0%  |
| 8,10-9,00                     | 0.6%                  | - | 0.4%  | 2.3%  | 2.4%  | 1.0%  | 0.2%  | 0.1%  | 1.1%  | 5.1%  |
| 9,00-9,90                     | 3.5%                  | - | 0.6%  | 10.3% | 1.9%  | 1.0%  | 0.2%  | 0.3%  | 2.7%  | 2.6%  |
| 9,90-10,8                     | 6.0%                  | - | 1.1%  | 15.2% | 1.8%  | 1.3%  | 0.3%  | 0.2%  | 3.1%  | 2.6%  |
| 10,80-11,70                   | 3.5%                  | - | 1.4%  | 13.5% | 2.5%  | 1.6%  | 0.4%  | 0.5%  | 4.3%  | 15.4% |
| 11,70-12,60                   | 1.2%                  | - | 2.2%  | 4.0%  | 3.3%  | 2.4%  | 0.8%  | 0.9%  | 7.4%  | 12.8% |
| 12,60-13,50                   | 3.7%                  | - | 3.0%  | 2.0%  | 5.1%  | 3.1%  | 1.4%  | 2.2%  | 11.3% | 7.7%  |
| 13,50-14,40                   | 11.4%                 | - | 4.6%  | 4.9%  | 3.8%  | 4.3%  | 2.9%  | 3.2%  | 10.3% | 2.6%  |
| 14,40-15,30                   | 20.5%                 | - | 6.7%  | 6.0%  | 5.8%  | 5.2%  | 4.9%  | 5.1%  | 6.8%  | 0.0%  |
| 15,30-16,20                   | 24.2%                 | - | 11.3% | 6.9%  | 7.5%  | 5.7%  | 7.6%  | 13.1% | 10.4% | 5.1%  |
| 16,20-17,10                   | 19.2%                 | - | 13.9% | 14.0% | 9.7%  | 6.0%  | 10.3% | 18.3% | 9.0%  | 7.7%  |
| 17,10-18,00                   | 5.1%                  | - | 14.0% | 10.0% | 12.1% | 8.3%  | 12.5% | 20.0% | 9.8%  | 10.3% |
| 18,00-18,90                   | 1.0%                  | - | 18.1% | 2.0%  | 13.8% | 11.8% | 16.4% | 22.6% | 12.2% | 15.4% |
| 18,90-19,80                   | 0.1%                  | - | 12.9% | 2.0%  | 9.2%  | 13.4% | 19.7% | 7.3%  | 6.5%  | 0.0%  |
| 19,80-20,70                   | 0.0%                  | - | 5.7%  | 3.4%  | 5.8%  | 10.9% | 12.9% | 2.0%  | 1.9%  | 2.6%  |
| 20,70-21,60                   | 0.0%                  | - | 1.8%  | 1.1%  | 2.9%  | 5.3%  | 5.8%  | 1.1%  | 0.5%  | 0.0%  |
| 21,60-22,50                   | 0.0%                  | - | 0.6%  | 0.0%  | 1.1%  | 2.5%  | 2.1%  | 0.5%  | 0.2%  | 0.0%  |
| 22,50-23,40                   | 0.0%                  | - | 0.2%  | 0.3%  | 0.3%  | 0.8%  | 0.5%  | 0.2%  | 0.1%  | 0.0%  |
| 23,40-24,30                   | 0.0%                  | - | 0.1%  | 1.1%  | 0.2%  | 0.4%  | 0.1%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 24,30-25,20                   | 0.0%                  | - | 0.1%  | 0.3%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 25,20-26,10                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.1%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 26,10-27,00                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 27,00-27,90                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 27,90-28,80                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 28,80-29,70                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 29,70-30,60                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 30,60-31,50                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 31,50-32,40                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 32,40-33,30                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 33,30-34,20                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 34,20-35,10                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 35,10-36,00                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |
| 36,00-36,90                   | 0.0%                  | - | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  | 0.0%  |

Fuente: Vivanco. E. (2016)

En la siguiente tabla se aprecia la carga por eje trídem para cada tipo de vehículo según FHWA.

Tabla 35:  
Carga por eje Trídem para cada tipo de vehículo según la clasificación FHWA

| Carga por Eje<br>Tridem (ton) | Espectro de carga (%) |   |   |       |   |       |       |    |       |       |
|-------------------------------|-----------------------|---|---|-------|---|-------|-------|----|-------|-------|
|                               | Clasificación FHWA    |   |   |       |   |       |       |    |       |       |
|                               | 4                     | 5 | 6 | 7     | 8 | 9     | 10    | 11 | 12    | 13    |
| 0,00-5,40                     | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.5%  | 0.2%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 5,40-6,75                     | -                     | - | - | 0.0%  | - | 1.9%  | 0.5%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 6,75-8,10                     | -                     | - | - | 0.1%  | - | 2.5%  | 0.4%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 8,10-9,45                     | -                     | - | - | 0.4%  | - | 1.6%  | 0.2%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 9,45-10,80                    | -                     | - | - | 0.7%  | - | 1.3%  | 0.2%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 10,80-12,15                   | -                     | - | - | 0.5%  | - | 2.3%  | 0.3%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 12,15-13,50                   | -                     | - | - | 0.7%  | - | 3.1%  | 0.3%  | -  | 2.1%  | 0.0%  |
| 13,50-14,85                   | -                     | - | - | 1.2%  | - | 2.9%  | 0.4%  | -  | 0.9%  | 0.0%  |
| 14,85-16,20                   | -                     | - | - | 2.1%  | - | 3.6%  | 0.6%  | -  | 1.9%  | 0.0%  |
| 16,20-17,55                   | -                     | - | - | 3.3%  | - | 5.0%  | 0.9%  | -  | 6.4%  | 25.0% |
| 17,55-18,90                   | -                     | - | - | 4.1%  | - | 6.3%  | 1.6%  | -  | 20.6% | 8.3%  |
| 18,90-20,25                   | -                     | - | - | 6.7%  | - | 10.7% | 4.1%  | -  | 29.9% | 16.7% |
| 20,25-21,60                   | -                     | - | - | 15.0% | - | 18.7% | 11.8% | -  | 25.5% | 25.0% |
| 21,60-22,95                   | -                     | - | - | 26.3% | - | 16.2% | 21.7% | -  | 9.4%  | 16.7% |
| 22,95-24,30                   | -                     | - | - | 26.2% | - | 13.9% | 19.4% | -  | 2.9%  | 8.3%  |
| 24,30-25,65                   | -                     | - | - | 10.6% | - | 8.0%  | 14.4% | -  | 0.4%  | 0.0%  |
| 25,65-27,00                   | -                     | - | - | 2.0%  | - | 1.0%  | 9.6%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 27,00-28,35                   | -                     | - | - | 0.1%  | - | 0.3%  | 4.9%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 28,35-29,70                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.1%  | 3.5%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 29,70-31,05                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.1%  | 3.2%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 31,05-32,40                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 1.3%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 32,40-33,75                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.4%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 33,75-35,10                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.1%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 35,10-36,45                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 36,45-37,80                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 37,80-39,15                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 39,15-40,50                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 40,50-41,85                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 41,85-43,20                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 43,20-44,55                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 44,55-45,90                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |
| 45,90-47,25                   | -                     | - | - | 0.0%  | - | 0.0%  | 0.0%  | -  | 0.0%  | 0.0%  |

Fuente: Vivanco. E. (2016)

La carga por eje Quad no se realizó ya que ningún vehículo con normativa peruana posee ese tipo de distribución de eje.

Luego de realizar el procesamiento de data se procedió a exportar al software AASHTOWARE Pavement ME Design. Como se aprecia en la siguiente figura, los valores recolectados y los valores estándar se colocan dentro de cada casilla para el diseño correspondiente.

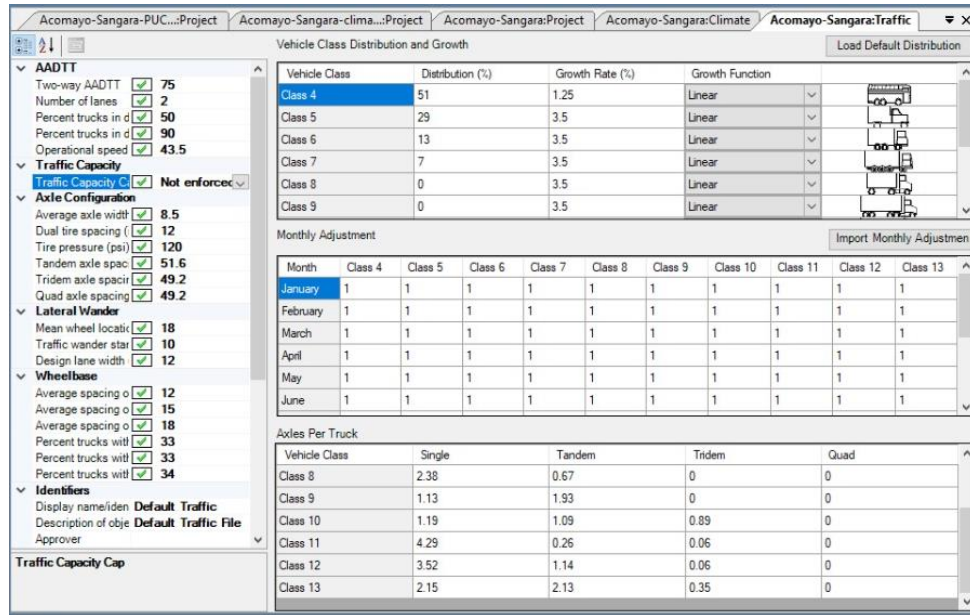


Figura 16: Datos de entrada del tránsito en el software AASHTOWARE Pavement ME Design  
Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

Asimismo, se importó el espectro de carga de nivel 3 al software AASHTOWARE Pavement ME Design. La siguiente figura muestra en espectro de carga para eje simple para todos los tipos camiones.

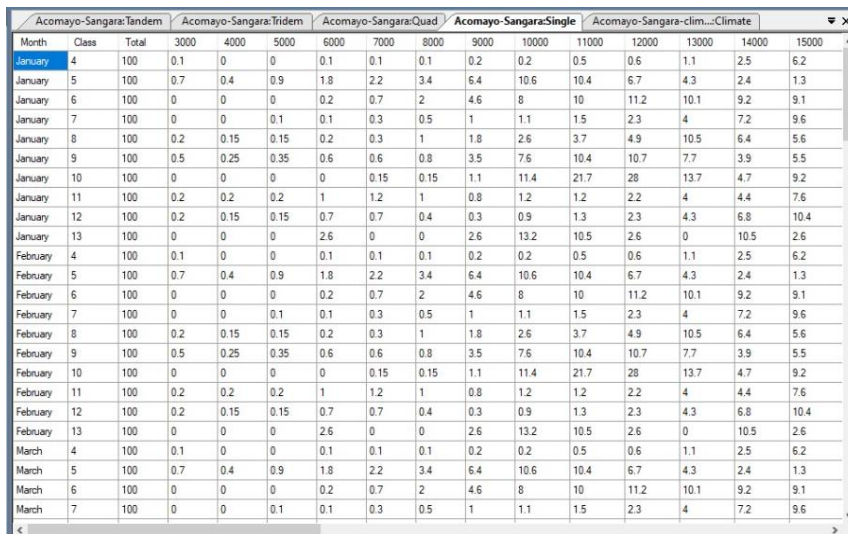


Figura 17: Espectro de carga de eje simple en el software AASHTOWARE Pavement ME Design  
Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



En la siguiente figura, se aprecia el espectro de carga para eje tándem para todos los tipos de camiones.

| Acomayo-Sangara-Tandem |       |       | Acomayo-Sangara-clim...Climate |      |       |       | Acomayo-Sangara-clima ica:Traffic |       |       |       | Acomayo-Sangara-PUC...Project |       |       |       |      |
|------------------------|-------|-------|--------------------------------|------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|------|
| Month                  | Class | Total | 6000                           | 8000 | 10000 | 12000 | 14000                             | 16000 | 18000 | 20000 | 22000                         | 24000 | 26000 | 28000 | 3000 |
| January                | 4     | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0                                 | 0     | 0     | 0.6   | 3.5                           | 6     | 3.5   | 1.2   | 3.7  |
| January                | 5     | 100   | 0                              | 0    | 0.2   | 0.1   | 0.3                               | 0.3   | 0.4   | 0.4   | 0.6                           | 1.1   | 1.4   | 2.2   | 3    |
| January                | 6     | 100   | 0                              | 0    | 0.2   | 0.1   | 0.3                               | 0.3   | 0.4   | 0.4   | 0.6                           | 1.1   | 1.4   | 2.2   | 3    |
| January                | 7     | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0.1                               | 0.3   | 0.3   | 2.3   | 10.3                          | 15.2  | 13.5  | 4     | 2    |
| January                | 8     | 100   | 0.2                            | 0.1  | 0.9   | 1.8   | 4                                 | 2.2   | 1.6   | 2.4   | 1.9                           | 1.8   | 2.5   | 3.3   | 5.1  |
| January                | 9     | 100   | 0.1                            | 0    | 0.2   | 2.5   | 7                                 | 3.5   | 1.5   | 1     | 1                             | 1.3   | 1.6   | 2.4   | 3.1  |
| January                | 10    | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0.4                               | 0.4   | 0.2   | 0.2   | 0.2                           | 0.3   | 0.4   | 0.8   | 1.4  |
| January                | 11    | 100   | 0.1                            | 0.3  | 0.1   | 0.3   | 0.3                               | 0.9   | 0.5   | 0.1   | 0.3                           | 0.2   | 0.5   | 0.9   | 2.2  |
| January                | 12    | 100   | 0                              | 0.3  | 0.3   | 0.4   | 0.3                               | 0.5   | 0.5   | 1.1   | 2.7                           | 3.1   | 4.3   | 7.4   | 11.3 |
| January                | 13    | 100   | 0                              | 0    | 2.4   | 0     | 2.6                               | 5.1   | 0     | 5.1   | 2.6                           | 2.6   | 15.4  | 12.8  | 7.7  |
| February               | 4     | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0                                 | 0     | 0     | 0.6   | 3.5                           | 6     | 3.5   | 1.2   | 3.7  |
| February               | 5     | 100   | 0                              | 0    | 0.2   | 0.1   | 0.3                               | 0.3   | 0.4   | 0.4   | 0.6                           | 1.1   | 1.4   | 2.2   | 3    |
| February               | 6     | 100   | 0                              | 0    | 0.2   | 0.1   | 0.3                               | 0.3   | 0.4   | 0.4   | 0.6                           | 1.1   | 1.4   | 2.2   | 3    |
| February               | 7     | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0.1                               | 0.3   | 0.3   | 2.3   | 10.3                          | 15.2  | 13.5  | 4     | 2    |
| February               | 8     | 100   | 0.2                            | 0.1  | 0.9   | 1.8   | 4                                 | 2.2   | 1.6   | 2.4   | 1.9                           | 1.8   | 2.5   | 3.3   | 5.1  |
| February               | 9     | 100   | 0.1                            | 0    | 0.2   | 2.5   | 7                                 | 3.5   | 1.5   | 1     | 1                             | 1.3   | 1.6   | 2.4   | 3.1  |
| February               | 10    | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0.4                               | 0.4   | 0.2   | 0.2   | 0.2                           | 0.3   | 0.4   | 0.8   | 1.4  |
| February               | 11    | 100   | 0.1                            | 0.3  | 0.1   | 0.3   | 0.3                               | 0.9   | 0.5   | 0.1   | 0.3                           | 0.2   | 0.5   | 0.9   | 2.2  |
| February               | 12    | 100   | 0                              | 0.3  | 0.3   | 0.4   | 0.3                               | 0.5   | 0.5   | 1.1   | 2.7                           | 3.1   | 4.3   | 7.4   | 11.3 |
| February               | 13    | 100   | 0                              | 0    | 2.4   | 0     | 2.6                               | 5.1   | 0     | 5.1   | 2.6                           | 2.6   | 15.4  | 12.8  | 7.7  |
| March                  | 4     | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0                                 | 0     | 0     | 0.6   | 3.5                           | 6     | 3.5   | 1.2   | 3.7  |
| March                  | 5     | 100   | 0                              | 0    | 0.2   | 0.1   | 0.3                               | 0.3   | 0.4   | 0.4   | 0.6                           | 1.1   | 1.4   | 2.2   | 3    |
| March                  | 6     | 100   | 0                              | 0    | 0.2   | 0.1   | 0.3                               | 0.3   | 0.4   | 0.4   | 0.6                           | 1.1   | 1.4   | 2.2   | 3    |
| March                  | 7     | 100   | 0                              | 0    | 0     | 0     | 0.1                               | 0.3   | 0.3   | 2.3   | 10.3                          | 15.2  | 13.5  | 4     | 2    |

Figura 18: Espectro de carga de eje tándem en el software AASHTOWARE Pavement ME Design  
Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

En la siguiente figura, se aprecia al espectro de carga para eje trídem para todos los tipos de camiones.

| Acomayo-Sangara-Tandem |       |       | Acomayo-Sangara-Tridem |       |       |       | Acomayo-Sangara-clim...Climate |       |       |       | Acomayo-Sangara-clima ica:Traffic |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Month                  | Class | Total | 12000                  | 15000 | 18000 | 21000 | 24000                          | 27000 | 30000 | 33000 | 36000                             | 39000 | 42000 | 45000 | 48000 |
| January                | 4     | 100   | 66.67                  | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0                                 | 0     | 26.66 | 6.67  | 0     |
| January                | 5     | 100   | 48.28                  | 1.08  | 0.43  | 0.15  | 0.73                           | 3.13  | 3.83  | 0.7   | 15.59                             | 0.7   | 3.48  | 2.93  | 3.3   |
| January                | 6     | 100   | 29.51                  | 9.2   | 7.6   | 10.35 | 4.73                           | 3.55  | 6.27  | 4.18  | 2.11                              | 2.22  | 1.79  | 1.7   | 1.1   |
| January                | 7     | 100   | 0                      | 0     | 0.1   | 0.4   | 0.7                            | 0.5   | 0.7   | 1.2   | 2.1                               | 3.3   | 4.1   | 6.7   | 15    |
| January                | 8     | 100   | 20.89                  | 2.33  | 3.34  | 4.26  | 3.71                           | 4.32  | 5.24  | 4.89  | 3.91                              | 5     | 3.99  | 4.53  | 4.9   |
| January                | 9     | 100   | 0.8                    | 1.8   | 2.4   | 1.5   | 1.3                            | 2.3   | 3.1   | 2.9   | 3.6                               | 5     | 6.3   | 10.7  | 18    |
| January                | 10    | 100   | 1.2                    | 0.4   | 0.4   | 0.2   | 0.2                            | 0.3   | 0.3   | 0.4   | 0.6                               | 1.6   | 4.1   | 11.8  | 21    |
| January                | 11    | 100   | 23.31                  | 20.89 | 15.88 | 12    | 5.8                            | 2.61  | 2.08  | 2.06  | 2.94                              | 1.1   | 2.98  | 1.95  | 1.8   |
| January                | 12    | 100   | 0                      | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 2.1   | 0.9   | 1.9                               | 6.4   | 20.6  | 29.9  | 25    |
| January                | 13    | 100   | 0                      | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0                                 | 25    | 8.3   | 16.7  | 25    |
| February               | 4     | 100   | 66.67                  | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0                                 | 0     | 26.66 | 6.67  | 0     |
| February               | 5     | 100   | 48.28                  | 1.08  | 0.43  | 0.15  | 0.73                           | 3.13  | 3.83  | 0.7   | 15.59                             | 0.7   | 3.48  | 2.93  | 3.3   |
| February               | 6     | 100   | 29.51                  | 9.2   | 7.6   | 10.35 | 4.73                           | 3.55  | 6.27  | 4.18  | 2.11                              | 2.22  | 1.79  | 1.7   | 1.1   |
| February               | 7     | 100   | 0                      | 0     | 0.1   | 0.4   | 0.7                            | 0.5   | 0.7   | 1.2   | 2.1                               | 3.3   | 4.1   | 6.7   | 15    |
| February               | 8     | 100   | 20.89                  | 2.33  | 3.34  | 4.26  | 3.71                           | 4.32  | 5.24  | 4.89  | 3.91                              | 5     | 3.99  | 4.53  | 4.9   |
| February               | 9     | 100   | 0.8                    | 1.8   | 2.4   | 1.5   | 1.3                            | 2.3   | 3.1   | 2.9   | 3.6                               | 5     | 6.3   | 10.7  | 18    |
| February               | 10    | 100   | 1.2                    | 0.4   | 0.4   | 0.2   | 0.2                            | 0.3   | 0.3   | 0.4   | 0.6                               | 1.6   | 4.1   | 11.8  | 21    |
| February               | 11    | 100   | 23.31                  | 20.89 | 15.88 | 12    | 5.8                            | 2.61  | 2.08  | 2.06  | 2.94                              | 1.1   | 2.98  | 1.95  | 1.8   |
| February               | 12    | 100   | 0                      | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 2.1   | 0.9   | 1.9                               | 6.4   | 20.6  | 29.9  | 25    |
| February               | 13    | 100   | 0                      | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0                                 | 25    | 8.3   | 16.7  | 25    |
| March                  | 4     | 100   | 66.67                  | 0     | 0     | 0     | 0                              | 0     | 0     | 0     | 0                                 | 0     | 26.66 | 6.67  | 0     |
| March                  | 5     | 100   | 48.28                  | 1.08  | 0.43  | 0.15  | 0.73                           | 3.13  | 3.83  | 0.7   | 15.59                             | 0.7   | 3.48  | 2.93  | 3.3   |
| March                  | 6     | 100   | 29.51                  | 9.2   | 7.6   | 10.35 | 4.73                           | 3.55  | 6.27  | 4.18  | 2.11                              | 2.22  | 1.79  | 1.7   | 1.1   |
| March                  | 7     | 100   | 0                      | 0     | 0.1   | 0.4   | 0.7                            | 0.5   | 0.7   | 1.2   | 2.1                               | 3.3   | 4.1   | 6.7   | 15    |

Figura 19: Espectro de carga de eje trídem en el software AASHTOWARE Pavement ME Design  
Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

El espectro de carga para eje Quad no se configuró en el software AASHTOWARE Pavement ME Design.

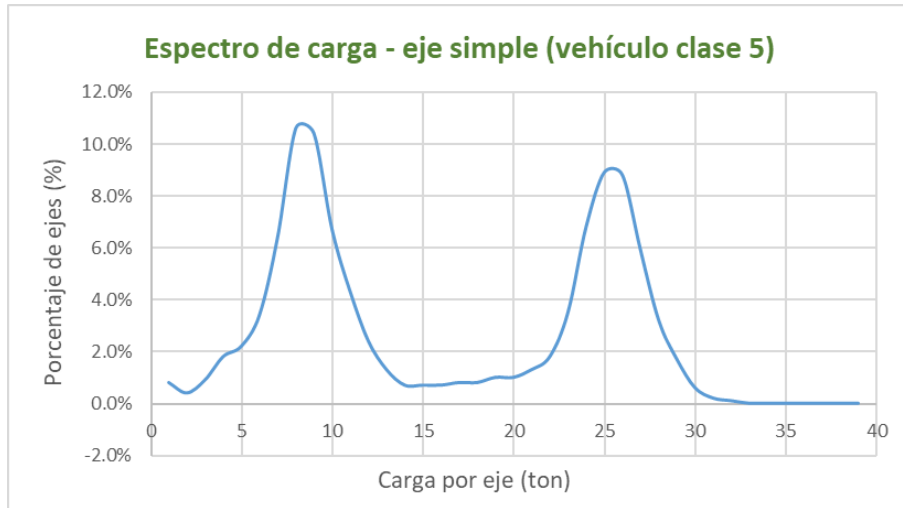


Figura 20: Espectro de Carga, eje simple para vehículo clase 5

Fuente: propia

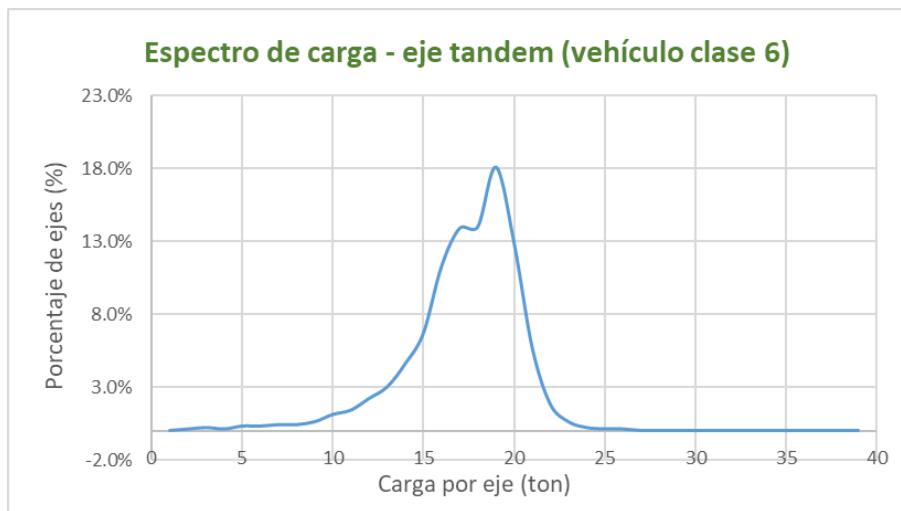


Figura 21: Espectro de Carga, eje simple para vehículo clase 5

Fuente: propia

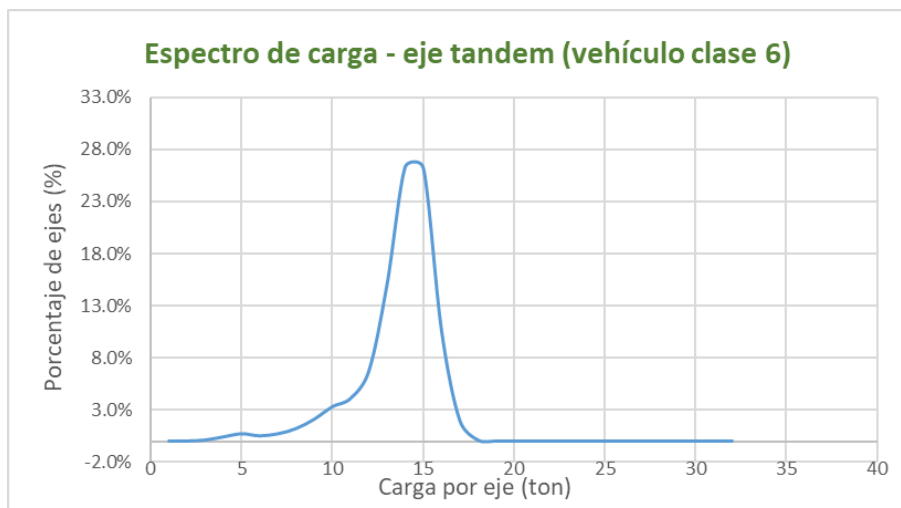


Figura 22: Espectro de Carga, eje simple para vehículo clase 5

Fuente: propia

### 5.2.3. Materiales:

Para realizar el diseño de pavimentos AASHTO 2015, es necesario conocer las propiedades de la carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante del pavimento. Se contó con datos obtenidos del informe técnico N°2 CVA N° 37-A que se utilizó para realizar el diseño correspondiente. En la siguiente tabla, se aprecia los datos obtenidos para la carpeta asfáltica y de donde se obtuvieron.

Tabla 36:  
Datos de entrada para la carpeta asfáltica y sus fuentes de recolección

| Dato de Entrada                              | Valor     | Fuente  |
|--|-----------|---|
| Espesor (")                                  | 2.4       | Diseño Preliminar   |
| Peso unitario (pcf)                          | 120       | Tabla 20  |
| Contenido de Asfalto en Volumen (%)          | 6.3       | Evaluacion de Mezclas Asfalticas en Zonas de Altura<br>Aplicación a la Carretera Cusco-Abancay Tramo IV |
| Contenido de Vacios (%)                      | 3         | Evaluacion de Mezclas Asfalticas en Zonas de Altura<br>Aplicación a la Carretera Cusco-Abancay Tramo IV |
| Coefficiente de Poisson                      | 0.35      | Tabla 21  |
| Modulo Dinamico                              | PEN80-100 | Evaluacion de Mezclas Asfalticas en Zonas de Altura<br>Aplicación a la Carretera Cusco-Abancay Tramo IV |
| Temperatura de Referencia (deg F)            | 70        | Tabla 21  |
| Reacciona la traccion indirecta a 14°F (psi) | 413.01    | Tabla 20  |
| Comportamiento de la Fluencia Lenta (1/psi)  |           | Tabla 20  |
| Conductividad Termica (BTU/hr-ft-deg F)      | 0.67      | Tabla 21  |
| Capacidad Calorifica (BTU/lb-deg F)          | 0.23      | Tabla 21  |
| Coefficiente de Contraccion Termica          | 1.02E-05  | Tabla 21  |

Fuente: Elaboración propia

Se contó también con datos de la base y subbase del pavimento recolectadas del informe técnico N°2 CVA N° 37-A, así como también estándar del manual AASHTO 2015. En la siguiente tabla, se aprecia los datos obtenidos para la base, subbase y subrasante y de donde se obtuvieron.

Tabla 37:  
Datos de entrada para la base, subbase y subrasante; y sus fuentes de recolección

| Dato de Entrada                              | Base  | Subbase | Subrasante | Fuente            |
|--|-------|---------|------------|-------------------|
| Espesor (")                                  | 6     | 4       | -          | Diseño Preliminar |
| Coefficiente de Poisson                      | 0.35  | 0.35    | 0.35       | Tabla 22          |
| Coefficiente de Presion Lateral de la Tierra | 0.5   | 0.5     | 0.5        | Tabla 22          |
| Modulo Resiliente                            | 48685 | 27084   | 16258      | Perfil Tecnico    |
| Tipo de Suelo                                | A-1-a | A-2-6   | A-2-4      | Perfil Tecnico    |

Fuente: Elaboración propia

Luego de recolectar la data del informe técnico N°2 CVA N° 37-A y los datos estándar de la guía AASHTO 2015 se procedió a realizar el diseño en el software AASHTOWARE Pavement ME Design. En la siguiente figura, se aprecia los datos de entrada de la carpeta asfáltica en el software.

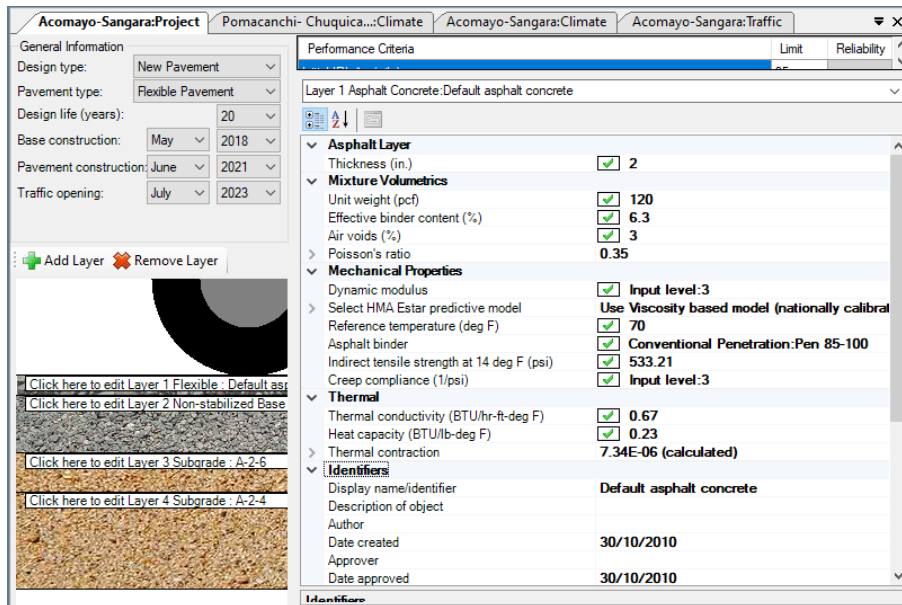


Figura 23: Datos de Entrada de la carpeta asfáltica en el software AASHTOWARE Pavement ME Design

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

En la siguiente figura, se aprecia los datos de entrada de la base en el software AASHTOWARE Pavement ME Design.

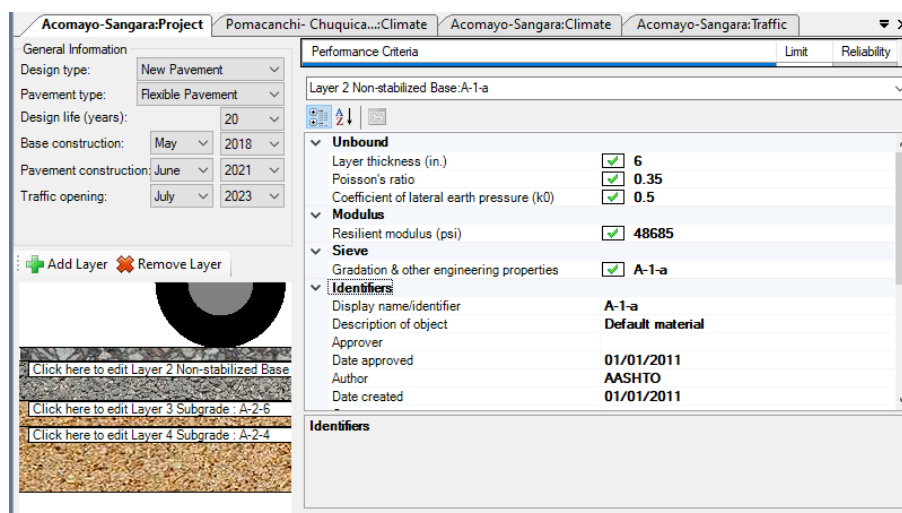


Figura 24: Datos de Entrada de la base en el software AASHTOWARE Pavement ME Design

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

En la siguiente figura, se aprecia los datos de entrada de la subbase en el software AASHTOWARE Pavement ME Design.

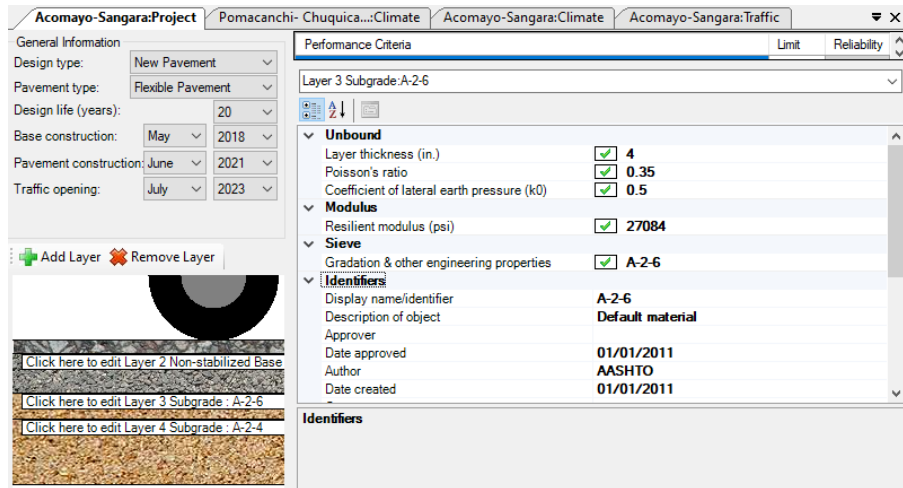


Figura 25: Datos de Entrada de la subbase en el software AASHTOWARE Pavement ME Design

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

En la siguiente figura, se aprecia los datos de entrada de la subrasante en el software AASHTOWARE Pavement ME Design.

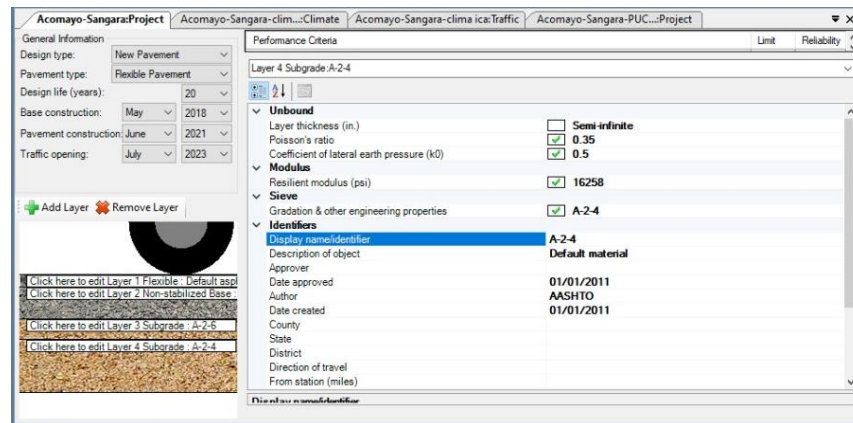


Figura 26: Datos de Entrada de la subrasante en el software AASHTOWARE Pavement ME Design

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

#### 5.2.4. Indicadores de desempeño:

Antes de correr el modelo, se debe colocar los indicadores de desempeños a satisfacer para el diseño del pavimento. En la siguiente tabla, se aprecia los valores a satisfacer y de donde se obtuvieron.

Tabla 38:  
Índices de deterioros y sus fuentes de recolección

| Indicador de Desempeño                        | Valor | Fuente   |
|---|-------|--|
| IRI inicial (in/mile)                         | 95    | Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos |
| IRI terminal (in/mile)                        | 222   | Manual de carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos |
| Fisuramiento Longitudinales (ft/mile)         | 2000  | Tabla 26   |
| Fisuramiento tipo piel de cocodrilo (percent) | 20    | Tabla 26   |
| Fisuramiento Transversal (ft/mile)            | 700   | Tabla 26   |
| Profundidad Total de Ahuellamiento (in.)      | 0.5   | Tabla 26   |
| Fisuras reflejas en Recapados de MAC (in)     | 0.25  | Tabla 26   |

Fuente: Elaboración propia

Luego de recolectar la data, se importó los datos al software AASHTOWARE Pavement ME Design. En la siguiente figura, se puede apreciar los índices de deterioro ingresados AASHTOWARE Pavement ME Design.

| Performance Criteria                         | Limit | Reliability |
|--|-------|-------------|
| Initial IRI (in./mile)                       | 95    |             |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222   | 85          |
| AC top-down fatigue cracking (ft./mile)      | 2000  | 85          |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20    | 85          |
| AC thermal cracking (ft./mile)               | 700   | 85          |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.5   | 85          |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25  | 85          |


Figura 27: Datos de Entrada para los índices de deterioros en el software AASHTOWARE Pavement ME Design

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

Después de ingresar todos los datos detallados anteriormente se procesó el programa para ver si cumple con todos los indicadores de desempeño, en caso no cumpla se procedió a iterar con los espesores.

Se mostrará los espesores que cumplen con los indicadores de desempeño para el tramo ACOMAYO – SANGARARÁ con el modelo climático de Cusco.

Es decir, los espesores resultantes para el diseño con data climática Cusco son:

| Design Structure  |               |                          |                 | Traffic                      |     |
|---|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
|  | Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|   | Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0             | Effective binder content (%) | 6.3 |
|   | NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
|   | Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
|   | Subgrade      | A-2-4                    | Semi-infinite   |                              |     |

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 75                        |
| 2033 (10 years) | 136,322                   |
| 2043 (20 years) | 301,643                   |

### Design Outputs

#### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.32    | 85.00           | 98.86    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 85.22    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.19      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 304.25    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.05      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

Figura 28: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

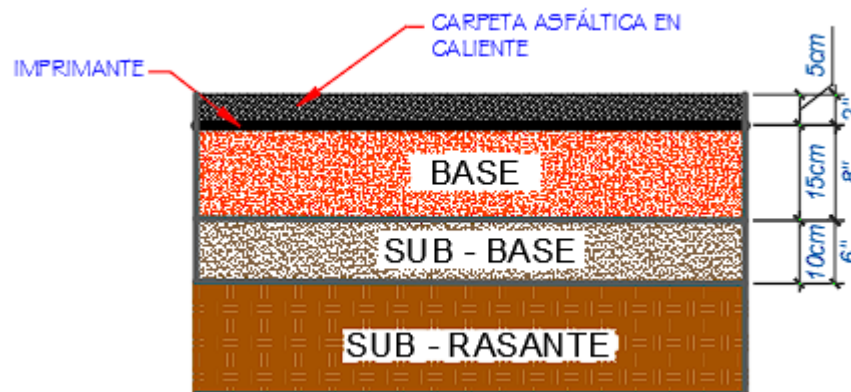



Figura 29: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño

Fuente: Elaboración propia

De similar manera se realiza un diseño con la misma data de tráfico, pero reemplazando la data climática, los datos climáticos analizados son de los departamentos de Ucayali (selva), Ica (Costa) y Cusco (Sierra)



Resultados del tramo ACOMAYO – SANGARARÁ con data Climática Ica:

| Design Structure  |                 |                           |                  | Traffic                      |     |
|---|-----------------|---------------------------|------------------|------------------------------|-----|
|  | Layer type      | Material Type             | Thickness (in.): | Volumetric at Construction:  |     |
|   | Flexible        | Default asphalt concrete  | 1.6              | Effective binder content (%) | 6.3 |
|   | NonStabilized   | A-1-a                     | 6.0              | Air voids (%)                | 3.0 |
|   | Subgrade        | A-2-6                     | 4.0              |                              |     |
|   | Subgrade        | A-2-4                     | Semi-infinite    |                              |     |
|   | Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |                  |                              |     |
|   | 2023 (initial)  | 75                        |                  |                              |     |
|   | 2033 (10 years) | 136,322                   |                  |                              |     |
|   | 2043 (20 years) | 301,643                   |                  |                              |     |

Design Outputs

Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 161.05    | 85.00           | 99.75    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 86.16    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.17      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 294.44    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.04      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

Figura 30: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

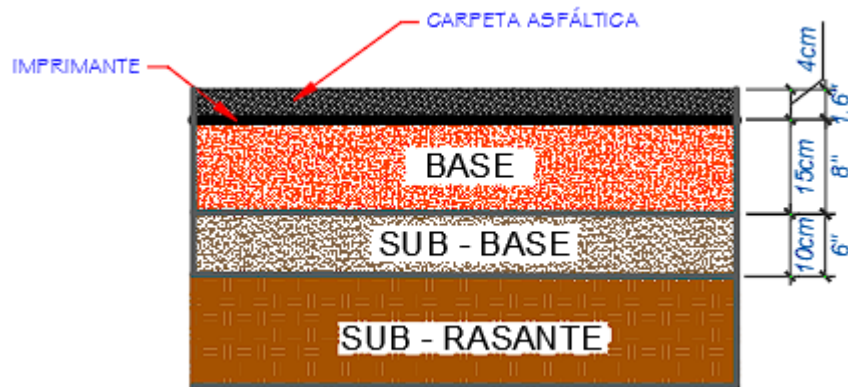



Figura 31: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño

Fuente: Elaboración propia

Resultados tramo ACOMAYO – SANGARARÁ con data Climática Ucayali:

| Design Structure  |                 |                           |                  | Traffic                      |     |
|---|-----------------|---------------------------|------------------|------------------------------|-----|
|  | Layer type      | Material Type             | Thickness (in.): | Volumetric at Construction:  |     |
|   | Flexible        | Default asphalt concrete  | 3.2              | Effective binder content (%) | 6.3 |
|   | NonStabilized   | A-1-a                     | 6.0              | Air voids (%)                | 3.0 |
|   | Subgrade        | A-2-6                     | 4.0              |                              |     |
|   | Subgrade        | A-2-4                     | Semi-infinite    |                              |     |
|   | Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |                  |                              |     |
|   | 2023 (initial)  | 75                        |                  |                              |     |
|   | 2033 (10 years) | 136,322                   |                  |                              |     |
|   | 2043 (20 years) | 301,643                   |                  |                              |     |

Design Outputs

Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 173.83    | 85.00           | 99.08    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.36    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.46      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1055.41   | 85.00           | 97.62    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.12      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

Figura 32: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



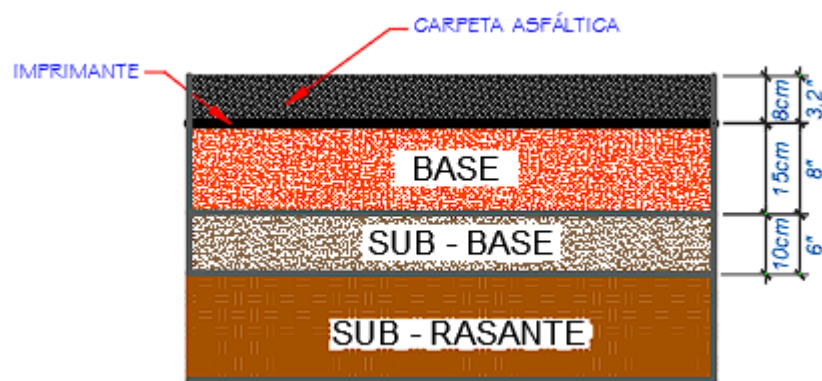


Figura 33: Espesores que cumplen con los indicadores de desempeño

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla se mostrarán los resultados de los 10 tramos analizados por el diseño AASTHO 2015 con la data climática de 3 departamentos (Cusco, Ica y Ucayali).

Tabla 39:  
Resultados con el diseño AASTHO 2015

| RUTA                  | TRAMO                       | MÉTODOS      | C.A | BASE | SUBBASE |
|-----------------------|-----------------------------|--------------|-----|------|---------|
| CU- 117               | ACOMAYO -SANGARARÁ          | AASHTO CUZCO | 5   | 15   | 10      |
|                       |                             | 2015 ICA     | 4   | 15   | 10      |
|                       |                             | (cm) UCAYALI | 8   | 15   | 10      |
|                       | EMP. PE-3S (CUSCO) - PARURO | AASHTO CUZCO | 10  | 25   | 15      |
|                       |                             | 2015 ICA     | 5   | 15   | 15      |
|                       |                             | (cm) UCAYALI | 15  | 25   | 10      |
|                       | SANGARARÁ - POMACANCHI      | AASHTO CUZCO | 8   | 15   | 10      |
|                       |                             | 2015 ICA     | 7   | 15   | 10      |
|                       |                             | (cm) UCAYALI | 9   | 20   | 20      |
|                       | POMACANCHI - CHUQUICAHUANA  | AASHTO CUZCO | 5   | 15   | 10      |
| 2015 ICA              |                             | 4            | 15  | 10   |         |
| (cm) UCAYALI          |                             | 8            | 20  | 15   |         |
| PARURO - DV.CUSIBAMBA | AASHTO CUZCO                | 7            | 20  | 10   |         |
|                       | 2015 ICA                    | 4            | 15  | 10   |         |
|                       | (cm) UCAYALI                | 8            | 20  | 10   |         |
| CUSIBAMBA-ACCHA       | AASHTO CUZCO                | 5            | 15  | 10   |         |
|                       | 2015 ICA                    | 4            | 15  | 10   |         |
|                       | (cm) UCAYALI                | 7            | 15  | 10   |         |
| ACCHA-PILLPINTO       | AASHTO CUZCO                | 8            | 15  | 10   |         |
|                       | 2015 ICA                    | 5            | 15  | 10   |         |
|                       | (cm) UCAYALI                | 9            | 20  | 10   |         |
| ACOS- ACOMAYO         | AASHTO CUZCO                | 5            | 15  | 10   |         |
|                       | 2015 ICA                    | 4            | 15  | 10   |         |
|                       | (cm) UCAYALI                | 6            | 15  | 10   |         |
| CU- 124               | PITUMARCA-DV. AUSANGATE     | AASHTO CUZCO | 9   | 20   | 20      |
|                       |                             | 2015 ICA     | 5   | 15   | 10      |
|                       |                             | (cm) UCAYALI | 11  | 20   | 20      |
| PE-5N                 | CALZADA - SORITOR           | AASHTO CUZCO | 9   | 20   | 15      |
|                       |                             | 2015 ICA     | 8   | 15   | 10      |
|                       |                             | (cm) UCAYALI | 12  | 25   | 10      |

Fuente: propia

### 5.3. Comparación de los modelos AASHTO 93 y AASHTO 2015

Luego de realizar los diseños por ambos métodos, se observa que existen diferencias y similitudes en los datos de entrada y de salida.

- Con relación al tráfico, el modelo AASHTO 93 utilizó como dato de entrada los ejes equivalentes (ESAL); en cambio, el modelo AASHTO 2015 posee una mayor cantidad de datos de entrada como los espectros de carga, el número de camiones, la configuración de los ejes, la distribución horaria, la distribución mensual, la velocidad vehicular, influyendo directamente sobre el diseño del pavimento.
- Con referente al clima, el modelo AASHTO 93 manifiesta el clima de manera indirecta con el coeficiente de drenaje; en cambio, el modelo AASHTO 2015 posee una mayor cantidad de datos de entrada tales como: temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación, humedad relativa, profundidad del nivel freático, salida y puesta del sol y radiación solar máxima. Todos estos parámetros influyen tanto el diseño de pavimentos como en la predicción de deterioro del pavimento.
- Con respecto a los materiales, el modelo AASHTO 93 solo necesita para el diseño el valor del modelo resiliente de la subrasante; en cambio, el modelo AASHTO 2015 requiere tanto propiedades mecánicas como ingenieriles de los materiales a utilizar en el pavimento.
- Con respecto a los indicadores de desempeño, el modelo AASHTO 93 se enfoca en determinar los espesores de cada capa del pavimento. En cambio, el modelo AASHTO 2015 realiza un proceso de calcular para determinar el comportamiento de la carretera a lo largo de su vida útil. Este modelo utiliza estos índices de desempeño tales como: Falla por fisuramiento, deformación permanente, fisuramiento transversal, Fisuras reflejas en recapados de MAC, IRI.

En la siguiente tabla, se puede apreciar un resumen de la comparación de datos de entrada de los modelos AASHTO 93 y AASHTO 2015.

Tabla 40:  
Comparación de los datos de entrada de los modelos AASHTO 93/MTC y AASHTO 2015

| Parametro  | AASHTO 93 | AASHTO 2015 |
|--|-----------|-------------|
| Transito   |           |             |
| Analisis mediante espectros de carga                         | x         | ✓           |
| Analisis mediante ejes equivalentes (ESAL)                   | ✓         | x           |
| Distribucion del transito horario, diario y mensual          | x         | ✓           |
| Configuracion de ejes  | x         | ✓           |
| Zizagueo lateral del vehiculo                                | x         | ✓           |
| Velocidad operacional  | x         | ✓           |
| Clima  |           |             |
| Temperatura  | x         | ✓           |
| Velocidad del viento   | x         | ✓           |
| Nubosidad  | x         | ✓           |
| Precipitacion  | x         | ✓           |
| Humedad Relativa   | x         | ✓           |
| Profundidad Nivel Freatico                                   | x         | ✓           |
| Salida y puesta del sol                                      | x         | ✓           |
| Radiacion Solar Maxima                                       | x         | ✓           |
| Coefficiente de drenaje                                      | ✓         | x           |
| Materiales   |           |             |
| Especificacion del material a utilizar                       | x         | ✓           |
| Modulo variable de materiales                                | x         | ✓           |
| Ajuste del modulo resiliente de la sub-rasante               | ✓         | ✓           |
| Material granular que conforma la mezcla asfaltica           | x         | ✓           |
| Material granular que conforma la base, subbase y subrasante | x         | ✓           |
| Modelo de Prediccion   |           |             |
| Fisuramiento Longitudinal                                    | x         | ✓           |
| Fisuramiento tipo piel de cocodrilo                          | x         | ✓           |
| Fisuramiento transversal                                     | x         | ✓           |
| Profundidad total de ahuellamiento                           | x         | ✓           |
| Fisuras reflajas en recapados de MAC                         | x         | ✓           |
| IRI  | x         | ✓           |

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los datos de salida, el modelo AASHTO 93 determina los espesores del pavimento flexible. En cambio, el modelo AASHTO 2015 determina los espesores como también realiza una predicción del pavimento a lo largo de su vida útil con respecto a los índices de deterioros a evaluar a la confiabilidad que el diseñador le otorga. En la siguiente tabla, se puede apreciar la comparación de los datos de salida del modelo AASHTO 93 y el modelo AASHTO 2015.

Tabla 41:  
Comparación de los datos de salida del modelo AASHTO 93/MTC y el modelo AASHTO 2015

| Parametro  | AASHTO 93 | AASHTO 2015 |
|--|-----------|-------------|
| Determinacion de espesores del pavimento                 | ✓         | ✓           |
| Prediccion mediante Fisuramiento Longitudinal            | ×         | ✓           |
| Prediccion mediante Fisuramiento tipo piel de cocodrilo  | ×         | ✓           |
| Prediccion mediante Fisuramiento transversal             | ×         | ✓           |
| Prediccion mediante Profundidad total de ahuellamiento   | ×         | ✓           |
| Prediccion mediante Fisuras reflajas en recapados de MAC | ×         | ✓           |
| Prediccion mediante IRI                                  | ×         | ✓           |

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4. Determinación del nivel de confiabilidad

Para la obtención del nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los modelos AASHTO 93 y AASHTO 2015, se realizó el método estadístico de Chi Cuadrado. En la siguiente tabla, se puede observar los resultados de ambos diseños a los cuales se aplicará el método estadístico.

Tabla 42:  
Espesores de las capas del pavimento para todos los tramos y métodos.

| RUTA            | TRAMO                       | MÉTODOS        | C.A | BASE | SUBBASE |
|-----------------|-----------------------------|----------------|-----|------|---------|
| CU- 117         | ACOMAYO -SANGARARÁ          | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 5   | 15   | 10      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 4   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 8   | 15   | 10      |
|                 | EMP. PE-3S (CUSCO) - PARURO | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 10  | 25   | 15      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 5   | 15   | 15      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 15  | 25   | 10      |
|                 | SANGARARÁ - POMACANCHI      | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 8   | 15   | 10      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 7   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 9   | 20   | 20      |
|                 | POMACANCHI - CHUQUICAHUANA  | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 5   | 15   | 10      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 4   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 8   | 20   | 15      |
|                 | PARURO - DV.CUSIBAMBA       | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 7   | 20   | 10      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 4   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 8   | 20   | 10      |
|                 | CUSIBAMBA-ACCHA             | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 5   | 15   | 10      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 4   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 7   | 15   | 10      |
| ACCHA-PILLPINTO | AASHTO 93 (cm)              | 9              | 20  | 15   |         |
|                 | AASHTO CUZCO                | 8              | 15  | 10   |         |
|                 | 2015 ICA                    | 5              | 15  | 10   |         |
|                 | (cm) UCAYALI                | 9              | 20  | 10   |         |
| ACOS- ACOMAYO   | AASHTO 93 (cm)              | 9              | 20  | 15   |         |
|                 | AASHTO CUZCO                | 5              | 15  | 10   |         |
|                 | 2015 ICA                    | 4              | 15  | 10   |         |
|                 | (cm) UCAYALI                | 6              | 15  | 10   |         |
| CU- 124         | PITUMARCA-DV. AUSANGATE     | AASHTO 93 (cm) | 9   | 20   | 20      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 9   | 20   | 20      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 5   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 11  | 20   | 20      |
| PE-5N           | CALZADA - SORITOR           | AASHTO 93 (cm) | 10  | 25   | 15      |
|                 |                             | AASHTO CUZCO   | 9   | 20   | 15      |
|                 |                             | 2015 ICA       | 8   | 15   | 10      |
|                 |                             | (cm) UCAYALI   | 12  | 25   | 10      |

Fuente: propia.

Se determinó el nivel de confiabilidad de las tres capas del pavimento flexible.

a) Nivel de confiabilidad de la carpeta asfáltica

Paso 1: Se determinó de las frecuencias observadas

Tabla 43:  
Frecuencias observadas de la carpeta asfáltica

| AASHTO 93 VS AASHTO 2015 | 5        | 7        | 8        | 9        | 10       | TOTAL     |
|--------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| 9                        | 4        | 1        | 2        | 1        | 1        | 9         |
| 10                       | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1         |
| <b>TOTAL</b>             | <b>4</b> | <b>1</b> | <b>3</b> | <b>1</b> | <b>1</b> | <b>10</b> |

Fuente: propia.

Paso 2: Se determinó de las frecuencias esperadas

Tabla 44:  
Frecuencias esperadas de la carpeta asfáltica

| Frecuencia esperada (fe) |      |      |      |      |
|--------------------------|------|------|------|------|
| 3.60                     | 0.90 | 2.70 | 0.90 | 0.90 |
| 0.40                     | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.10 |

Fuente: propia.

Paso 3: Se determinó del chi cuadrado calculado

Tabla 45:  
Chi cuadrado calculado de la carpeta asfáltica

| FO           | FE   | (FO-FE) | (FO-FE) <sup>2</sup> | (FO-FE) <sup>2</sup> /FE |
|--------------|------|---------|----------------------|--------------------------|
| 4            | 3.60 | 0.40    | 0.16                 | 0.04                     |
| 1            | 0.90 | 0.10    | 0.01                 | 0.01                     |
| 2            | 2.70 | -0.70   | 0.49                 | 0.18                     |
| 1            | 0.90 | 0.10    | 0.01                 | 0.01                     |
| 1            | 0.90 | 0.10    | 0.01                 | 0.01                     |
| 0            | 0.40 | -0.40   | 0.16                 | 0.40                     |
| 0            | 0.10 | -0.10   | 0.01                 | 0.10                     |
| 1            | 0.30 | 0.70    | 0.49                 | 1.63                     |
| 0            | 0.10 | -0.10   | 0.01                 | 0.10                     |
| 0            | 0.10 | -0.10   | 0.01                 | 0.10                     |
| <b>TOTAL</b> |      |         |                      | <b>2.59</b>              |

Fuente: propia.

Paso 4: Se determinó del grado de libertad

$$\text{Grado de Libertad: } gl = (2 - 1)(5 - 1) = 4$$

Paso 5: Se determinó el nivel de confiabilidad

$$x_{\text{calculado}}^2: 2.59$$

Se desea un  $x_{\text{critico}}^2 = 2.58$

Teniendo un  $gl = 4$

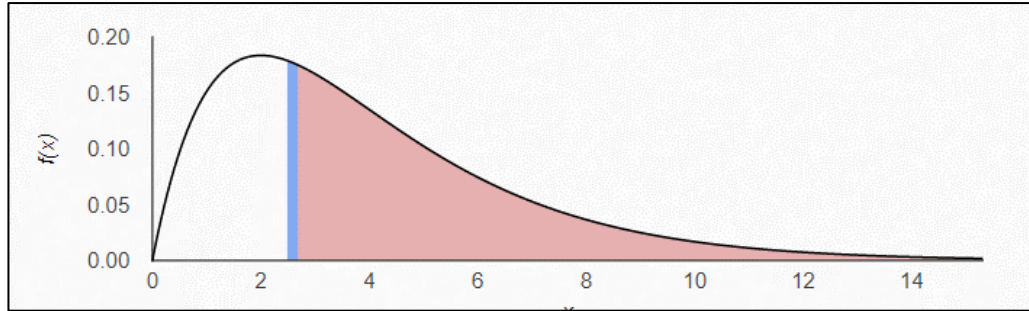


Figura 34: Grafico de chi cuadrado para 4 grados de libertad

Fuente: <https://homepage.divms.uiowa.edu/~mbognar/applets/chisq.html>

Se tiene un nivel de significancia de 0.63037. Es decir, un grado de confiabilidad de 36.96%.

b) Nivel de confiabilidad de la base

Paso 1: Se determinó de las frecuencias observadas

Tabla 46:

Frecuencias observadas de la base

| AASHTO 93 VS AASHTO 2015 | 15       | 20       | 25       | TOTAL     |
|--------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| 20                       | 6        | 2        | 1        | 9         |
| 25                       | 1        | 0        | 0        | 1         |
| <b>TOTAL</b>             | <b>7</b> | <b>2</b> | <b>1</b> | <b>10</b> |

Fuente: propia.

Paso 2: Se determinó de las frecuencias esperadas

Tabla 47:

Frecuencias esperadas de la base

| Frecuencia esperada (fe) |     |     |
|--------------------------|-----|-----|
| 6.3                      | 1.8 | 0.9 |
| 0.7                      | 0.2 | 0.1 |

Fuente: propia.

Paso 3: Se determinó del chi cuadrado calculado

Tabla 48:

Chi cuadrado de la base

| FO           | FE  | (FO-FE) | (FO-FE) <sup>2</sup> | (FO-FE) <sup>2</sup> /FE |
|--------------|-----|---------|----------------------|--------------------------|
| 6            | 6.3 | -0.3    | 0.09                 | 0.01                     |
| 2            | 1.8 | 0.2     | 0.04                 | 0.02                     |
| 1            | 0.9 | 0.1     | 0.01                 | 0.01                     |
| 1            | 0.7 | 0.3     | 0.09                 | 0.13                     |
| 0            | 0.2 | -0.2    | 0.04                 | 0.20                     |
| 0            | 0.1 | -0.1    | 0.01                 | 0.10                     |
| <b>TOTAL</b> |     |         |                      | <b>0.48</b>              |

Fuente: propia.

Paso 4: Se determinó del grado de libertad

$$\text{Grado de Libertad: } gl = (3 - 1)(2 - 1) = 2$$

Paso 5: Se determinó el nivel de confiabilidad

$$x_{\text{calculado}}^2: 0.48$$

Se desea un  $x_{\text{critico}}^2 = 0.47$

Teniendo un  $gl = 2$

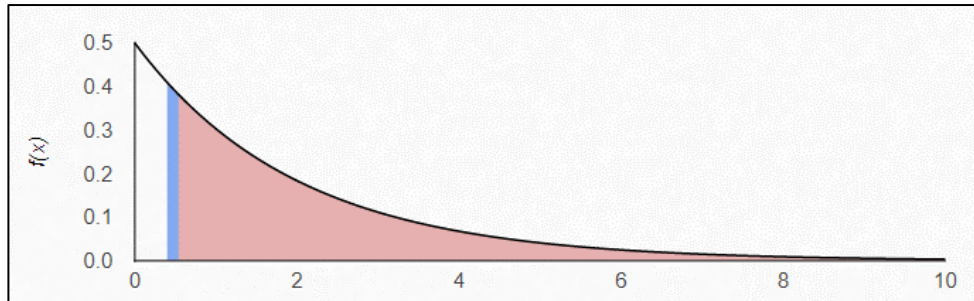


Figura 35: Gráfico de chi cuadrado para 2 grados de libertad

Fuente: <https://homepage.divms.uiowa.edu/~mbognar/applets/chisq.html>

Se tiene un nivel de significancia de 0.79057. Es decir, un grado de confiabilidad de 20.94%.

c) Nivel de confiabilidad de la subbase

Paso 1: Se determinó de las frecuencias observadas

Tabla 49:

Frecuencias observadas de la subbase

|                          |    |    |    |       |
|--------------------------|----|----|----|-------|
| AASHTO 93 VS AASHTO 2015 | 10 | 15 | 20 | TOTAL |
| 15                       | 8  | 1  | 0  | 9     |
| 20                       | 0  | 0  | 1  | 1     |
| TOTAL                    | 8  | 1  | 1  | 10    |

Fuente: propia.

Paso 2: Se determinó de las frecuencias esperadas

Tabla 50:

Frecuencias esperadas de la subbase

| Frecuencia esperada (fe) |     |     |
|--------------------------|-----|-----|
| 7.2                      | 0.9 | 0.9 |
| 0.8                      | 0.1 | 0.1 |

Fuente: propia.

Paso 3: Se determinó del chi cuadrado calculado



Tabla 51:  
Chi cuadrado de la subbase

| FO           | FE  | (FO-FE) | (FO-FE) <sup>2</sup> | (FO-FE) <sup>2</sup> /FE |
|--------------|-----|---------|----------------------|--------------------------|
| 8            | 7.2 | 0.8     | 0.64                 | 0.09                     |
| 1            | 0.9 | 0.1     | 0.01                 | 0.01                     |
| 0            | 0.9 | -0.9    | 0.81                 | 0.90                     |
| 0            | 0.8 | -0.8    | 0.64                 | 0.80                     |
| 0            | 0.1 | -0.1    | 0.01                 | 0.10                     |
| 1            | 0.1 | 0.9     | 0.81                 | 8.10                     |
| <b>TOTAL</b> |     |         |                      | <b>10.00</b>             |

Fuente: propia.

Paso 4: Se determinó del grado de libertad

$$\text{Grado de Libertad: } gl = (3 - 1)(2 - 1) = 2$$

Paso 5: Se determinó el nivel de confiabilidad

$$x_{\text{calculado}}^2: 10.00$$

$$\text{Se desea un } x_{\text{critico}}^2 = 9.99$$

$$\text{Teniendo un } gl = 2$$

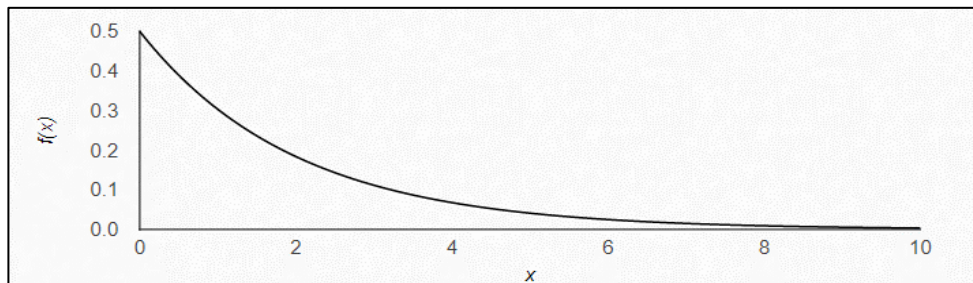


Figura 36: Grafico de chi cuadrado para 2 grados de libertad

Fuente: <https://homepage.divms.uiowa.edu/~mbognar/applets/chisq.html>

Se tiene un nivel de significancia de 0.00677. Es decir, un grado de confiabilidad de 99.32%.

### 5.5. Contrastación de hipótesis

H11: Analizando el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.

H01: Analizando el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 no se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.

Respecto a lo desarrollado en el capítulo V, inciso 5.1, se determina que:

Analizando el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 93, tanto los datos de tráfico, estadísticos, de suelo y clima, se determinó el Número Estructural del diseño requerido; con lo cual se halló los espesores de las capas del pavimento.

En la tabla 29 se pueden observar los espesores para cada tramo estudiado.

Palacios, C. (2017), aplica el diseño AASHTO 93 en el tramo 2 de la vía Mulaute, La Florida, Quito. El autor halla los datos requeridos para el diseño realizando un estudio de tráfico, clima y materiales en la vía mencionada, la investigación menciona que la subrasante del tramo tiene un CBR= 20%, el total de ejes equivalentes proyectado a 20 años es de 3'843,040 EE y el número estructural SN=3.01, con ello se obtuvo los siguientes espesores de las capas del pavimento, Carpeta asfáltica = 12.50 cm, base= 10 cm, subbase = 6.8cm.

Huallpa, H.; Estrada, J. (2019) aplica el diseño AASHTO 93 en la avenida Circunvalación Este de la ciudad de Juliaca. El autor halla los datos requeridos para el diseño realizando un estudio de tráfico, suelos e hidrológicos, la investigación menciona que la subrasante del tramo tiene un CBR= 13.54%, el total de ejes equivalentes proyectado a 20 años es de 14'900,000 EE y el número estructural SN=4.44 con ello se obtuvo los siguientes espesores de las capas del pavimento, Carpeta asfáltica = 12.75 cm, base= 30 cm, subbase = 18.75cm.

Maximiliano. E. (2016), aplica el diseño AASHTO 93 en una avenida del distrito de Ancón. El autor halla los datos requeridos para el diseño realizando un estudio de tráfico, suelos; la investigación menciona que la subrasante del tramo tiene un CBR= 60%, el total de ejes equivalentes proyectado a 20 años es de 95'000,000 EE y el número estructural SN=4.13 con ello se obtuvo los siguientes espesores de las capas del pavimento, Carpeta asfáltica = 10 cm, base= 25 cm, subbase = 110cm.

Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

H12: Analizando el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.

H02: Analizando el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 no se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.

En el capítulo V, inciso 5.2 se analizó, aplicó y calculó,

Analizando la guía diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015, tanto los datos de tráfico, clima, materiales e índices de desempeño, se determinan los espesores de las capas del pavimento y su comportamiento estructura a lo largo de la vida útil utilizando el software AASHTOWARE Pavement ME Design.

En la tabla 39 se pueden observar los espesores para cada tramo estudiado y para cada clima.

Palacios, C. (2017), aplica el diseño AASHTO 2008 en el tramo 2 de la vía Mulaute, La Florida, Quito. El autor halló los datos requeridos para el diseño realizando un estudio de tráfico, clima y materiales; la investigación menciona que el módulo resiliente de la Subrasante=7498.45, Subbase=20305, Base=36984, el número de camiones = 300, temperatura media= 23.5°, finalmente se determinó los espesores que cumplen con los índices de deterioro a una confiabilidad determinada, siendo los espesores resultantes para la Carpeta Asfáltica=25cm, Base=13cm y subbase=8.55cm.

Huallpa, H.; Estrada, J. (2019) aplica el diseño AASHTO 2008 en la avenida Circunvalación Este de la ciudad de Juliaca. El autor halló los datos requeridos para el diseño realizando un estudio de tráfico, clima y materiales; la investigación menciona que el módulo resiliente de la Subrasante=13540, Subbase=37244, Base=49922, el número de camiones = 648, temperatura media= 9°, finalmente se determinó los espesores que cumplen con los índices de deterioro a una confiabilidad determinada, siendo los espesores resultantes para la Carpeta Asfáltica=12cm, Base=20cm y subbase=20cm.

Maximiliano. E. (2016), aplica el diseño AASHTO 2008 en una avenida del distrito de Ancón. El autor halló los datos requeridos para el diseño realizando un estudio de tráfico, clima y materiales; la investigación menciona que el módulo resiliente de la Subrasante=35000, Subbase=38000, Base=200000, el número de camiones = 6152, temperatura media= 18.56°, finalmente se determinó los espesores que cumplen con los índices de deterioro a una confiabilidad determinada, siendo los espesores resultantes para la Carpeta Asfáltica=5cm, Base=15cm y subbase=25cm. Por lo tanto, se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

H13: Determinando las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015 se determina espesores distintos en las capas del pavimento asfáltico.

H03: Determinando las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015 no se determina espesores distintos de las capas del pavimento asfáltico.

En el capítulo V, inciso 5.3 se analizaron las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida, y se comprueba que respecto al tráfico en AASHTO 93 es necesario los ejes equivalentes y en AASHTO 2015 se necesita diversos datos, los

principales son número de camiones y espectros; respecto a los materiales en AASHTO 93 es necesario los módulos resilientes de la sub rasante, base y subbase, en AASHTO 2015 demanda de mayor cantidad de datos siendo los principales los módulos resilientes y el tipo de suelo; con respecto al clima, en AASHTO 93 se necesitó los coeficientes de drenaje y en AASHTO 2015 hubo la necesidad de mayor datos entre los ellos se encuentra la temperatura, precipitación y radiación solar. Cabe resaltar que en el AASHTO 2015 que los indicadores de desempeño sirven para predecir el comportamiento a lo largo de la vida útil.

Analizando las diferencias y similitudes en ambos métodos se obtuvo diferentes espesores de las capas del pavimento asfáltico, siendo en la gran mayoría menores con el método AASHTO 2015, comparado al AASHTO 93.

Por lo tanto, al tener valores distintos se valida la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula.

H14: Se puede determinar el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015.

H04: No se puede determinar el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASHTO 93 y AASHTO 2015.

En el capítulo V, inciso 5.4 se realizó la determinación del nivel de confiabilidad de las capas del pavimento en base a la comparación de ambos métodos de diseño.

La confiabilidad se determinó con el método Chi cuadrado, analizando los 10 resultados.

Comparando los resultados de los espesores de la carpeta asfáltica con ambos métodos, se determinó un grado de confiabilidad de 36.96% con un nivel de significancia de 0.63, por lo cual se concluyó que no hay relación entre las variables.

En el caso de la base se determinó un grado de confiabilidad de 20.94% con un nivel de significancia de 0.79, concluyendo que no hay relación entre las variables.

La subbase obtuvo un grado de confiabilidad de 99.32% pero con un nivel de significancia de 0.0067, por lo tanto, concluimos que no hay relación entre las variables.

Por lo tanto, se valida la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

H1G: Mediante la comparación del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determina el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico.

H0G: Mediante la comparación del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 no se determina el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico.

Con relación a la hipótesis general, podemos decir que al comparar el diseño de pavimentos AASHTO 93 con el diseño AASHTO 2015, los datos de entrada son más detallados en el modelo 2015, destacándose en el tráfico con de espectro de cargas y el clima, que tiene mayor incidencia sobre el espesor del asfalto, y en menor grado en las capas de base y subbase. Por lo que, la confiabilidad para la carpeta de asfalto y base tienen una confiabilidad del 20.94% y 36.96%, en tanto para la subbase del 99% valores que nos permiten demostrar que no se alcanza un nivel de confiabilidad adecuado.

Por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna y se valida la hipótesis nula.

## CONCLUSIONES

1. Se concluyó que al analizar el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 93 tanto los datos de tráfico (ejes equivalentes), suelos (Mr), clima (coeficiente de drenaje  $m_i$ ) y estadístico se determinó el número estructural SN con el cual se hallaron los espesores de las capas del pavimento asfáltico.
2. Se concluyó que al analizar el diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 tanto los datos de tráfico (espectro de carga, número de camiones), climáticos (temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación, humedad relativa, nivel freático, salida y puesta del sol, radiación solar, los datos son horarios), y material (Mr, Clasificación de suelo, Coef. Poisson) se determinó los espesores de las capas del pavimento asfáltico. Asimismo, se pudo conocer cómo se comportará el pavimento ante la carga esperada a lo largo de su vida útil.
3. Al comparar los datos de entrada ambos métodos se observa que hay diferencias y similitudes: en el tráfico, AASHTO 93 utiliza ESAL y AASHTO 2015 trabaja con espectro de carga, distribución horaria, diaria y mensual, velocidad operacional, configuración de ejes; en el clima, AASHTO 93 utiliza coeficientes de drenaje y AASHTO 2015 requiere datos específicos de temperatura, velocidad del viento, nubosidad, precipitación, humedad relativa, nivel freático, salida y puesta del sol, radiación solar; en el caso de los materiales, AASHTO 93 requiere del módulo resiliente de la sub rasante y AASHTO 2015 requiere además del módulo resiliente, clasificación del material a utilizar en las capas, módulo variable; además el AASHTO 2015 utiliza los índices de desempeño. Al comparar los datos de salida, AASHTO 2015 además de brindar los espesores de las capas del pavimento, predice su comportamiento a lo largo de la vida útil. Por esas diferencias los resultados de los espesores de las capas difieren por método.
4. Se concluyó al determinar los niveles de confiabilidad de la comparación de las capas del pavimento, que los espesores de la carpeta asfáltica, la base y subbase calculados mediante cada modelo no poseen relación.
5. Comparando el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 93 con el diseño mecanístico empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determinó que no existe un nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico, ya que la confiabilidad para la capa de asfalto y base son de 36.96% y 20.94% respectivamente y para la subbase de 99.32%.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar investigando la aplicación del diseño mecanístico empírico AASHTO 2015.
2. Investigar en qué medida el espectro de cargas se relaciona con el Factor camión.
3. Continuar investigando como influye la data climática en la carpeta asfáltica, ya que es un factor determinante en los espesores calculados para casos de climas distintos como son costa, sierra y selva.
4. Se recomienda que las entidades que brindan acceso a información de data climática en el país, realicen la toma de datos de forma horaria y en más lugares para que se puedan realizar archivos climáticos en todo el país.
5. Las estaciones de pesaje en el Perú son limitadas por lo que no se puede realizar los espectros de carga en la mayoría de las carreteras, se recomienda implementar estaciones de pesaje en diversos lugares para generar los espectros y datos necesarios que requiere el diseño.
6. Para que los resultados del programa AASHTOWare Pavement ME Design tengan resultados realistas se deben realizar los ensayos requeridos de los materiales para hallar el módulo resiliente, modulo dinámico, coeficiente de Poisson, entre otros.
7. Se recomienda que la entidades y universidades brinden la licencia educativa para utilizar el software AASHTOWare Pavement ME Design ya que fomentaría el uso de este diseño.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993*. Washington.
- AASHTO. (2015). *Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos*. Lima: ICG.
- ARA, Inc. Eres Consultants Division. (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures Final Report. NCHRP 1-37A Project, Part 2. Design Inputs, Chapter 3. Environmental Effects*. Illinois.
- Arias, E. (2020). *Propuesta para una guía de diseño mecánica-empírica para pavimentos flexibles y semi-rígidos de Costa Rica*. San José.
- Corredor, G. (2010). *Experimento vial de la AASHO y las guías de diseño AASHTO*. Managua.
- Díaz, C. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México D. F.: McGRAW-HILL.
- Higuera, C. (2011). *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras: Principios fundamentales, el tránsito factores climáticos y geotecnia vial*. Bocayá.
- Institute Asphalt. (1992). *Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*. Lexington, EEUU: Serie de Manuales N° 22.
- Li, Q., Xiao, D., Wang, K., Hall, K., & Qiu, Y. (2011). *Mechanistic-empirical pavement design guide (MEPDG): a bird's-eye view*. Chengdu: Journal of Modern Transportation.
- Lopez, T., & Miró, R. (2015). *El envejecimiento en mezclas asfálticas*. Madrid-España: Plataforma Tecnológica Española de la Carretera (PTC).
- Méndez, G. R., Morán, J. E., & Pineda, L. C. (2014). *Diseño de mezcla asfáltica tibia mediante la metodología Marshall utilizando asfalto espumado (tesis de pregrado)*. Lima-Perú: Universidad Ricardo Palma .
- Mendoza, E. (2019). *Relación entre los métodos de diseño de pavimento flexible empírico mecánico AASHTO 1993 y Shell para determinar la vida útil del pavimento*. Lima.
- Minaya, S. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima: ICG.
- Montejo, A. (2006). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Stella.



- MTC. (2014). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimientos*. Lima: El Peruano.
- Muñoz, C. (2015). *Metodología de la investigación*. México: Progreso S.A.
- Muthen , K. M. (1998). *Foamed Asphalt Mixes: Mix Design Process*. SABITA Ltd & CSIR Transportek.
- Ortega, O. J., & Paternina, L. A. (2012). *Propuesta para la implementación de mezclas asfálticas tibias en la ciudad de Medellín. (Tesis de posgrado)*. Medellín - Colombia.: Universidad de Medellín.
- Romero, J. A., & Valencia, W. (2019). *Evaluación del desempeño mecánico de una mezcla asfáltica tibia modificada con escoria de alto horno estabilizada con un aditivo químico (Tesis de posgrado)*. Bogotá - Colombia: Universidad Santo Tomás.
- Rondón, H. A., & Reyes, F. A. (2015). *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Bogotá: Macro EIRL.
- Schwartz, C., & Carvalho, R. (2007). *Implementation of the NCHRP 1-37A Design Guide Final Report Volume 2: Evaluation of Mechanistic-Empirical Design Procedure*. Suica, J. (202). *Estudio comparativo del diseño de pavimento flexible empleando el metodo Aashto 93 y Mecanístico-Empírico, Chorrillos 2020*. Lima.
- Tamayo, M. (1991). *El proceso de la investigación científica*. LIMUSA.
- Velázquez, A., & Rey, N. (2007). *Metodología de la investigación científica*. Lima: San Marcos.
- Vivanco, E. (2016). *Caracterización del tránsito de vehículos pesados aplicando la metodología MEPDG-AASHTO 2008; aplicación en pavimento de concreto hidráulico-Lima*. Lima.

## ANEXOS

### Anexo I: Matriz de consistencia

Tabla I.1: Matriz de consistencia

| PROBLEMA  | OBJETIVOS   | HIPÓTESIS  | VARIABLES  | DIMENSIONES                         | INDICADORES  | ÍNDICES   | INSTRUMENTO                         | METODOLOGÍA   |
|---|---|--|--|-------------------------------------|--|---|-------------------------------------|---|
| <b>Problema General</b>   | <b>Objetivo General</b>   | <b>Hipótesis General</b>   | <b>Variable independiente</b>                      |                                     | Ejes Equivalentes  | EAL   | Estudio de inversión a nivel Perfil | Método: Deductivo, ya que va de lo general a lo particular.<br>Enfoque: cualitativo, dado que se realiza a través de distintos datos recolectados documentos, entrevistas, imágenes, etc.<br>Orientación: aplicada, dado que se aplican los conocimientos adquiridos, está relacionada con los resultados de la aplicación.<br>tipo: descriptivo, ya que se determina las características de los dos diseños, pueden hacer uso de técnicas cualitativas o cuantitativas.<br>nivel: exploratorio / descriptivo / explicativo / correlacional.<br>diseño: no experimental transversal retrospectiva |
| ¿En qué medida la comparación del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 determinará el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico? | Comparar el diseño de estructura de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 para la determinación del nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico, año 2021. | Mediante la comparación del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 con el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determina el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico. | Diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993    | Tráfico                             | Nivel de confiabilidad   | %   |                                     |   |
|   |   |  |  | índice de sevicialidad presente     | Desviación estándar normal   | Adimensional  |                                     |   |
|   |   |  |  |                                     | Desviación estándar combinado  | Adimensional  |                                     |   |
| <b>Problema Específico</b>  | <b>Objetivo Específico</b>  | <b>Hipótesis Específico</b>  |  | característica de la Subrasante     | Δ Variación de sevicialidad  | Adimensional  |                                     |   |
| 1. ¿Cómo el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 determinará los espesores de las capas del pavimento asfáltico?   | 1. Analizar el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 para la determinación de los espesores de las capas del pavimento asfáltico.   | 1. Analizando el diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.   | Diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 | Tráfico                             | Tránsito Promedio Diario Anual Inicial de Camiones en Vías de Dos sentidos (AADTT) | N° de Camiones  | Estudio de inversión a nivel Perfil |   |
|   |   |  |  |                                     | Distribución de carga por Eje  | %   |                                     |   |
|   |   |  |  |                                     | Distribución de Volumen del Camión   | %   |                                     |   |
| Distribuciones del carril y la dirección del camión   | %   |  |  |                                     |  |   |                                     |   |
| 2. ¿Cómo el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 determinará los espesores de las capas del pavimento asfáltico?  | 2. Analizar el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 para la determinación de los espesores de las capas del pavimento asfáltico.  | 3. Analizando el diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 se determinan los espesores de las capas del pavimento asfáltico.  |  | Clima                               | Temperatura  | °F  | Informe de Temperatura de Corpac    |   |
|   |   |  |  |                                     | Velocidad del Viento   | millas/h  |                                     |   |
|   |   |  |  |                                     | Nubosidad  | %   |                                     |   |
|   |   |  |  |                                     | Precipitación  | pulg.   |                                     |   |
| 3. ¿Cuáles son las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 para determinar los espesores de las capas del pavimento asfáltico?                      | 3. Determinar las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 para la determinación de los espesores de las capas del pavimento asfáltico.            | 3. Determinando las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 se determinan espesores distintos de las capas del pavimento asfáltico.            |  | Propiedades de los materiales       | Humedad Relativa   | %   | Estudio de inversión a nivel Perfil |   |
|   |   |  |  |                                     | Módulo resiliente  | psi   |                                     |   |
|   |   |  | Clasificación y propiedades volumétricas           |                                     | Adimensional   |   |                                     |   |
|   |   |  | Relación humedad-densidad                          |                                     | %  |   |                                     |   |
|   |   |  | Módulo Dinámico                                    |                                     | psi  |   |                                     |   |
| 3. ¿Cuáles son las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 para determinar los espesores de las capas del pavimento asfáltico?                      | 3. Determinar las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 para la determinación de los espesores de las capas del pavimento asfáltico.            | 3. Determinando las diferencias y similitudes de los datos de entrada y salida de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015 se determinan espesores distintos de las capas del pavimento asfáltico.            | Predicción de Deterioro                            | Resistencia a la tracción indirecta | psi  | Guía de diseño mecánico-empírico de Pavimentos AASHTO 2015  |                                     |   |
|   |   |  |  | Propiedades volumétricas            | Adimensional   |   |                                     |   |
|   |   |  |  | Profundidad Total de Ahuellamiento  | pulgadas   |   |                                     |   |
|   |   |  |  | Fisuramiento Transversal            | pies/milla   |   |                                     |   |
|   |   |  |  | Fisuramiento Piel de Cocodrilo      | %  |   |                                     |   |
| 4. ¿Cuál es el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015?  | 4. Determinar el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015.  | 4. Se puede determinar el nivel de confiabilidad de las capas del pavimento asfáltico de la comparación de los métodos de diseño AASTHO 93 y AASTHO 2015.  | Capas del pavimento asfáltico                      | Fisuramiento Reflejado              | pulgadas   | Resultados del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 y Diseño mecánico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 |                                     |   |
|   |   |  |  | Regularidad Superficial - IRI       | pulgadas/milla   |   |                                     |   |
|   |   |  | <b>Variable dependiente:</b>                       | Carpeta asfáltica                   | Espesor de la carpeta asfáltica  | cm  |                                     |   |
|   |   |  | Capas del pavimento asfáltico                      | Base                                | Espesor de la base   | cm  |                                     |   |
|   |   |  |  | Subbase                             | Espesor de la subbase  | cm  |                                     |   |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo II: Matriz de operacionalización de variables.

Tabla I.1: Matriz de operacionalización de variables

| VARIABLES                                       | Definición conceptual   | Definición Operacional  | DIMENSIONES  | INDICADORES                              | INDICES  | INSTRUMENTO  | METODOLOGÍA  |                                     |
|---|---|---|--|--|--|--|--|-------------------------------------|
| <b>Variable independiente</b>                   |   |   |  | Ejes Equivalentes                        | EAL  |  |  |                                     |
| Diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 | El método AASHTO 93 es un metodo de regresión basado en resultados empíricos de la carretera de prueba AASHTO construida en los años 50. El método AASHTO 93 utiliza el número estructural SN para cuantificar la resistencia estructural que el pavimento requiere para determinar capacidad de soporte del suelo, tráfico esperado y pérdida de serviciabilidad | El método AASHTO 93 está basado en la prueba experimental de carreteras realizado por AASHTO, este método sirve para determinar los espesores del pavimento mediante la capacidad de soporte del suelo, tráfico y la pérdida de serviciabilidad.  | Tráfico  | Nivel de confiabilidad                   | %  | Estudio de inversión a nivel Perfil  | Método: Deductivo, ya que va de lo general a lo particular. Enfoque: cualitativo, dado que se realiza a través de distintos datos recolectados documentos, entrevistas, imágenes, etc. Orientación: aplicada, dado que se aplican los conocimientos adquiridos, está relacionada con los resultados de la aplicación. tipo: descriptivo, ya que se determina las características de los dos diseños, pueden hacer uso de técnicas cualitativas o cuantitativas. nivel: exploratorio / descriptivo / explicativo / correlacional. diseño: no experimental transversal retrospectiva |                                     |
|   |   |   |  | Desviación estándar normal               | Adimensional   |  |  |                                     |
|   |   |   |  | Desviación estándar combinado            | Adimensional   |  |  |                                     |
|   |   |   |  | Índice de sevicialidad presente          | Δ Variación de sevicialidad  |  |  | Adimensional                        |
|   |   |   | Característica de la Subrasante  | Modulo resiliente                        | Psi  |  |  |                                     |
|   | Diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015   | El método de diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 proporciona un conjunto de procedimientos para ser utilizados para diseñar, rehabilitar pavimentos rígidos y flexibles. Este diseño cuenta con el software AASHTOWare Paviment ME Design (AASHTOWare PMED) que simplifica todo el proceso de diseño. El objetivo es determinar los espesores de la estructura del pavimento óptimos que cumplan con los requisitos de predicción de deterioro y regularidad superficial a la confiabilidad que le asigna el ingeniero de diseño. | El diseño AASHTO 2015 analiza las propiedades de los materiales de cada capa del pavimento flexible para predecir así su comportamiento ante cargas de tráfico y clima. Como resultado de este análisis, la predicción de deterioro y regularidad superficial a la confiabilidad asignada. | Tráfico                                  | Tránsito Promedio Diario Anual Inicial de Camiones en Vías de Dos sentidos (AADTT) | N° de Camiones   |  | Estudio de inversión a nivel Perfil |
|   |   |   |  |  | Distribución de carga por Eje  | %  |  |                                     |
|   |   |   |  |  | Distribución de Volumen del Camion   | %  |  |                                     |
|   |   |   |  |  | Distribuciones del carril y la direccion del camion                                | %  |  |                                     |
|   |   |   |  | Clima                                    | Temperatura  | °F   |  | Informe de Temperatura de Corpac    |
| Velocidad del Viento                            |   |   |  |  | millas/h   |  |  |                                     |
| Nubosidad                                       |   |   |  |  | %  |  |  |                                     |
| Precipitación                                   |   |   |  |  | pulg.  |  |  |                                     |
| Propiedades de los materiales                   |   |   |  | Modulo resiliente                        | psi  | Estudio de inversión a nivel Perfil  |  |                                     |
|   |   |   |  | Clasificación y propiedades volumétricas | Adimensional   |  |  |                                     |
|   | Relación humedad-densidad   | %   |  |  |  |  |  |                                     |
|   | Módulo Dinámico   | psi   |  |  |  |  |  |                                     |
|   | Resistencia a la tracción indirecta   | psi   |  |  |  |  |  |                                     |
| Predicción de Deterioro                         | Propiedades volumétricas  | Adimensional  | Guía de diseño mecanístico-empírico de Pavimentos AASHTO 2015  |  |  |  |  |                                     |
|   | Profundidad Total de Ahuellamiento  | pulgadas  |  |  |  |  |  |                                     |
|   | Fisuramiento Transversal  | pies/milla  |  |  |  |  |  |                                     |
|   | Fisuramiento Piel de Cocodrilo  | %   |  |  |  |  |  |                                     |
|   | Fisuramiento Longitudinal   | pies/milla  |  |  |  |  |  |                                     |
|   | Fisuramiento Reflejado  | pulgadas  |  |  |  |  |  |                                     |
| Regularidad Superficial - IRI                   | pulgadas/milla  |   |  |  |  |  |  |                                     |
| Confiabilidad                                   | %   |   |  |  |  |  |  |                                     |
| <b>Variable dependiente:</b>                    |   |   |  |  |  |  |  |                                     |
| Capas del pavimento asfáltico                   | El pavimento flexible está constituido por 3 capas, una capa de carpeta asfáltica y dos capas con menor rigidez que son base y sub-base, estas tres capas se apoyan sobre la subrasante o terreno natural.  | En los pavimentos flexibles se dividen generalmente en 3 capas, la capa de rodadura que es de la cominación de agregados con un material bituminoso y dos capas granulares que son Base y Sub base.   | Carpeta asfáltica  | Espesor de la carpeta asfáltica          | cm   | Resultados del diseño de estructuras de pavimentos AASHTO 1993 - Diseño mecanístico-empírico de pavimentos AASHTO 2015 |  |                                     |
|   |   |   | Base   | Espesor de la base                       | cm   |  |  |                                     |
|   |   |   | Subbase  | Espesor de la subbase.                   | cm   |  |  |                                     |

Fuente: Elaboración Propia

Anexo III: Número de ejes equivalentes

|              |           |                   |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
|--------------|-----------|-------------------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|---|
| Carretera    |           |                   |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Tramo        |           | ACOMAYO-SANGARARÁ |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Cod Estación |           | E-9               |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Estación     |           | ACOMAYO           |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Día          | Automóvil | S. Wagon          | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |   |
|              |           |                   | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa         | 2019      | Total vehículos   | 120        | 38    | 52    | 1     | 103     | 74 | 29 | 6 | 0 |

| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 19     | 9  | 4  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

|   |    |        |                        |
|---|----|--------|------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehículos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = To(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados                       | r: | 3.53 % |                        |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                        |

|      |           |          |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
|------|-----------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|---|
| Día  | Automóvil | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |   |
|      |           |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa | 2023      | Total    | 125        | 40    | 54    | 2     | 107     | 77 | 31 | 7 | 0 |

| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 22     | 10 | 5  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

| TIPO DE VEHÍCULO | IMDA | TIPO   | NUMERO | CARGA | I. P. I. IMDA |        |        |
|------------------|------|--------|--------|-------|---------------|--------|--------|
|                  |      |        |        |       | FLEXIB        | FLEXIB |        |
| OMNIBUS          | 2E   | 31.00  | SIMPLE | 2     | 7             | 1.27   | 39.23  |
|                  |      | 31.00  | SIMPLE | 4     | 11            | 3.24   | 100.39 |
|                  | 3E   | 7.00   | SIMPLE | 2     | 7             | 1.27   | 8.86   |
|                  |      | 7.00   | TANDEM | 6     | 16            | 1.37   | 9.56   |
|                  | 4E   | 0.00   | TANDEM | 4     | 14            | 2.20   | 0.00   |
|                  | 0.00 | TANDEM | 6      | 16    | 1.37          | 0.00   |        |
| CAMIÓN           | 2E   | 22.00  | SIMPLE | 2     | 7             | 1.27   | 27.84  |
|                  |      | 22.00  | SIMPLE | 4     | 11            | 3.24   | 71.24  |
|                  | 3E   | 10.00  | SIMPLE | 2     | 7             | 1.27   | 12.65  |
|                  |      | 10.00  | TANDEM | 8     | 18            | 2.02   | 20.19  |
|                  | 4E   | 5.00   | SIMPLE | 2     | 7             | 1.27   | 6.33   |
|                  | 5.00 | TRIDEM | 10     | 23    | 1.51          | 7.54   |        |

Imagen III.1: Calculo de número de ejes equivalentes




Fuente: Elaboración propia















|                  |       |      |        |        |    |      |      |      |
|------------------|-------|------|--------|--------|----|------|------|------|
| SEMITR<br>AYLERS | 2S1   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 2S2   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | 2S3   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
|                  | 3S1   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 3S2  | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       |      | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       |      | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
| >=S3             |       | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
| TRAYLE<br>RS     | 2T2   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 2T3   | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 3T2   | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | >=3T3 | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       |      | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |

| Pavimento flexible                              |  |       |   |
|---|--|-------|---|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$         | Fca   | 28.37   |
| Nº de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 2 sentidos, 2 carriles por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 0.50  |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 1 572 903                                     |




Imagen III.2: Calculo de número de ejes equivalentes















Fuente: Elaboración propia

| Carretera    | CU-117  |   |            |       |       |   |         |    |    |   |   |
|--------------|---|---|------------|-------|-------|---|---------|----|----|---|---|
| Tramo        | EMP. PE-3S (CUSCO) - PARURO   |   |            |       |       |   |         |    |    |   |   |
| Cod Estación | E4  |   |            |       |       |   |         |    |    |   |   |
| Estación     | HUANCARPUQIO  |   |            |       |       |   |         |    |    |   |   |
| Día          | Automóvil   | S. Wagon  | Camionetas |       |       | Micro   | Omnibus |    |    |   |   |
|              |  |  | Pick Up    | Panel | Rural |  | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa 2019    | Total vehículos   |   | 392        | 215   | 196   | 12  | 219     | 2  | 20 | 1 | 0 |

| Camion  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |   | Traylers  |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2   | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |   |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 112   | 19  | 4   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 30  | 0   | 0   | 0   | 0   |   |

|   |    |        |                          |
|---|----|--------|--------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos livianos                      | r: | 1.25 % | $T_n = T_o(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados                       | r: | 3.50 % |                          |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                          |

| Carretera    | CU-117   |  |            |       |       |  |         |    |    |   |   |
|--------------|--|--|------------|-------|-------|--|---------|----|----|---|---|
| Tramo        | EMP. PE-3S (CUSCO) - PARURO  |  |            |       |       |  |         |    |    |   |   |
| Cod Estación | E4   |  |            |       |       |  |         |    |    |   |   |
| Estación     | HUANCARPUQIO   |  |            |       |       |  |         |    |    |   |   |
| Día          | Automóvil  | S. Wagon   | Camionetas |       |       | Micro  | Omnibus |    |    |   |   |
|              |  |  | Pick Up    | Panel | Rural |  | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa 2023    | Total  |  | 407        | 224   | 204   | 13   | 228     | 3  | 21 | 2 | 0 |

| Camion  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |   | Traylers  |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2   | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |   |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 125   | 22  | 5   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 34  | 0   | 0   | 0   | 0   |   |

| TIPO DE VEHI' CULO |      | IMDa   | TIPO   | NUMERO  | CARGA              | "f" P.   | f. IMDa  |
|--------------------|------|--------|--------|---------|--------------------|----------|----------|
|                    |      | 2023   | EJE    | LLANTAS | EJE T <sub>n</sub> | FLEXIBLE | FLEXIBLE |
| OMNIBUS            | 2E   | 21.00  | SIMPLE | 2       | 7                  | 1.27     | 26.57    |
|                    |      | 21.00  | SIMPLE | 4       | 11                 | 3.24     | 68.00    |
|                    | 3E   | 2.00   | SIMPLE | 2       | 7                  | 1.27     | 2.53     |
|                    |      | 2.00   | TANDEM | 6       | 16                 | 1.37     | 2.73     |
|                    | 4E   | 0.00   | TANDEM | 4       | 14                 | 2.20     | 0.00     |
|                    | 0.00 | TANDEM | 6      | 16      | 1.37               | 0.00     |          |
| CAMIÓN             | 2E   | 125.00 | SIMPLE | 2       | 7                  | 1.27     | 158.17   |
|                    |      | 125.00 | SIMPLE | 4       | 11                 | 3.24     | 404.79   |
|                    | 3E   | 22.00  | SIMPLE | 2       | 7                  | 1.27     | 27.84    |
|                    |      | 22.00  | TANDEM | 8       | 18                 | 2.02     | 44.42    |
|                    | 4E   | 5.00   | SIMPLE | 2       | 7                  | 1.27     | 6.33     |
|                    | 5.00 | TRIDEM | 10     | 23      | 1.51               | 7.54     |          |

Imagen III.3: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |       |       |        |    |    |      |       |
|--------------|-------|-------|--------|----|----|------|-------|
| SEMITRAYLERS | 2S1   | 2.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 2.53  |
|              |       | 2.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 6.48  |
|              |       | 2.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 6.48  |
|              | 2S2   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              | 2S3   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TRIDEM | 12 | 25 | 1.71 | 0.00  |
|              | 3S1   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              | 3S2   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              | >=S3  | 34.00 | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 43.02 |
|              |       | 34.00 | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 68.65 |
|              |       | 34.00 | TRIDEM | 12 | 25 | 1.71 | 58.00 |
| TRAYLERS     | 2T2   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              | 2T3   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              | 3T2   | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              | >=3T3 | 0.00  | SIMPLE | 2  | 7  | 1.27 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | SIMPLE | 4  | 11 | 3.24 | 0.00  |
|              |       | 0.00  | TANDEM | 8  | 18 | 2.02 | 0.00  |

| Pavimento flexible   |       |   |
|--|-------|---|
| Factor Fca vehiculos pesados $Factor Fca = \frac{(1+r)^n-1}{r}$                      | Fca   | 28.28   |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido                                      |       | 1 calzada, 2 sentidos, 2 carriles por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)   | Fc*Fd | 0.50  |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)<br>$\#EE = 365 * (\Sigma f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 4 820 873                                     |

Imagen III.4: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |           |                          |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
|--------------|-----------|--------------------------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|---|
| Carretera    |           | SANGARARÁ-DV. POMACANCHI |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Tramo        |           | E-10                     |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Cod Estación |           | SANGARARÁ                |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Estación     |           | SANGARARÁ                |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
| Día          | Automóvil | S. Wagon                 | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |   |
|              |           |                          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa         | 2019      | Total vehículos          | 68         | 66    | 51    | 27    | 25      | 2  | 21 | 6 | 0 |

|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 37     | 10 | 0  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

|   |    |        |                        |
|---|----|--------|------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = To(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados                       | r: | 3.53 % |                        |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                        |

|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 42     | 12 | 0  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

|      |           |          |            |       |       |       |         |    |    |   |   |
|------|-----------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|---|
| Día  | Automóvil | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |   |
|      |           |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa | 2023      | Total    | 71         | 69    | 53    | 29    | 26      | 3  | 22 | 7 | 0 |

| TIPO DE VEHI' CULO | IMDA | TIPO EJE | NUMERO LLANTAS | CARGA EJE Tn | "f" P. FLEXIBLE  |                  |        |
|--------------------|------|----------|----------------|--------------|------------------|------------------|--------|
|                    |      |          |                |              | f. IMDA FLEXIBLE | f. IMDA FLEXIBLE |        |
| OMNIBUS            | 2E   | 22.00    | SIMPLE         | 2            | 7                | 1.27             | 27.84  |
|                    |      | 22.00    | SIMPLE         | 4            | 11               | 3.24             | 71.24  |
|                    | 3E   | 7.00     | SIMPLE         | 2            | 7                | 1.27             | 8.86   |
|                    |      | 7.00     | TANDEM         | 6            | 16               | 1.37             | 9.56   |
|                    | 4E   | 0.00     | TANDEM         | 4            | 14               | 2.20             | 0.00   |
|                    | 0.00 | TANDEM   | 6              | 16           | 1.37             | 0.00             |        |
| CAMIÓN             | 2E   | 42.00    | SIMPLE         | 2            | 7                | 1.27             | 53.15  |
|                    |      | 42.00    | SIMPLE         | 4            | 11               | 3.24             | 136.01 |
|                    | 3E   | 12.00    | SIMPLE         | 2            | 7                | 1.27             | 15.18  |
|                    |      | 12.00    | TANDEM         | 8            | 18               | 2.02             | 24.23  |
|                    | 4E   | 0.00     | SIMPLE         | 2            | 7                | 1.27             | 0.00   |
|                    | 0.00 | TRIDEM   | 10             | 23           | 1.51             | 0.00             |        |

Imagen III.5: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia



|                  |       |      |        |        |    |      |      |      |
|------------------|-------|------|--------|--------|----|------|------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 2S2   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | 2S3   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
|                  | 3S1   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 3S2   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | >=S3  | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
| TRAYLERS         | 2T2   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 2T3   | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 3T2   | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | >=3T3 | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       |      | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |

| Pavimento flexible   |       |   |
|--|-------|---|
| Factor Fca vehiculos pesados $Factor Fca = \frac{(1+r)^n-1}{r}$                      | Fca   | 28.37   |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido                                      |       | 1 calzada, 2 sentidos, 2 carriles por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)   | Fc*Fd | 0.50  |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)<br>$\#EE = 365 * (\Sigma f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 1 791 587                                     |

Imagen III.6: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |                           |
|--------------|---------------------------|
| Carretera    | CU 117                    |
| Tramo        | POMACANCHI- CHUQUICAHUANA |
| Cod Estación | E-11                      |
| Estación     | POMACANCHI                |

| Día                    | Automóvil  | S. Wagon   | Camionetas |           |           | Micro     | Omnibus   |          |          |
|------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
|                        |            |            | Pick Up    | Panel     | Rural     |           | 2E        | 3E       | 4E       |
| IMDa 2019              |            |            |            |           |           |           |           |          |          |
| <b>Total vehículos</b> | <b>183</b> | <b>201</b> | <b>120</b> | <b>21</b> | <b>43</b> | <b>10</b> | <b>31</b> | <b>2</b> | <b>0</b> |

| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 59     | 5  | 4  | 1            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 1   | 0   | 0     |

|   |    |        |                        |
|---|----|--------|------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = To(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados                       | r: | 3.50 % |                        |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                        |

| Día          | Automóvil  | S. Wagon   | Camionetas |           |           | Micro     | Omnibus   |          |          |
|--------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
|              |            |            | Pick Up    | Panel     | Rural     |           | 2E        | 3E       | 4E       |
| IMDa 2023    |            |            |            |           |           |           |           |          |          |
| <b>Total</b> | <b>190</b> | <b>209</b> | <b>125</b> | <b>22</b> | <b>45</b> | <b>11</b> | <b>33</b> | <b>3</b> | <b>0</b> |

| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 66     | 6  | 5  | 2            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 2   | 0   | 0     |

| TIPO DE VEHICULO | IMDa | TIPO EJE | NUMERO LLANTAS | CARGA EJE Tn | "f" P. FLEXIBLE | f. IMDA FLEXIBLE |        |
|------------------|------|----------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------|
|                  |      |          |                |              |                 |                  | 2023   |
| OMNIBUS          | 2E   | 33.00    | SIMPLE         | 2            | 7               | 1.27             | 41.76  |
|                  |      | 33.00    | SIMPLE         | 4            | 11              | 3.24             | 106.86 |
|                  | 3E   | 3.00     | SIMPLE         | 2            | 7               | 1.27             | 3.80   |
|                  |      | 3.00     | TANDEM         | 6            | 16              | 1.37             | 4.10   |
|                  | 4E   | 0.00     | TANDEM         | 4            | 14              | 2.20             | 0.00   |
|                  |      | 0.00     | TANDEM         | 6            | 16              | 1.37             | 0.00   |
| CAMIÓN           | 2E   | 66.00    | SIMPLE         | 2            | 7               | 1.27             | 83.51  |
|                  |      | 66.00    | SIMPLE         | 4            | 11              | 3.24             | 213.73 |
|                  | 3E   | 6.00     | SIMPLE         | 2            | 7               | 1.27             | 7.59   |
|                  |      | 6.00     | TANDEM         | 8            | 18              | 2.02             | 12.12  |
|                  | 4E   | 5.00     | SIMPLE         | 2            | 7               | 1.27             | 6.33   |
|                  |      | 5.00     | TRIDEM         | 10           | 23              | 1.51             | 7.54   |

Imagen III.7: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|                  |       |        |        |    |      |      |      |
|------------------|-------|--------|--------|----|------|------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1   | 2.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 2.53 |
|                  |       | 2.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 6.48 |
|                  |       | 2.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 6.48 |
|                  | 2S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  | 2S3   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TRIDEM | 12 | 25   | 1.71 | 0.00 |
|                  | 3S1   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 3S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  | >=S3  | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TRIDEM | 12 | 25   | 1.71 | 0.00 |
| TRAYLERS         | 2T2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 2T3   | 2.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 2.53 |
|                  |       | 2.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 6.48 |
|                  |       | 2.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 6.48 |
|                  | 3T2   | 2.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 4.04 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | >=3T3 | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
| 0.00             |       | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |

| Pavimento flexible                              |  |       |   |
|---|--|-------|---|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor\ Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$          | Fca   | 28.28   |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 2 sentidos, 2 carriles por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 0.50  |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\Sigma f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 2 695 804                                     |

Imagen III.8: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |                  |
|--------------|------------------|
| Carretera    | CU 117           |
| Tramo        | PARURO-CUSIBAMBA |
| Cod Estación | E-5              |

| Día       | Automóvil       | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |   |
|-----------|-----------------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|---|
|           |                 |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa 2019 | Total vehículos |          | 170        | 59    | 60    | 6     | 74      | 2  | 1  | 0 | 0 |

| Camión |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 42     | 1  | 0  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

|   |    |        |                         |
|---|----|--------|-------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehículos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = T_0(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados                       | r: | 3.50 % |                         |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                         |

| Día       | Automóvil | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |   |
|-----------|-----------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|---|
|           |           |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |   |
| IMDa 2023 | Total     |          | 177        | 62    | 63    | 7     | 77      | 3  | 2  | 0 | 0 |

| Camión |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 47     | 2  | 0  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

| TIPO DE VEHÍCULO | IMDA   | TIPO EJE | NUMERO LLANTAS | CARGA EJE Tn | "f" P. FLEXIBLE | f. IMDA FLEXIBLE |
|------------------|--------|----------|----------------|--------------|-----------------|------------------|
|                  |        |          |                |              |                 |                  |
| OMNIBUS          | 2E     | SIMPLE   | 2              | 7            | 1.27            | 2.53             |
|                  |        |          |                |              |                 | 6.48             |
|                  | 3E     | SIMPLE   | 2              | 7            | 1.27            | 0.00             |
|                  |        |          |                |              |                 | 0.00             |
|                  |        | TANDEM   | 6              | 16           | 1.37            | 0.00             |
|                  |        |          |                |              |                 | 0.00             |
| 4E               | TANDEM | 4        | 14             | 2.20         | 0.00            |                  |
|                  |        |          |                |              | 0.00            |                  |
| CAMIÓN           | 2E     | SIMPLE   | 2              | 7            | 1.27            | 59.47            |
|                  |        |          |                |              |                 | 152.20           |
|                  | 3E     | SIMPLE   | 2              | 7            | 1.27            | 2.53             |
|                  |        |          |                |              |                 | 4.04             |
|                  |        | TANDEM   | 8              | 18           | 2.02            | 0.00             |
|                  |        |          |                |              |                 | 0.00             |
|                  | 4E     | SIMPLE   | 2              | 7            | 1.27            | 0.00             |
|                  |        |          |                |              |                 | 0.00             |
|                  |        | TRIDEM   | 10             | 23           | 1.51            | 0.00             |

Imagen III.9: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|                  |       |        |        |    |      |      |      |
|------------------|-------|--------|--------|----|------|------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 2S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  | 2S3   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TRIDEM | 12 | 25   | 1.71 | 0.00 |
|                  | 3S1   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 3S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
| >=S3             | 0.00  | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  | 0.00  | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | 0.00  | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
| TRAYLERS         | 2T2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 2T3   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 3T2   | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | >=3T3 | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
| 0.00             |       | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |










| Pavimento flexible                              |  |       |  |
|---|--|-------|--|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor\ Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$        | Fca   | 28.28                                      |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 1 sentido, 1 carril por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 1.00                                       |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 2 345 675                                  |














Imagen III.10: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |                  |
|--------------|------------------|
| Carretera    | CU 117           |
| Tramo        | CUSIBAMBA- ACCHA |
| Cod Estación | E-6              |
| Estación     | CUSIBAMBA        |














  

| Día       | Automóvil   | S. Wagon  | Camionetas  |   |  | Micro   | Omnibus   |   |   |   |   |
|-----------|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|
|           |   |   | Pick Up   | Panel   | Rural  |   | 2E  | 3E  | 4E  |   |   |
|           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |
| IMDa 2019 | Total vehículos   |   | 29  | 13  | 18   | 7   | 16  | 7   | 3   | 1 | 0 |

| Camión  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |   |  | Traylers  |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2  | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12  | 7   | 2   | 1   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |  |

|   |    |        |                         |
|---|----|--------|-------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehículos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = T_0(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados                       | r: | 3.50 % |                         |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                         |

| Día       | Automóvil   | S. Wagon  | Camionetas  |   |  | Micro   | Omnibus   |   |   |   |   |
|-----------|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|
|           |   |   | Pick Up   | Panel   | Rural  |   | 2E  | 3E  | 4E  |   |   |
|           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |   |   |
| IMDa 2023 | Total   |   | 31  | 14  | 19   | 8   | 17  | 8   | 4   | 2 | 0 |

| Camión  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |   |  | Traylers  |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2  | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14  | 9   | 3   | 2   | 0   | 3   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   |  |

| TIPO DE VEHÍCULO | IMDA | TIPO   | NUMERO | CARGA | "f" P. | f. IMDA |       |
|------------------|------|--------|--------|-------|--------|---------|-------|
|                  |      |        |        |       |        |         | EJE   |
| OMNIBUS          | 2E   | 4.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 5.06  |
|                  |      | 4.00   | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 12.95 |
|                  | 3E   | 2.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 2.53  |
|                  |      | 2.00   | TANDEM | 6     | 16     | 1.37    | 2.73  |
|                  | 4E   | 0.00   | TANDEM | 4     | 14     | 2.20    | 0.00  |
|                  | 0.00 | TANDEM | 6      | 16    | 1.37   | 0.00    |       |
| CAMIÓN           | 2E   | 14.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 17.72 |
|                  |      | 14.00  | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 45.34 |
|                  | 3E   | 9.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 11.39 |
|                  |      | 9.00   | TANDEM | 8     | 18     | 2.02    | 18.17 |
|                  | 4E   | 3.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 3.80  |
|                  | 3.00 | TRIDEM | 10     | 23    | 1.51   | 4.52    |       |

Imagen III.11: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|                  |          |        |        |        |      |      |      |      |
|------------------|----------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1      | 2.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 2.53 |      |
|                  |          | 2.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 6.48 |      |
|                  |          | 2.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 6.48 |      |
|                  | 2S2      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | 2S3      | 3.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 3.80 |      |
|                  |          | 3.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 9.71 |      |
|                  |          | 3.00   | TRIDEM | 12     | 25   | 1.71 | 5.12 |      |
|                  | 3S1      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 3S2      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | >=S3     | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TRIDEM | 12     | 25   | 1.71 | 0.00 |      |
|                  | TRAYLERS | 2T2    | 0.00   | SIMPLE | 2    | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |          |        | 0.00   | SIMPLE | 4    | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |          |        | 0.00   | SIMPLE | 4    | 11   | 3.24 | 0.00 |
| 0.00             |          |        | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
| 2T3              |          | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
| 3T2              |          | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
| >=3T3            |          | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 0.00     | TANDEM | 8      | 18     | 2.02 | 0.00 |      |      |










| Pavimento flexible                              |  |       |  |
|---|--|-------|--|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$         | Fca   | 28.28                                      |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 1 sentido, 1 carril por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 1.00                                       |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 1 634 225                                  |














Imagen III.12: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia










|              |                 |
|--------------|-----------------|
| Carretera    | CU 117          |
| Tramo        | ACCHA-PILLPINTO |
| Cod Estación | E-7             |
| Estación     | ACCHA           |














  

| Día | Automóvil<br> | S. Wagon<br> | Camionetas   |  |   | Micro<br> | Omnibus   |   |   |   |    |
|-----|--|---|--|--|---|--|---|---|---|---|----|
|     |  |   | Pick Up<br> | Panel<br> | Rural<br> |  | 2E<br> | 3E<br> | 4E<br> |   |    |
|     |  |   | 2019   | Total vehículos  |   |  | 49  | 20  | 25  | 7 | 18 |

| Camión  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |  |   | Traylers  |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|--|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3  | 2T2   | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16  | 7   | 1   | 0   | 0   | 2   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |  |

|   |    |        |                         |
|---|----|--------|-------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = T_0(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados                       | r: | 3.50 % |                         |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                         |

| Día | Automóvil<br> | S. Wagon<br> | Camionetas   |  |   | Micro<br> | Omnibus   |   |   |   |    |
|-----|--|---|--|--|---|--|---|---|---|---|----|
|     |  |   | Pick Up<br> | Panel<br> | Rural<br> |  | 2E<br> | 3E<br> | 4E<br> |   |    |
|     |  |   | 2023   | Total  |   |  | 51  | 21  | 26  | 8 | 19 |

| Camión  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |  |   | Traylers  |   |   |  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|--|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3  | 2T2   | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18  | 9   | 2   | 0   | 0   | 3   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   |  |

| TIPO DE VEHI' CULO | IMDA | TIPO  | NUMERO | CARGA | "f" P. | f. IMDA |       |
|--------------------|------|-------|--------|-------|--------|---------|-------|
|                    |      |       |        |       |        |         | 2023  |
| OMNIBUS            | 2E   | 2.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 2.53  |
|                    |      | 2.00  | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 6.48  |
|                    | 3E   | 2.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 2.53  |
|                    |      | 2.00  | TANDEM | 6     | 16     | 1.37    | 2.73  |
|                    | 4E   | 0.00  | TANDEM | 4     | 14     | 2.20    | 0.00  |
|                    |      | 0.00  | TANDEM | 6     | 16     | 1.37    | 0.00  |
| CAMIÓN             | 2E   | 18.00 | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 22.78 |
|                    |      | 18.00 | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 58.29 |
|                    | 3E   | 9.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 11.39 |
|                    |      | 9.00  | TANDEM | 8     | 18     | 2.02    | 18.17 |
|                    | 4E   | 2.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 2.53  |
|                    |      | 2.00  | TRIDEM | 10    | 23     | 1.51    | 3.02  |

Imagen III.13: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia



|                  |          |      |        |        |    |      |      |      |
|------------------|----------|------|--------|--------|----|------|------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1      | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 2S2      | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | 2S3      | 3.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 3.80 |      |
|                  |          | 3.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 9.71 |      |
|                  |          | 3.00 | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 5.12 |      |
|                  | 3S1      | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  | 3S2      | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | >=S3     | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
|                  | TRAYLERS | 2T2  | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |          |      | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |          |      | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
| 2T3              |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
| 3T2              |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
| >=3T3            |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | SIMPLE | 4      | 11 | 3.24 | 0.00 |      |
|                  |          | 0.00 | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  |          |      | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |          |      | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |

| Pavimento flexible                              |  |       |  |
|---|--|-------|--|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$         | Fca   | 28.28                                      |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 1 sentido, 1 carril por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 1.00                                       |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 1 538 745                                  |

Imagen III.14: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |                |
|--------------|----------------|
| Carretera    | CU 124         |
| Tramo        | ACOS - ACOMAYO |
| Cod Estación | E-8            |
| Estación     | ACOS           |

| Día       | Automóvil              | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |
|-----------|------------------------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|
|           |                        |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |
| IMDa 2019 |                        |          |            |       |       |       |         |    |    |   |
|           | <b>Total vehículos</b> | 93       | 31         | 26    | 8     | 28    | 0       | 1  | 0  | 0 |

| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 39     | 6  | 0  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

|   |    |        |                         |
|---|----|--------|-------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = T_0(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados                       | r: | 3.50 % |                         |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                         |

| Día       | Automóvil    | S. Wagon | Camionetas |       |       | Micro | Omnibus |    |    |   |
|-----------|--------------|----------|------------|-------|-------|-------|---------|----|----|---|
|           |              |          | Pick Up    | Panel | Rural |       | 2E      | 3E | 4E |   |
| IMDa 2023 |              |          |            |       |       |       |         |    |    |   |
|           | <b>Total</b> | 97       | 33         | 27    | 9     | 30    | 0       | 2  | 0  | 0 |

| Camion |    |    | Semitraylers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 44     | 7  | 0  | 0            | 0   | 0   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

| TIPO DE VEHICULO | IMDA | TIPO   | NUMERO  | CARGA  | "f" P.   | f. IMDA  |        |
|------------------|------|--------|---------|--------|----------|----------|--------|
|                  |      |        |         |        |          |          | TIPO   |
|                  | 2023 | EJE    | LLANTAS | EJE Tn | FLEXIBLE | FLEXIBLE |        |
| OMNIBUS          | 2E   | 2.00   | SIMPLE  | 2      | 7        | 1.27     | 2.53   |
|                  |      | 2.00   | SIMPLE  | 4      | 11       | 3.24     | 6.48   |
|                  | 3E   | 0.00   | SIMPLE  | 2      | 7        | 1.27     | 0.00   |
|                  |      | 0.00   | TANDEM  | 6      | 16       | 1.37     | 0.00   |
|                  | 4E   | 0.00   | TANDEM  | 4      | 14       | 2.20     | 0.00   |
|                  | 0.00 | TANDEM | 6       | 16     | 1.37     | 0.00     |        |
| CAMIÓN           | 2E   | 44.00  | SIMPLE  | 2      | 7        | 1.27     | 55.68  |
|                  |      | 44.00  | SIMPLE  | 4      | 11       | 3.24     | 142.48 |
|                  | 3E   | 7.00   | SIMPLE  | 2      | 7        | 1.27     | 8.86   |
|                  |      | 7.00   | TANDEM  | 8      | 18       | 2.02     | 14.13  |
|                  | 4E   | 0.00   | SIMPLE  | 2      | 7        | 1.27     | 0.00   |
|                  | 0.00 | TRIDEM | 10      | 23     | 1.51     | 0.00     |        |

Imagen III.15: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|                  |       |        |        |    |      |      |      |
|------------------|-------|--------|--------|----|------|------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 2S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  | 2S3   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TRIDEM | 12 | 25   | 1.71 | 0.00 |
|                  | 3S1   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 3S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
| >=S3             | 0.00  | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |      |
|                  | 0.00  | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |      |
|                  | 0.00  | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |      |
| TRAYLERS         | 2T2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 2T3   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | 3T2   | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  | >=3T3 | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00 |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00 |

| Pavimento flexible                              |  |       |  |
|---|--|-------|--|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$         | Fca   | 28.37                                      |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 1 sentido, 1 carril por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 1.00                                       |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 2 383 069                                  |

Imagen III.16: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| Carretera    | CU 124                |
| Tramo        | PITUMARCA - AUSANGATE |
| Cod Estación | E-2                   |
| Estación     | PITUMARCA             |

| Día                    | Automóvil  | S. Wagon  | Camionetas |           |            | Micro    | Omnibus  |          |          |
|------------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|
|                        |            |           | Pick Up    | Panel     | Rural      |          | 2E       | 3E       | 4E       |
| 2019                   |            |           |            |           |            |          |          |          |          |
| <b>Total vehículos</b> | <b>143</b> | <b>69</b> | <b>53</b>  | <b>13</b> | <b>102</b> | <b>7</b> | <b>6</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |

| Camion |    |    | Semitrailers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 47     | 3  | 7  | 1            | 0   | 7   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

|   |    |        |                         |
|---|----|--------|-------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = T_0(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehiculos pesados                       | r: | 3.50 % |                         |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                         |

| Día          | Automóvil  | S. Wagon  | Camionetas |           |            | Micro    | Omnibus  |          |          |
|--------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|----------|----------|----------|----------|
|              |            |           | Pick Up    | Panel     | Rural      |          | 2E       | 3E       | 4E       |
| 2023         |            |           |            |           |            |          |          |          |          |
| <b>Total</b> | <b>149</b> | <b>72</b> | <b>56</b>  | <b>14</b> | <b>106</b> | <b>8</b> | <b>7</b> | <b>0</b> | <b>0</b> |

| Camion |    |    | Semitrailers |     |     |     |     |       | Traylers |     |     |       |
|--------|----|----|--------------|-----|-----|-----|-----|-------|----------|-----|-----|-------|
| 2E     | 3E | 4E | 2S1          | 2S2 | 2S3 | 3S1 | 3S2 | >=3S3 | 2T2      | 2T3 | 3T2 | >=3T3 |
|        |    |    |              |     |     |     |     |       |          |     |     |       |
| 53     | 4  | 9  | 2            | 0   | 8   | 0   | 0   | 0     | 0        | 0   | 0   | 0     |

| TIPO DE VEHÍCULO | IMDA | TIPO   | NUMERO | CARGA | "f" P. | f. IMDA |        |
|------------------|------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|
|                  |      |        |        |       |        |         | 2023   |
| OMNIBUS          | 2E   | 7.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 8.86   |
|                  |      | 7.00   | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 22.67  |
|                  | 3E   | 0.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 0.00   |
|                  |      | 0.00   | TANDEM | 6     | 16     | 1.37    | 0.00   |
|                  |      | 0.00   | TANDEM | 4     | 14     | 2.20    | 0.00   |
| CAMIÓN           |      | 0.00   | TANDEM | 6     | 16     | 1.37    | 0.00   |
|                  | 2E   | 53.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 67.06  |
|                  |      | 53.00  | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 171.63 |
|                  | 3E   | 4.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 5.06   |
|                  |      | 4.00   | TANDEM | 8     | 18     | 2.02    | 8.08   |
|                  | 9.00 | SIMPLE | 2      | 7     | 1.27   | 11.39   |        |
|                  | 9.00 | TRIDEM | 10     | 23    | 1.51   | 13.57   |        |

Imagen III.17: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia










|                  |       |        |        |    |      |      |       |
|------------------|-------|--------|--------|----|------|------|-------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1   | 2.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 2.53  |
|                  |       | 2.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 6.48  |
|                  |       | 2.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 6.48  |
|                  | 2S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
|                  | 2S3   | 8.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 10.12 |
|                  |       | 8.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 25.91 |
|                  |       | 8.00   | TRIDEM | 12 | 25   | 1.71 | 13.65 |
|                  | 3S1   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  | 3S2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
| >=S3             | 0.00  | SIMPLE | 2      | 7  | 1.27 | 0.00 |       |
|                  | 0.00  | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |       |
|                  | 0.00  | TRIDEM | 12     | 25 | 1.71 | 0.00 |       |
| TRAYLERS         | 2T2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  | 2T3   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
|                  | 3T2   | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
|                  | >=3T3 | 0.00   | SIMPLE | 2  | 7    | 1.27 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | TANDEM | 8  | 18   | 2.02 | 0.00  |
|                  |       | 0.00   | SIMPLE | 4  | 11   | 3.24 | 0.00  |
| 0.00             |       | TANDEM | 8      | 18 | 2.02 | 0.00 |       |














| Pavimento flexible   |       |  |
|--|-------|--|
| Factor Fca vehiculos pesados $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$                    | Fca   | 28.28                                      |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido                                      |       | 1 calzada, 1 sentido, 1 carril por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)   | Fc*Fd | 1.00                                       |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)<br>$\#EE = 365 * (\Sigma f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 3 855 100                                  |

Imagen III.18: Calculo de número de ejes equivalentes










Fuente: Elaboración propia














|           |                 |
|-----------|-----------------|
| Carretera | PE-110          |
| Tramo     | CALZADA-SORITOR |

| Día  | Automóvil<br> | S. Wagon<br> | Camionetas   |  |   | Micro<br> | Omnibus   |   |   |   |   |
|------|--|---|--|--|---|--|---|---|---|---|---|
|      |  |   | Pick Up<br> | Panel<br> | Rural<br> |  | 2E<br> | 3E<br> | 4E<br> |   |   |
| 2015 | Total vehículos  |   | 147  | 281  | 54  | 17   | 77  | 0   | 0   | 0 | 0 |

| Camión  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |   | Trailers   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2  | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 75  | 39  | 0   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 1  | 0   | 0   | 0   |

|   |    |        |                         |
|---|----|--------|-------------------------|
| Tasa anual de crecimiento Vehículos livianos                      | r: | 1.25 % | $Tn = T_0(1 + r)^{n-1}$ |
| Tasa anual de crecimiento Vehículos pesados                       | r: | 3.50 % |                         |
| Tiempo que pasa del estudio de proyecto hasta la ejecución (años) | n: | 4      |                         |

| Día  | Automóvil<br> | S. Wagon<br> | Camionetas   |  |   | Micro<br> | Omnibus   |   |   |   |   |
|------|--|---|--|--|---|--|---|---|---|---|---|
|      |  |   | Pick Up<br> | Panel<br> | Rural<br> |  | 2E<br> | 3E<br> | 4E<br> |   |   |
| 2019 | Total  |   | 165  | 316  | 61  | 20   | 87  | 0   | 0   | 0 | 0 |

| Camión  |   |   | Semitrailers  |   |   |   |   |   | Trailers   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|
| 2E  | 3E  | 4E  | 2S1   | 2S2   | 2S3   | 3S1   | 3S2   | >=3S3   | 2T2  | 2T3   | 3T2   | >=3T3   |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 87  | 48  | 0   | 5   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 2  | 0   | 0   | 0   |

| TIPO DE VEHÍCULO | IMDA | TIPO   | NUMERO | CARGA | "f" P. | f. IMDA |        |
|------------------|------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|
|                  |      |        |        |       |        |         | 2019   |
| OMNIBUS          | 2E   | 0.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 0.00   |
|                  |      | 0.00   | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 0.00   |
|                  | 3E   | 0.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 0.00   |
|                  |      | 0.00   | TANDEM | 6     | 16     | 1.37    | 0.00   |
|                  | 4E   | 0.00   | TANDEM | 4     | 14     | 2.20    | 0.00   |
|                  | 0.00 | TANDEM | 6      | 16    | 1.37   | 0.00    |        |
| CAMIÓN           | 2E   | 87.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 110.09 |
|                  |      | 87.00  | SIMPLE | 4     | 11     | 3.24    | 281.73 |
|                  | 3E   | 48.00  | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 60.74  |
|                  |      | 48.00  | TANDEM | 8     | 18     | 2.02    | 96.92  |
|                  | 4E   | 0.00   | SIMPLE | 2     | 7      | 1.27    | 0.00   |
|                  | 0.00 | TRIDEM | 10     | 23    | 1.51   | 0.00    |        |

Imagen III.19: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

|                  |          |        |        |        |      |      |       |      |
|------------------|----------|--------|--------|--------|------|------|-------|------|
| SEMITRAY<br>LERS | 2S1      | 5.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 6.33  |      |
|                  |          | 5.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 16.19 |      |
|                  |          | 5.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 16.19 |      |
|                  | 2S2      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  | 2S3      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TRIDEM | 12     | 25   | 1.71 | 0.00  |      |
|                  | 3S1      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  | 3S2      | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  | >=S3     | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TRIDEM | 12     | 25   | 1.71 | 0.00  |      |
|                  | TRAYLERS | 2T2    | 2.00   | SIMPLE | 2    | 7    | 1.27  | 2.53 |
|                  |          |        | 2.00   | SIMPLE | 4    | 11   | 3.24  | 6.48 |
|                  |          |        | 2.00   | SIMPLE | 4    | 11   | 3.24  | 6.48 |
| 2.00             |          |        | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 6.48  |      |
| 2T3              |          | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
| 3T2              |          | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
| >=3T3            |          | 0.00   | SIMPLE | 2      | 7    | 1.27 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | TANDEM | 8      | 18   | 2.02 | 0.00  |      |
|                  |          | 0.00   | SIMPLE | 4      | 11   | 3.24 | 0.00  |      |
|                  | 0.00     | TANDEM | 8      | 18     | 2.02 | 0.00 |       |      |

| Pavimento flexible                              |  |       |  |
|---|--|-------|--|
| Factor Fca vehiculos pesados                    | $Factor Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$         | Fca   | 33.07  |
| N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido |  |       | 1 calzada, 1 sentido, 2 carriles por sentido |
| Factor direccional*Factor carril (Fd*Fc)        |  | Fc*Fd | 0.80   |
| Número de ejes equivalentes (ESAL)              | $\#EE = 365 * (\sum f.IMDa) * Fd * Fc * Fca$ | ESAL  | 5 891 136                                    |

Imagen III.20: Calculo de número de ejes equivalentes

Fuente: Elaboración propia

Anexo IV: Diseño AASHTO 93

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | ACOMAYO - SANGARARÁ                  |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |           |   |
|---------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00     | años  |
| CBR                             | = | 18.02     | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 16258.256 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 1.57E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |           |   |
| PSIo                            | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50      |   |
| Confiabilidad, R                | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 2.71

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | Mr    | Coef. Capa | Coef. Dren. |
|-------------------|-------|-------|------------|-------------|
|                   |       | Psi   | ai         | mi          |
| Carpeta Asfáltica | --    |       | 0.170      | --          |
| Base              | 100   | 48685 | 0.052      | 1           |
| Subbase           | 40    | 27084 | 0.047      | 1           |
| Subrasante        | 18.02 | 16258 | --         | --          |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la  
tabla  
12:

D1= 9 cm  
D2= 20 cm

entonces: D3= 3 cm → 15 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2= 3.28 > SN1 = 2.71

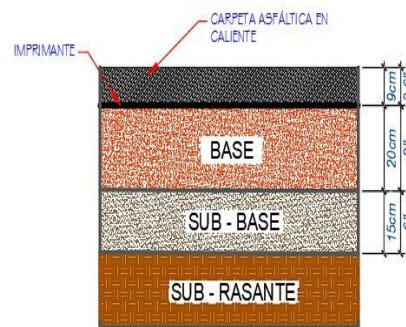


Imagen IV.1: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia



|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | EMP. PE-3S (CUSCO) - PARURO          |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |           |   |
|---------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00     | años  |
| CBR                             | = | 21.78     | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 18352.031 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 4.82E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |           |   |
| PSIo                            | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50      |   |
| Confianza, R                    | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

#### Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 3.13

#### Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 21.78 | 18352         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:

$$\left\{ \begin{array}{l} D1 = 9 \text{ cm} \\ D2 = 20 \text{ cm} \end{array} \right.$$

entonces: D3 = 12 cm → 15 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2 = 3 > SN1 = 3.13

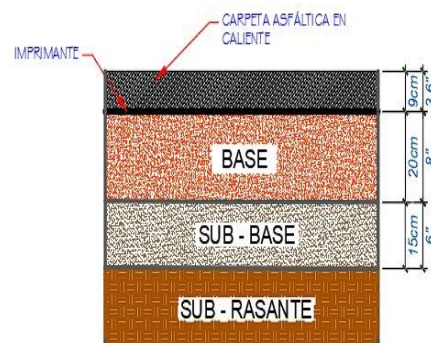


Imagen IV.2: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | SANGARARÁ-DV. POMACANCHI             |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |           |   |
|---------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00     | años  |
| CBR                             | = | 13.12     | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 13269.928 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 1.79E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |           |   |
| PSIo                            | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50      |   |
| Confianbilidad, R               | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 3.00

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 13.12 | 13270         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:

D1= 9 cm

D2= 20 cm

entonces: D3= 10 cm → 15 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2= 3.28 > SN1 = 3.00

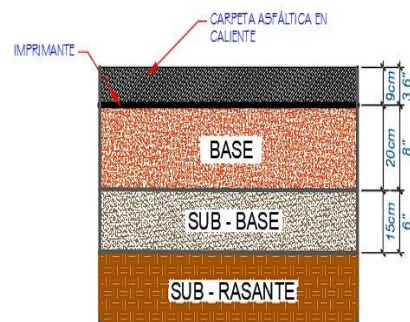


Imagen IV.3: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | POMACANCHI- CHUQUICAHUANA            |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                   |   |           |   |
|-----------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n              | = | 20.00     | años  |
| CBR                               | = | 27.34     | %   |
| Modulo Resiliente                 | = | 21229.607 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub>   | = | 2.70E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad         |   |           |   |
| PSIo                              | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                              | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                              | = | 1.50      |   |
| Confiabilidad, R                  | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, Z <sub>R</sub> | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, S <sub>o</sub>    | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 2.67

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 27.34 | 21230         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:  $\left\{ \begin{array}{l} D1 = 9 \text{ cm} \\ D2 = 20 \text{ cm} \end{array} \right.$

entonces:  $D3 = 3 \text{ cm} \rightarrow 15 \text{ cm}$

Si  $SN2 > SN1$ , cumplen los espesores de las capas  
 $SN2 = 3.28 > SN1 = 2.67$

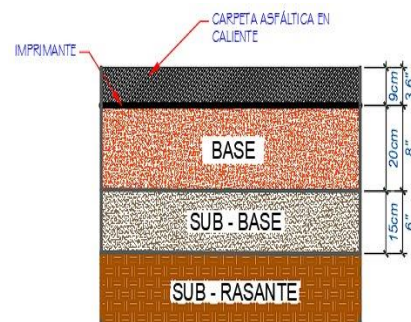


Imagen IV.4: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | PARURO - DV.CUSIBAMBA                |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |           |   |
|---------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00     | años  |
| CBR                             | = | 16.26     | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 15223.274 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 2.35E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviabilidad         |   |           |   |
| PSIo                            | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50      |   |
| Confianbilidad, R               | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 2.97

Diseño de Espesores

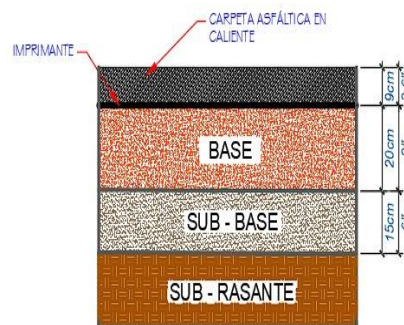
| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11) | (Según Manual) |
|-------------------|-------|---------------|----------------|----------------|
|                   |       | Mr            | Coef. Capa     | Coef. Dren.    |
|                   |       | Psi           | ai             | mi             |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170          | --             |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052          | 1              |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047          | 1              |
| Subrasante        | 16.26 | 15223         | --             | --             |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:  $\left\{ \begin{array}{l} D1 = 9 \text{ cm} \\ D2 = 20 \text{ cm} \end{array} \right.$

entonces: D3 = 9 cm → 15 cm



Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2 = 3.28 > SN1 = 2.97

Imagen IV.5: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | CUSIBAMBA- ACCHA                     |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                   |   |           |   |
|-----------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n              | = | 20.00     | años  |
| CBR                               | = | 16.92     | %   |
| Modulo Resiliente                 | = | 15615.904 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub>   | = | 1.63E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad         |   |           |   |
| PSIo                              | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                              | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                              | = | 1.50      |   |
| Confiabilidad, R                  | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, Z <sub>R</sub> | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So                | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 2.76

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 16.92 | 15616         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:

D1= 9 cm

D2= 20 cm

entonces: D3= 5 cm → 15 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2= 3.28 > SN1 = 2.76

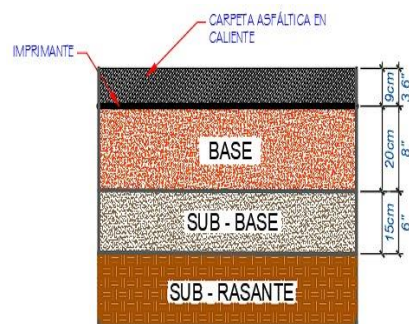


Imagen IV.6: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | ACCHA-PILLPINTO                      |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |           |   |
|---------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00     | años  |
| CBR                             | = | 11.50     | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 12196.565 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 1.54E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |           |   |
| PSIo                            | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50      |   |
| Confianabilidad, R              | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 3.02

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 11.50 | 12197         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

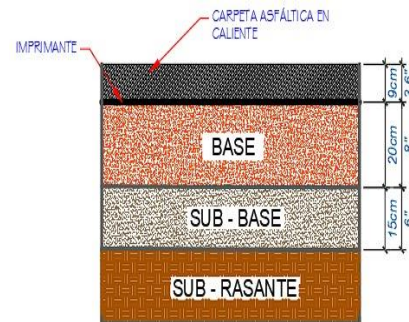
$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:

D1= 9 cm

D2= 20 cm

entonces: D3= 10 cm → 15 cm



Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2= 3.28 > SN1 = 3.02

Imagen IV.7: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | ACOS-ACOMAYO                         |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |          |   |
|---------------------------------|---|----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00    | años  |
| CBR                             | = | 23.38    | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 19206.64 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 2.38E+06 | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |          |   |
| PSIo                            | = | 4.00     | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50     | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50     |   |
| Confianbilidad, R               | = | 85       | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036   | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45     | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.18}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 2.71

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11) (Según Manual) |                   |
|-------------------|-------|---------------|-------------------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai              | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170                         | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052                         | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047                         | 1                 |
| Subrasante        | 23.38 | 19207         | --                            | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:  $\left\{ \begin{array}{l} D1= 9 \text{ cm} \\ D2= 20 \text{ cm} \end{array} \right.$

entonces: D3= 3 cm → 15 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2= 3.28 > SN1 = 2.71

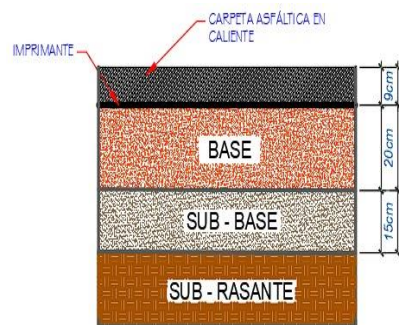


Imagen IV.8: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia



|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | CUZCO-PERÚ                           |                            |
| RUTA:        | CU-117                               |                            |
| TRAMO:       | PITUMARCA-DV. AUSANGATE              |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |           |   |
|---------------------------------|---|-----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00     | años  |
| CBR                             | = | 14.72     | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 14285.931 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 3.86E+06  | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |           |   |
| PSIo                            | = | 4.00      | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50      | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50      |   |
| Confiabilidad, R                | = | 85        | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.036    | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45      | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

#### Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 3.33

#### Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 14.72 | 14286         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:  $\left\{ \begin{array}{l} D1 = 9 \text{ cm} \\ D2 = 20 \text{ cm} \end{array} \right.$

entonces: D3 = 17 cm → 20 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2 = 4 > SN1 = 3.33

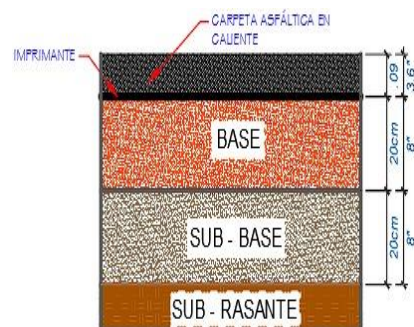


Imagen IV.9: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia



|              |                                      |                            |
|--------------|--------------------------------------|----------------------------|
| UBICACIÓN:   | SAN MARTIN - PERÚ                    |                            |
| RUTA:        | PE-5N                                |                            |
| TRAMO:       | CALZADA - SORITOR                    |                            |
| RESPONSABLES | Bach. José Rodrigo Altamirano Girano | Bach. Shessira Loarte Soto |

|                                 |   |          |   |
|---------------------------------|---|----------|---|
| Periodo de diseño, n            | = | 20.00    | años  |
| CBR                             | = | 15.32    | %   |
| Modulo Resiliente               | = | 14654.01 | psi (Según Tabla 5)   |
| ESAL de diseño, W <sub>18</sub> | = | 5.89E+06 | EE (del analisis de ejes equivalentes)                        |
| Indice de Serviciabilidad       |   |          |   |
| PSIo                            | = | 4.00     | (Según Tabla 8)   |
| PSIf                            | = | 2.50     | (Según Tabla 9)   |
| ΔPSI                            | = | 1.50     |   |
| Confianza, R                    | = | 90       | % (Según Tabla 6)   |
| Desv. Est. Normal, ZR           | = | -1.282   | (Según Tabla 7)   |
| Error Estándar, So              | = | 0.45     | (Según Manual de carreteras:<br>Suelos, Geología, Geotecnia y |

Calculo del Numero Estructural

$$\log_{10}(w_{18}) = Z_R \times S_o + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Según la ecuacion se tiene: SN1 = 3.70

Diseño de Espesores

| Materiales        | CBR % | (Seg. Tab. 5) | (Seg. Tab. 11)   | (Según Manual)    |
|-------------------|-------|---------------|------------------|-------------------|
|                   |       | Mr<br>Psi     | Coef. Capa<br>ai | Coef. Dren.<br>mi |
| Carpeta Asfáltica | --    |               | 0.170            | --                |
| Base              | 100   | 48685         | 0.052            | 1                 |
| Subbase           | 40    | 27084         | 0.047            | 1                 |
| Subrasante        | 15.32 | 14654         | --               | --                |

Se calcula el nuevo SN, respetando los valores mínimos para la carpeta asfáltica y base :

$$SN2 = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

De la tabla 12:

D1= 10 cm

D2= 25 cm

entonces: D3= 15 cm → 15 cm

Si SN2 > SN1, cumplen los espesores de las capas  
SN2= 3.71 > SN1 = 3.70

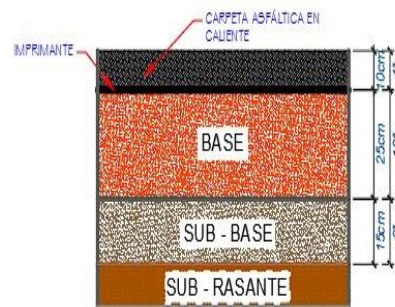


Imagen IV.10: Calculo de espesores con el método AASHTO 93

Fuente: Elaboración propia

# Anexo V: Diseño AASHTO 2015



## Acomayo-Sangara

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acomayo-Sangara.dgpx



### Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

### Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.): | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|------------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0              | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0              | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0              |                              |     |
| Subgrade      | A-2-4                    | Semi-infinite    |                              |     |

### Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 75                        |
| 2033 (10 years) | 136,322                   |
| 2043 (20 years) | 301,643                   |

### Design Outputs

#### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.32    | 85.00           | 98.86    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 85.22    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.19      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 304.25    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.05      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

#### Distress Charts

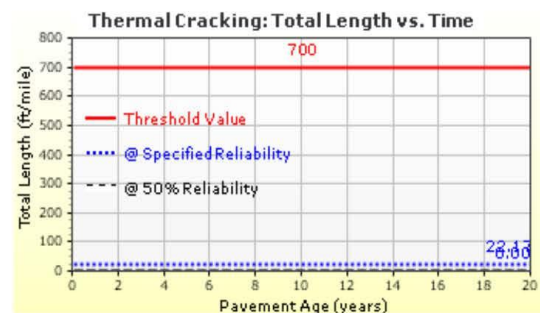
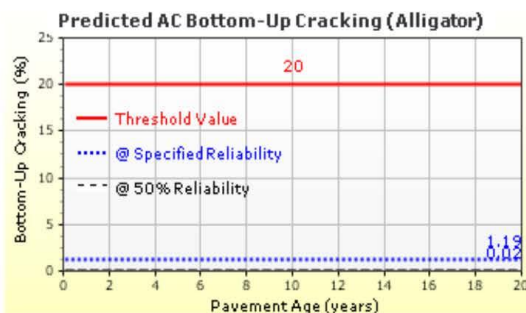
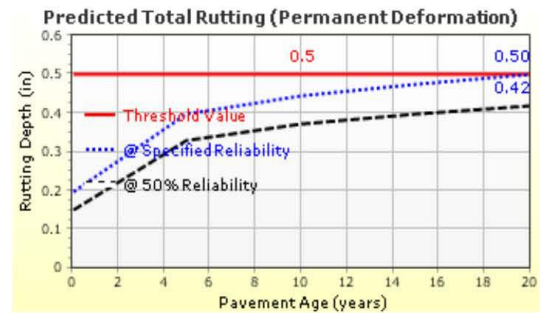
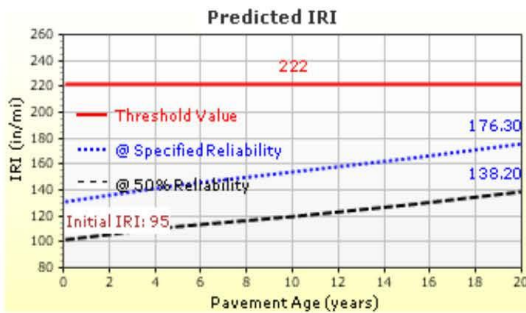


Imagen V.1: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acomayo-Sangara

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acomayo-Sangara.dgpx



## Analysis Output Charts

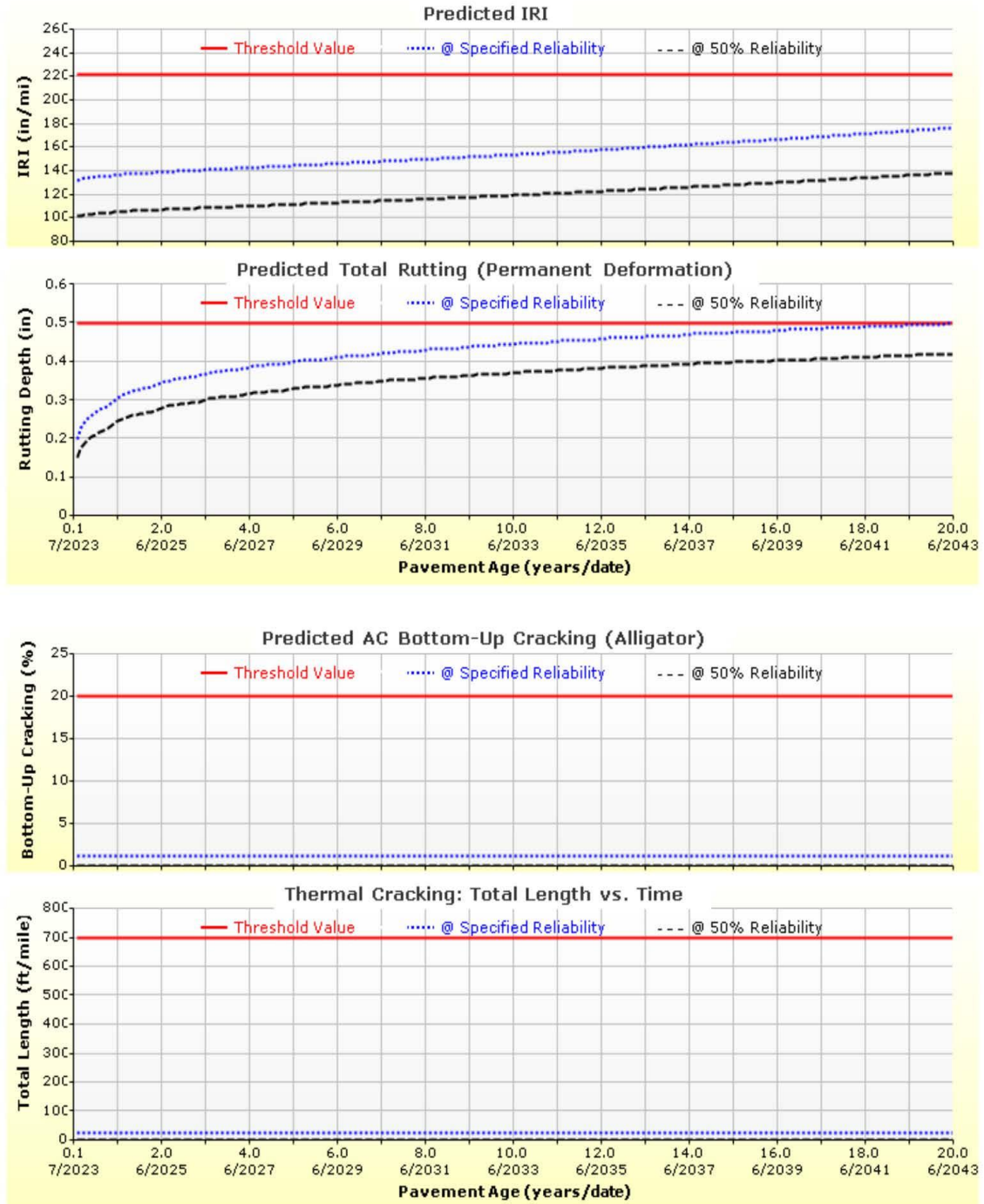


Imagen V.2: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acomayo-Sangara

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acomayo-Sangara.dgpx

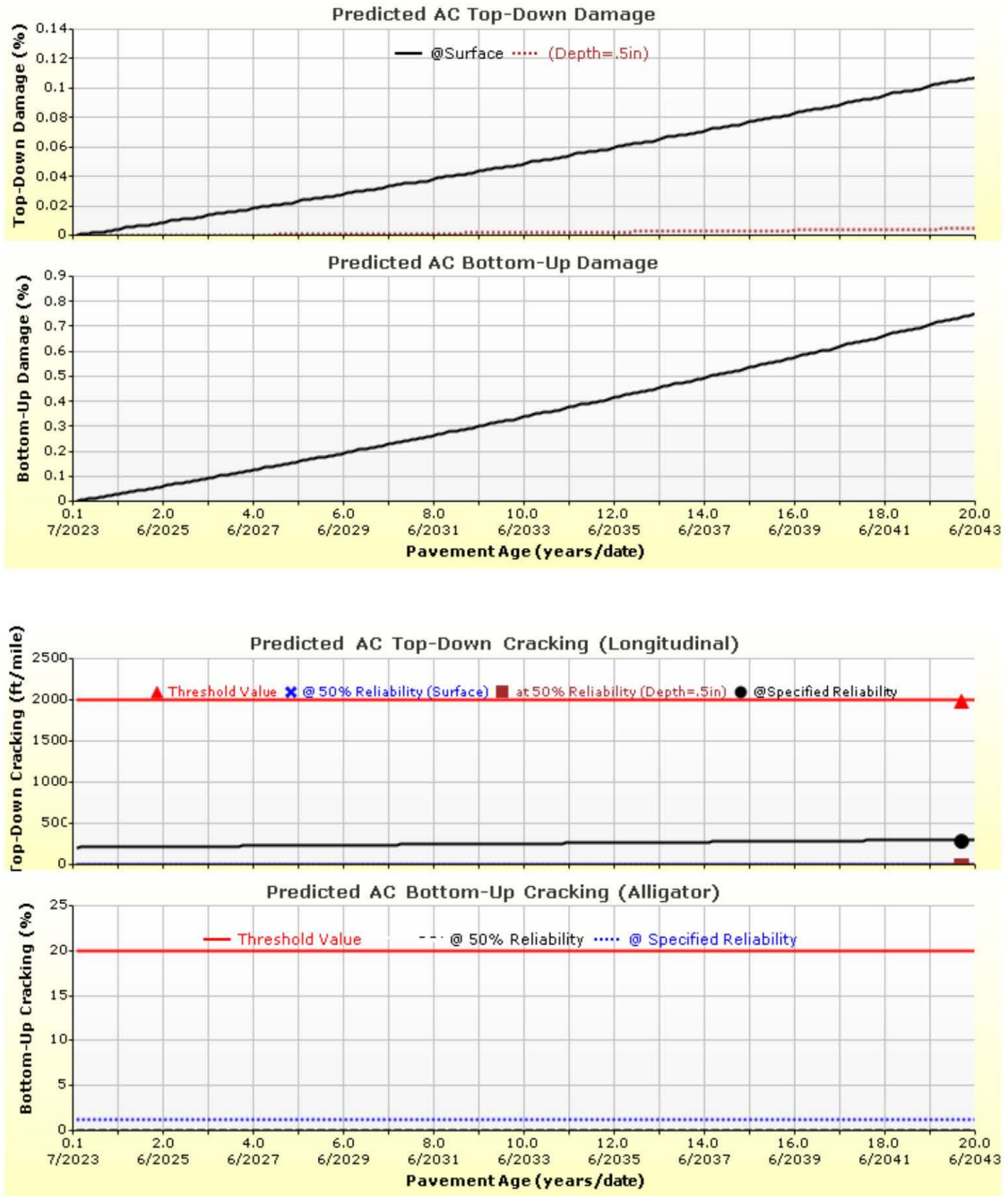


Imagen V.3: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





### Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

### Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) |
|---------------|--------------------------|-----------------|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 1.6             |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |
| Subgrade      | A-2-4                    | Semi-infinite   |

| Volumetric at Construction:  |     |
|------------------------------|-----|
| Effective binder content (%) | 6.3 |
| Air voids (%)                | 3.0 |

### Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 75                        |
| 2033 (10 years) | 136,322                   |
| 2043 (20 years) | 301,643                   |

### Design Outputs

#### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 161.05    | 85.00           | 99.75    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 86.16    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.17      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 294.44    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.04      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

#### Distress Charts

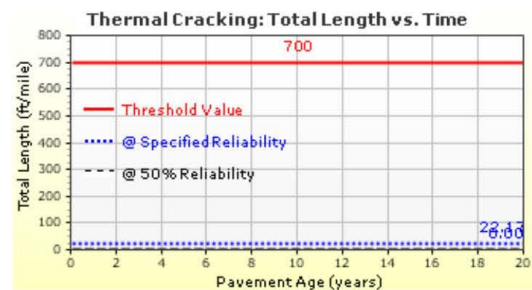
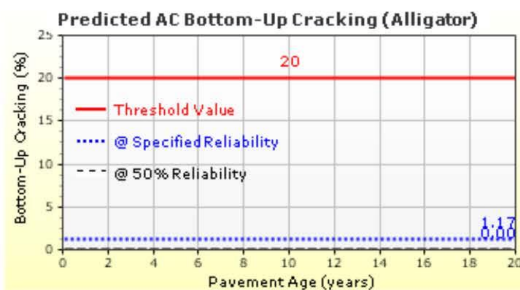
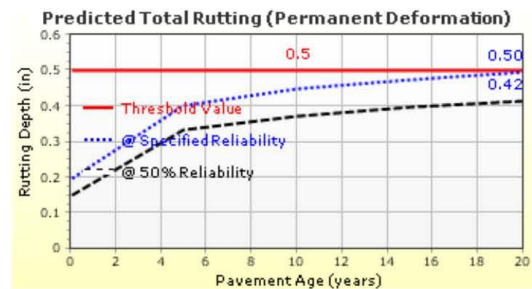
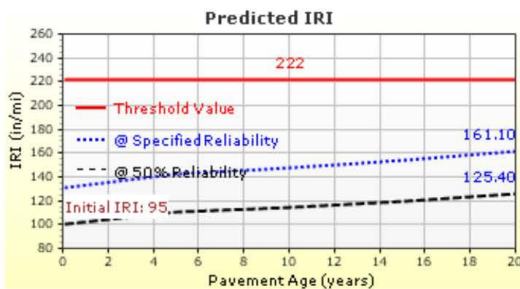


Imagen V.4: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Analysis Output Charts

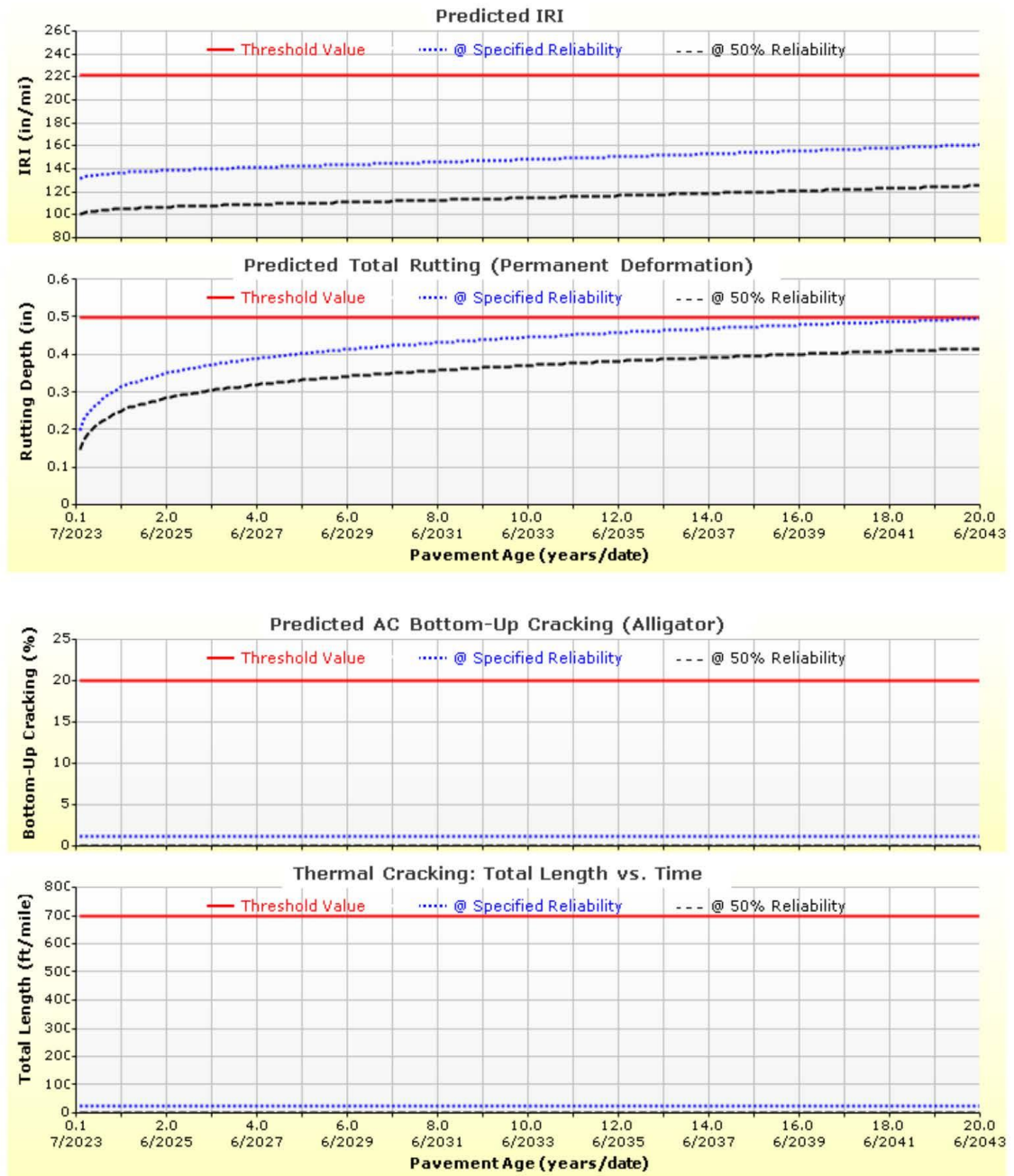


Imagen V.5: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

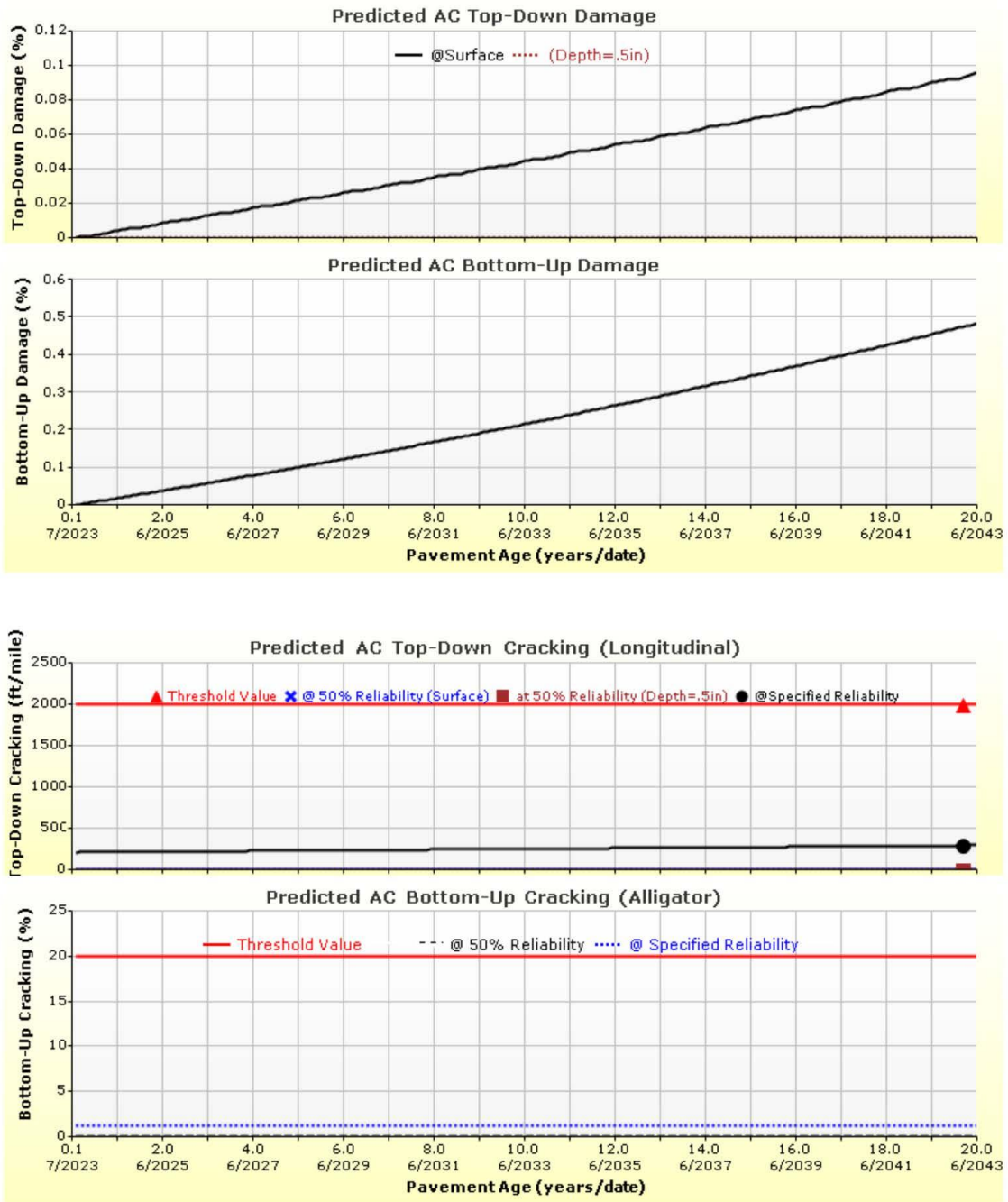


Imagen V.6: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

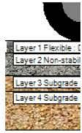
Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

### Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) |
|---------------|--------------------------|-----------------|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.2             |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |
| Subgrade      | A-2-4                    | Semi-infinite   |

| Volumetric at Construction:  |     |
|------------------------------|-----|
| Effective binder content (%) | 6.3 |
| Air voids (%)                | 3.0 |

### Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 75                        |
| 2033 (10 years) | 136,322                   |
| 2043 (20 years) | 301,643                   |

### Design Outputs

#### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 173.83    | 85.00           | 99.08    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.36    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.46      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1055.41   | 85.00           | 97.62    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.12      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

#### Distress Charts

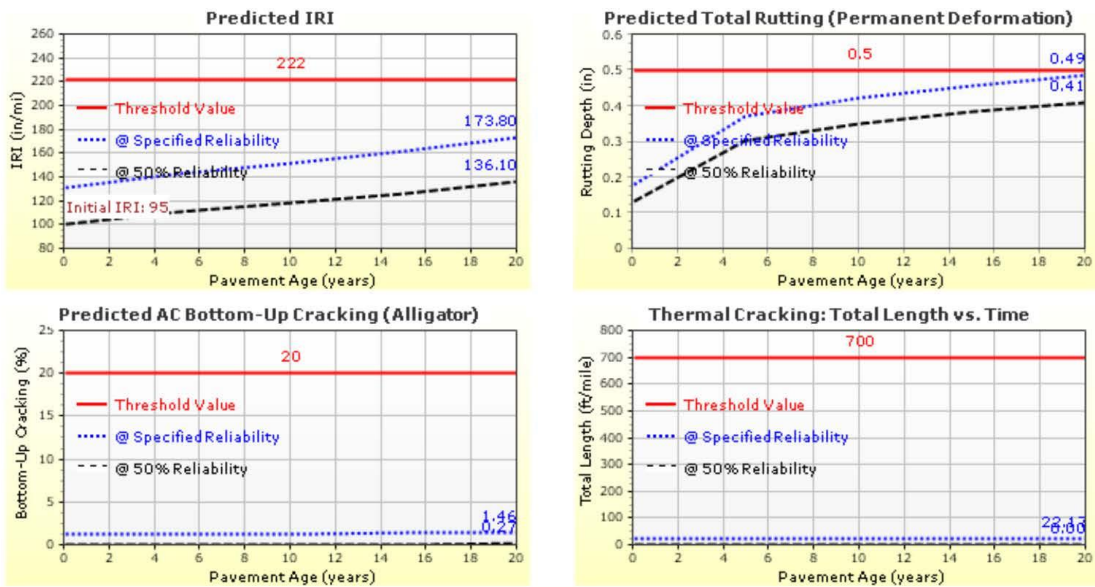


Imagen V.7: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





### Analysis Output Charts

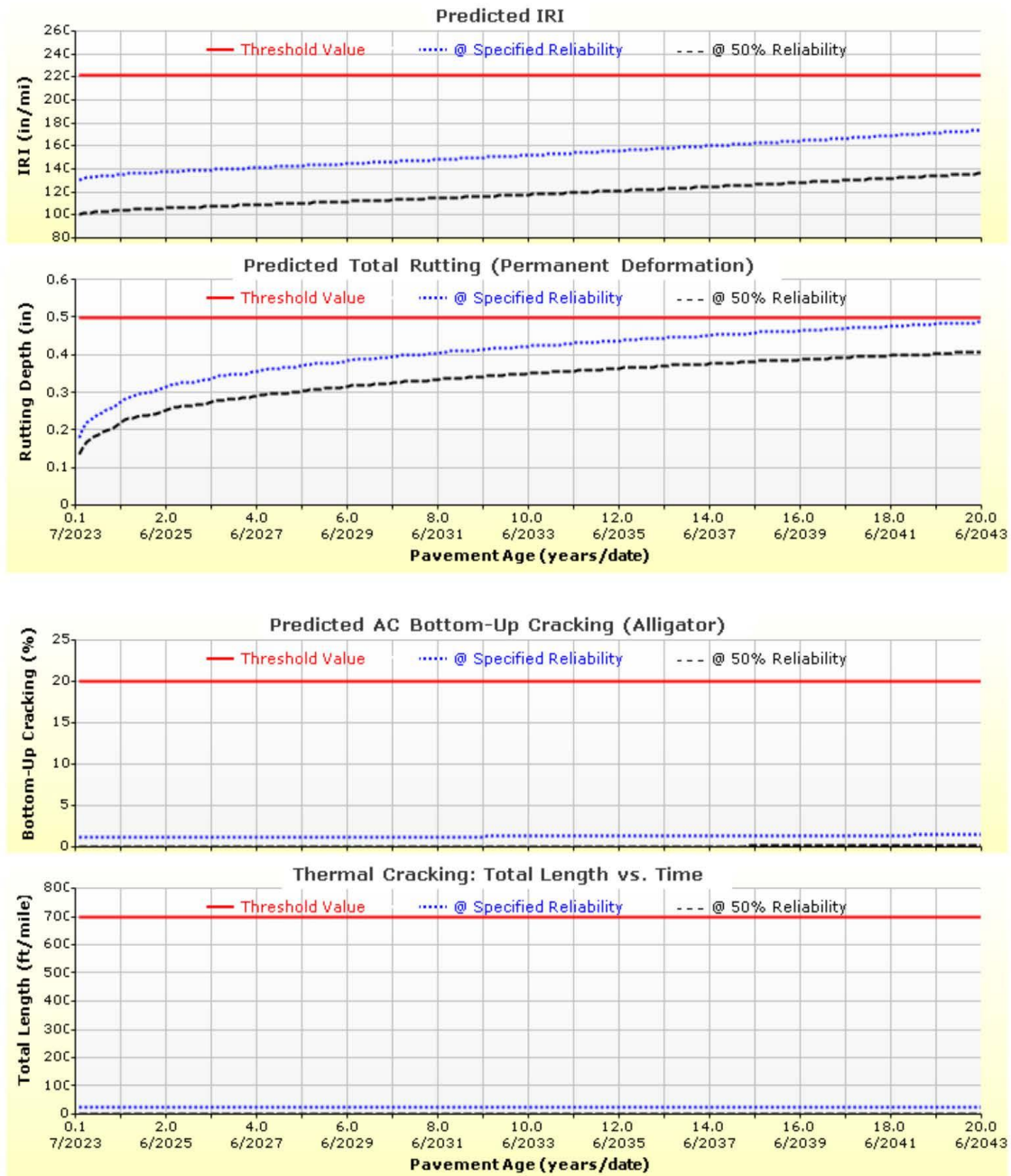


Imagen V.8: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

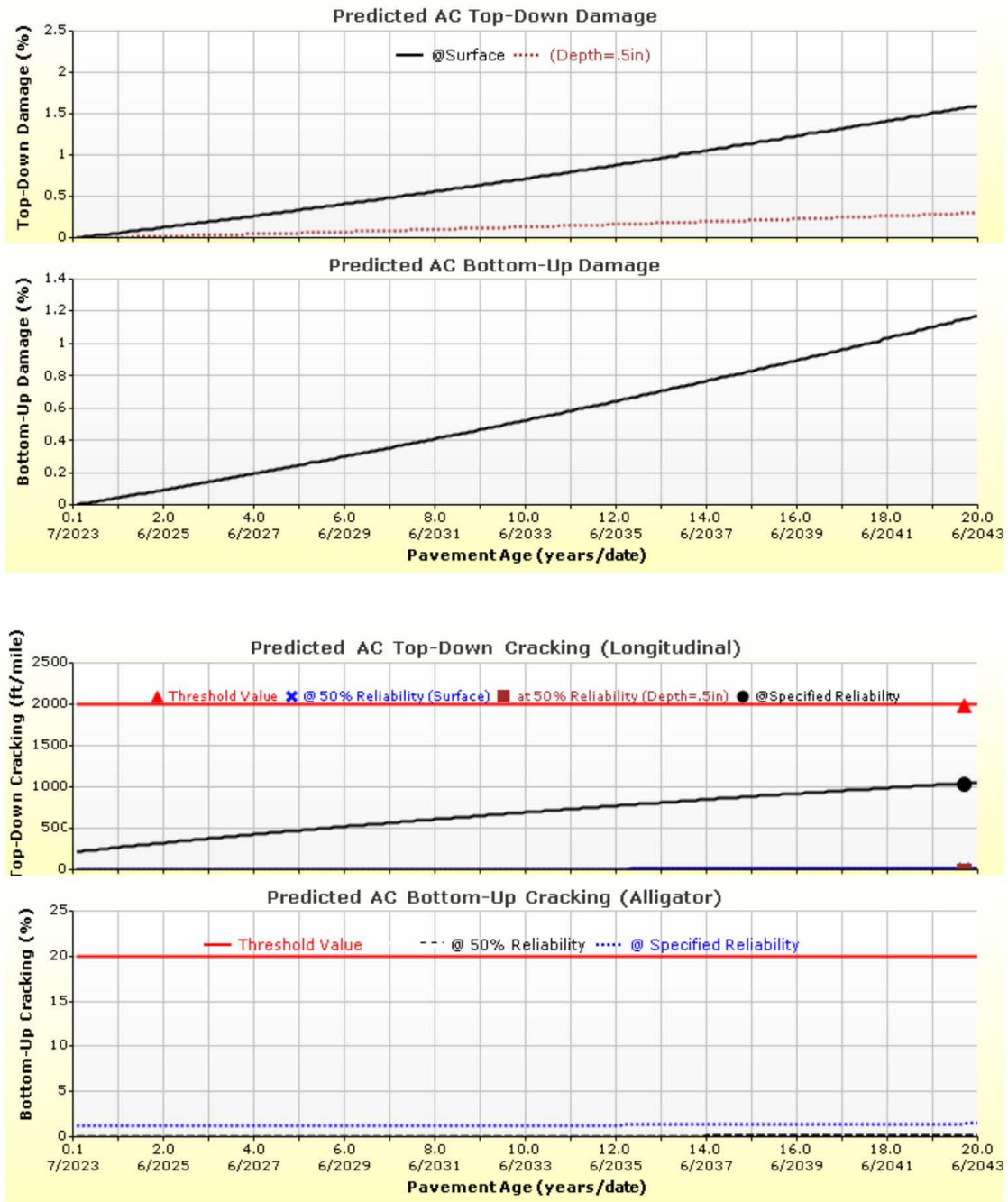


Imagen V.9: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Tramo 4-Clima Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.): | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|------------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 4.0              | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 10.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 6.0              |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite    |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 211                       |
| 2033 (10 years) | 397,564                   |
| 2043 (20 years) | 907,926                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.51    | 85.00           | 98.84    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 86.87    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 2.80      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1482.25   | 85.00           | 92.12    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.10      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

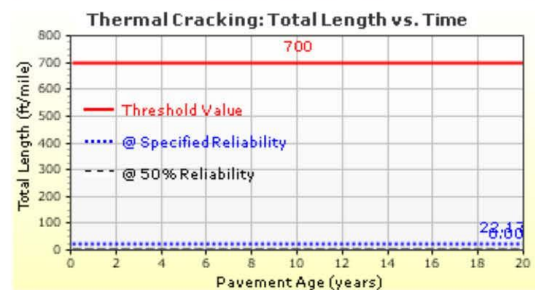
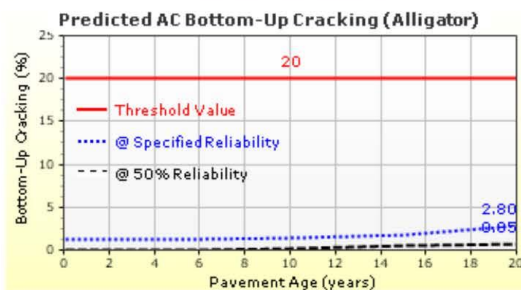
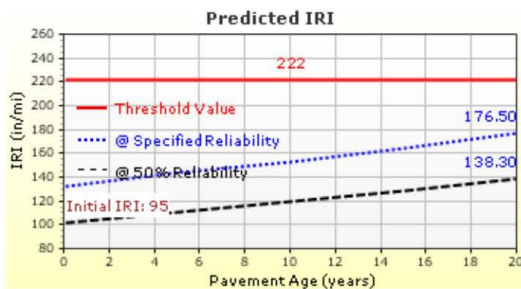


Imagen V.10: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Tramo 4-Clima Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Cusco.dgpx



## Analysis Output Charts

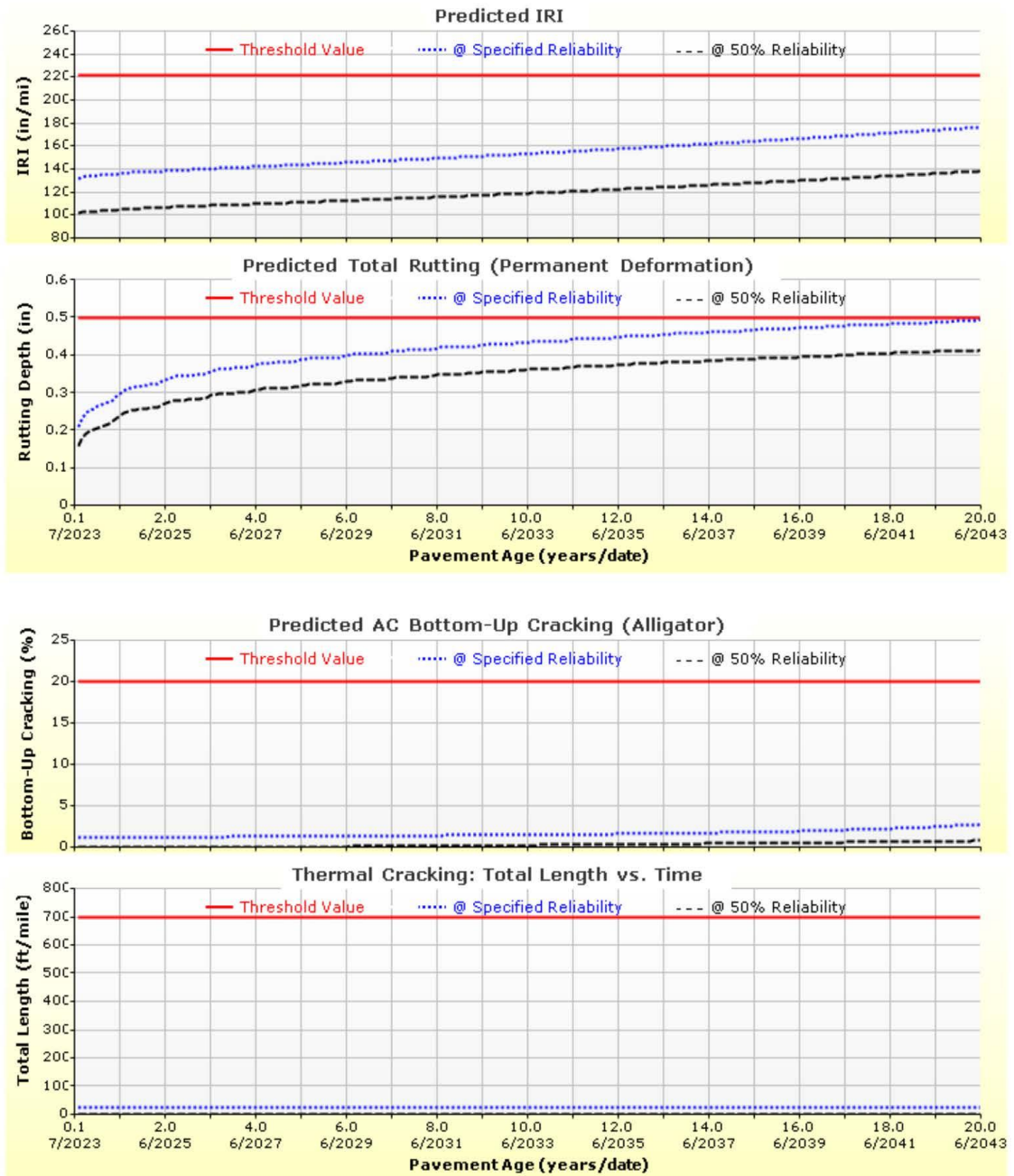


Imagen V.11: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Tramo 4-Clima Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Cusco.dgpx

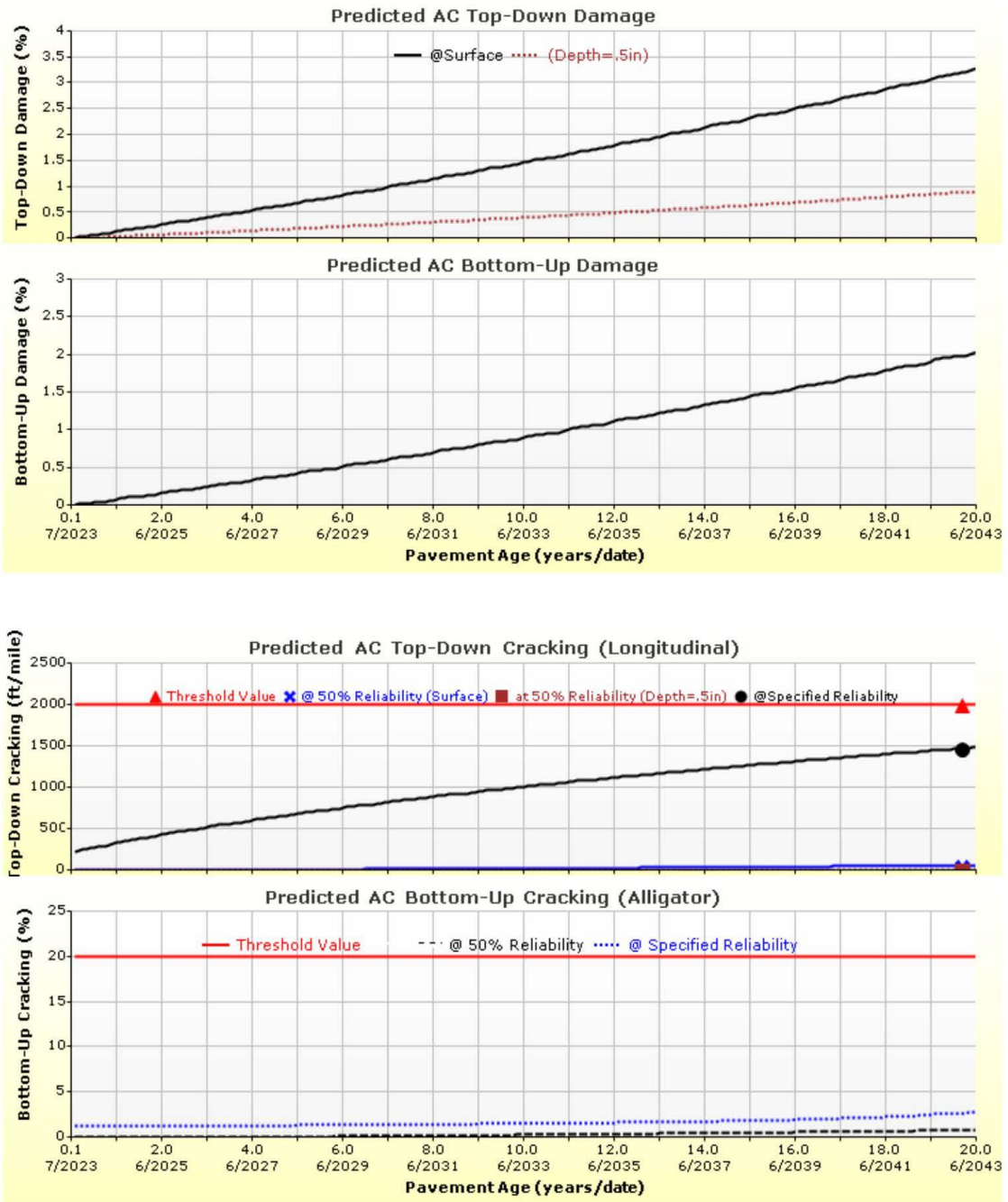


Imagen V.12: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Tramo 4-Clima Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.): | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|------------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0              | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0              | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 6.0              |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite    |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 211                       |
| 2033 (10 years) | 397,564                   |
| 2043 (20 years) | 907,926                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 161.19    | 85.00           | 99.75    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 85.49    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.37      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 465.17    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.09      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

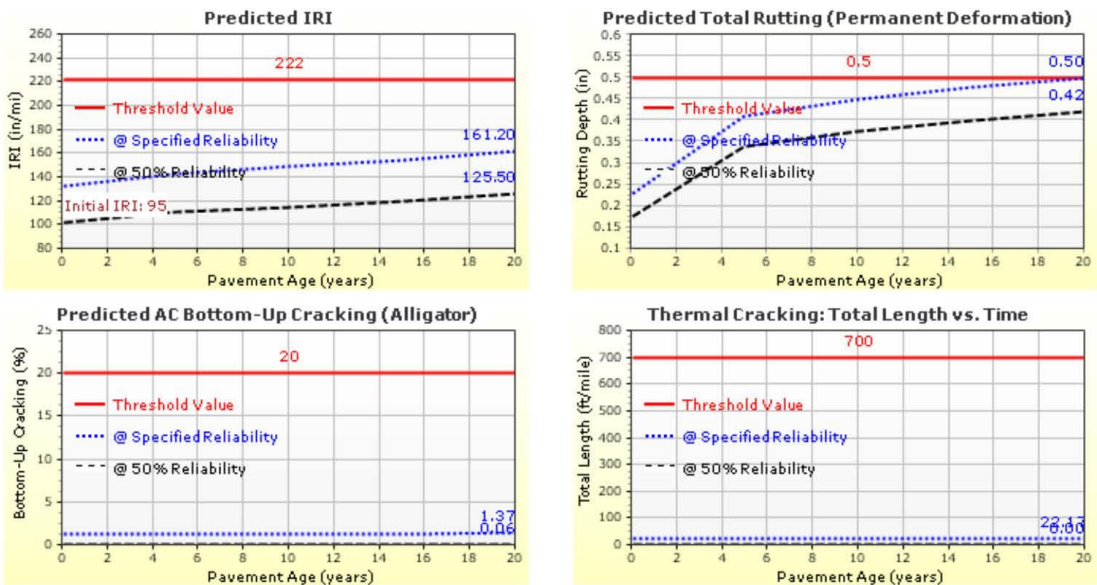


Imagen V.13: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Tramo 4-Clima Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Ica.dgpx



## Analysis Output Charts

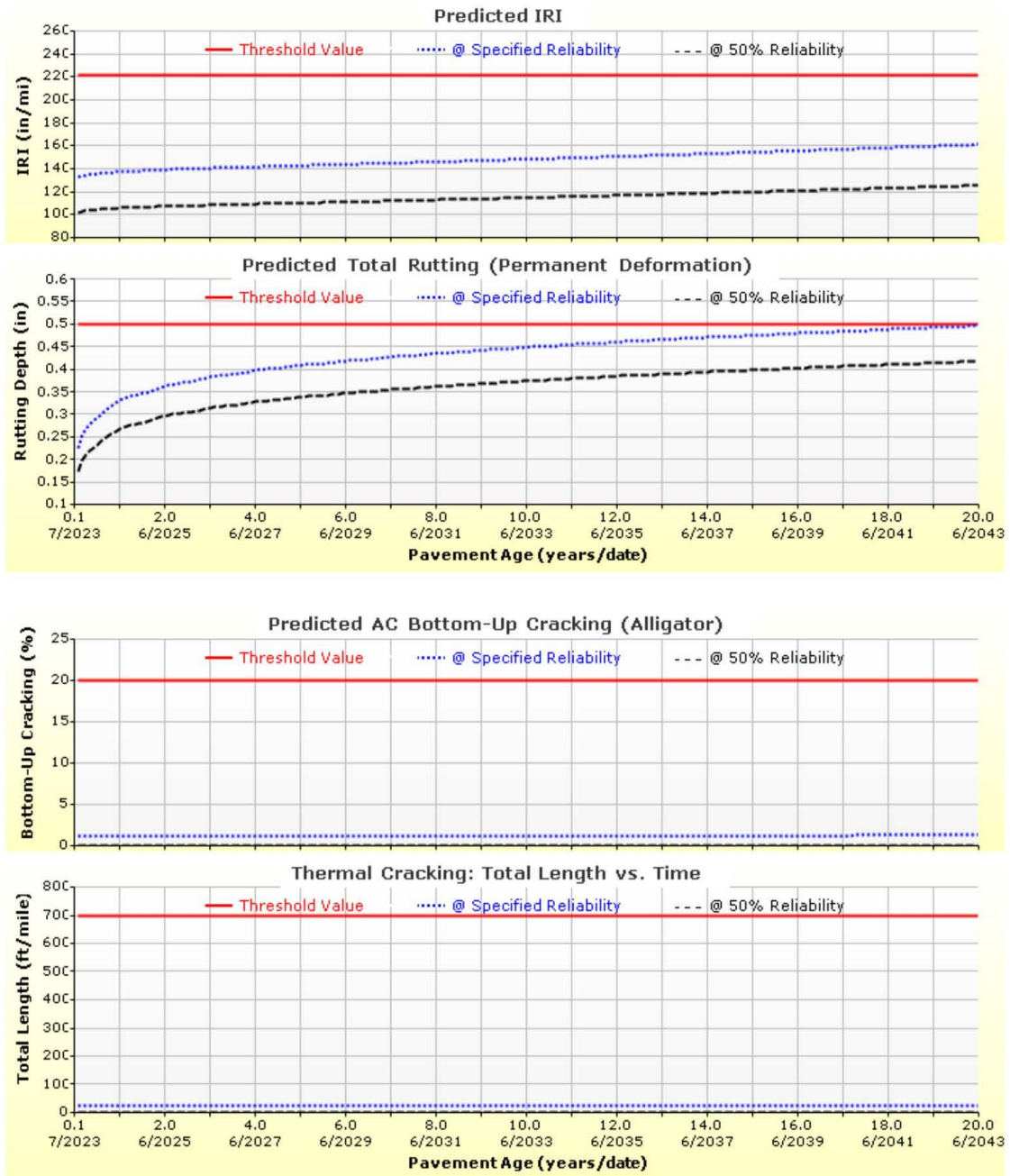


Imagen V.14: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Tramo 4-Clima Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Ica.dgpx

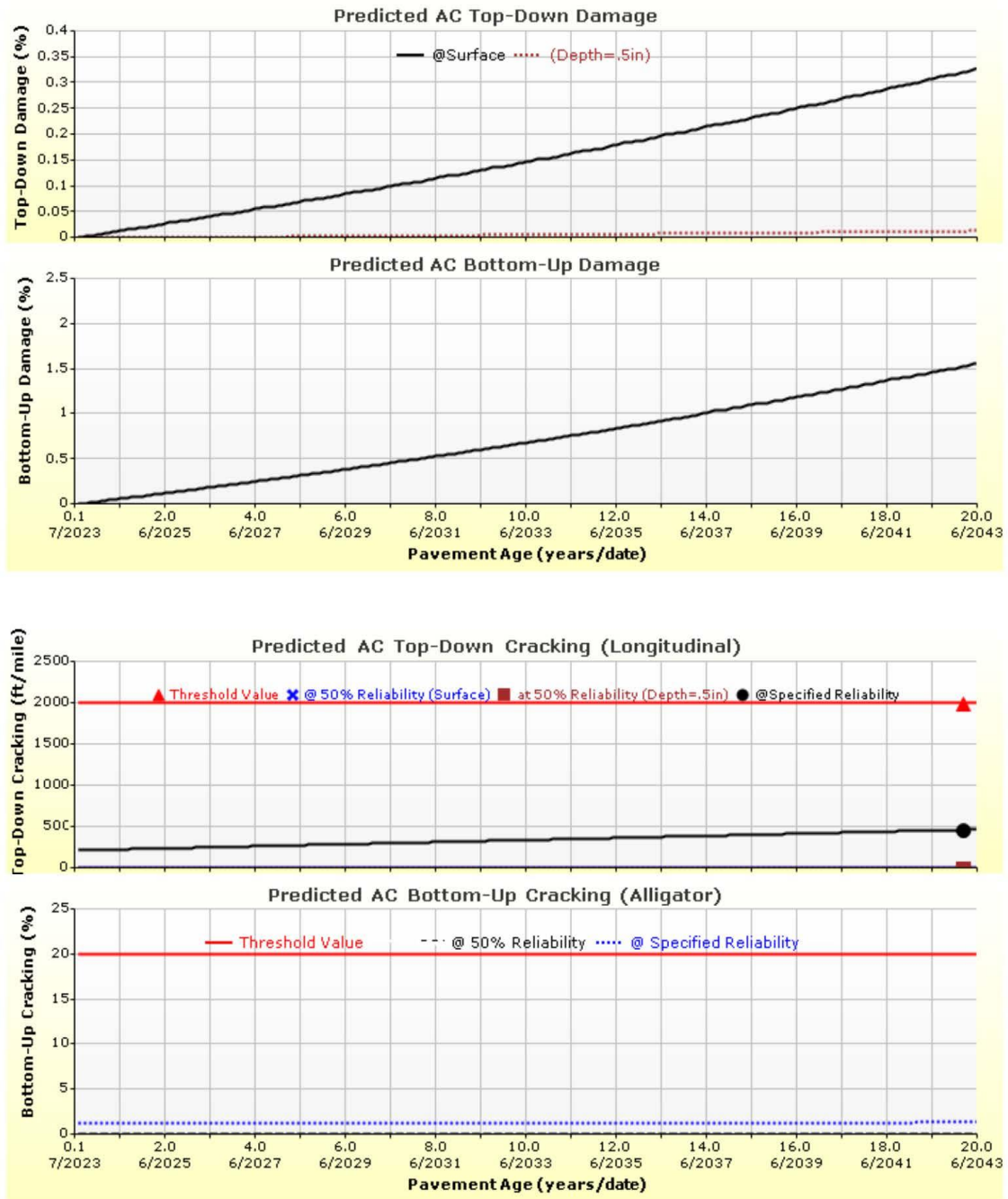


Imagen V.15: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





## Tramo 4-Clima Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Pucallpa.dgpx



### Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

### Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 6.0             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 10.0            | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

### Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 211                       |
| 2033 (10 years) | 397,213                   |
| 2043 (20 years) | 906,444                   |

### Design Outputs

#### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 174.12    | 85.00           | 99.06    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 85.09    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.45      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1147.57   | 85.00           | 96.59    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.22      | 85.00           | 94.06    | Pass                 |

#### Distress Charts

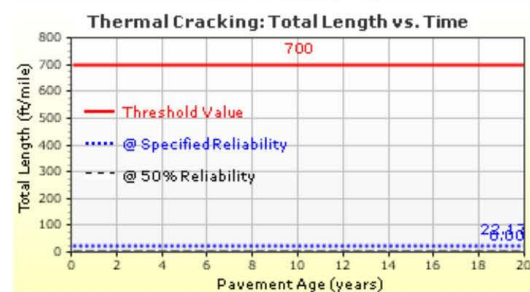
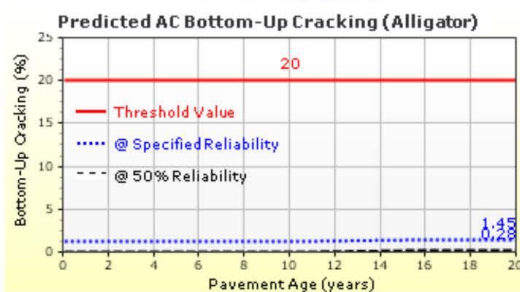
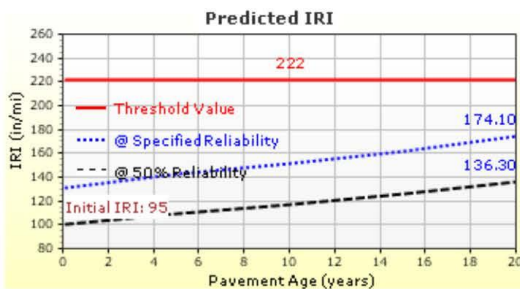


Imagen V.16: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Tramo 4-Clima Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Pucallpa.dgpx



## Analysis Output Charts

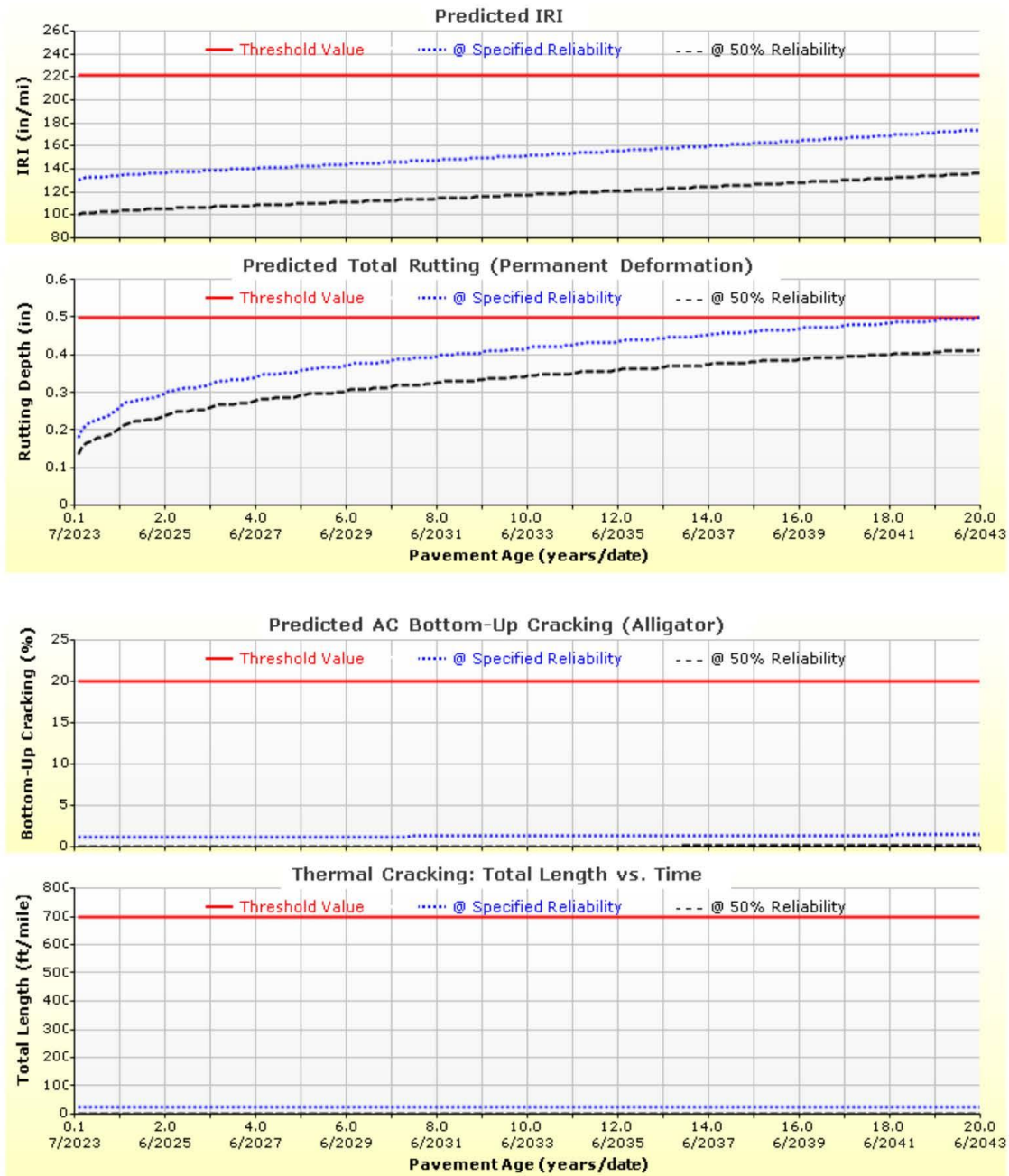


Imagen V.17: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Tramo 4-Clima Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Tramo 4-Clima Pucallpa.dgpx

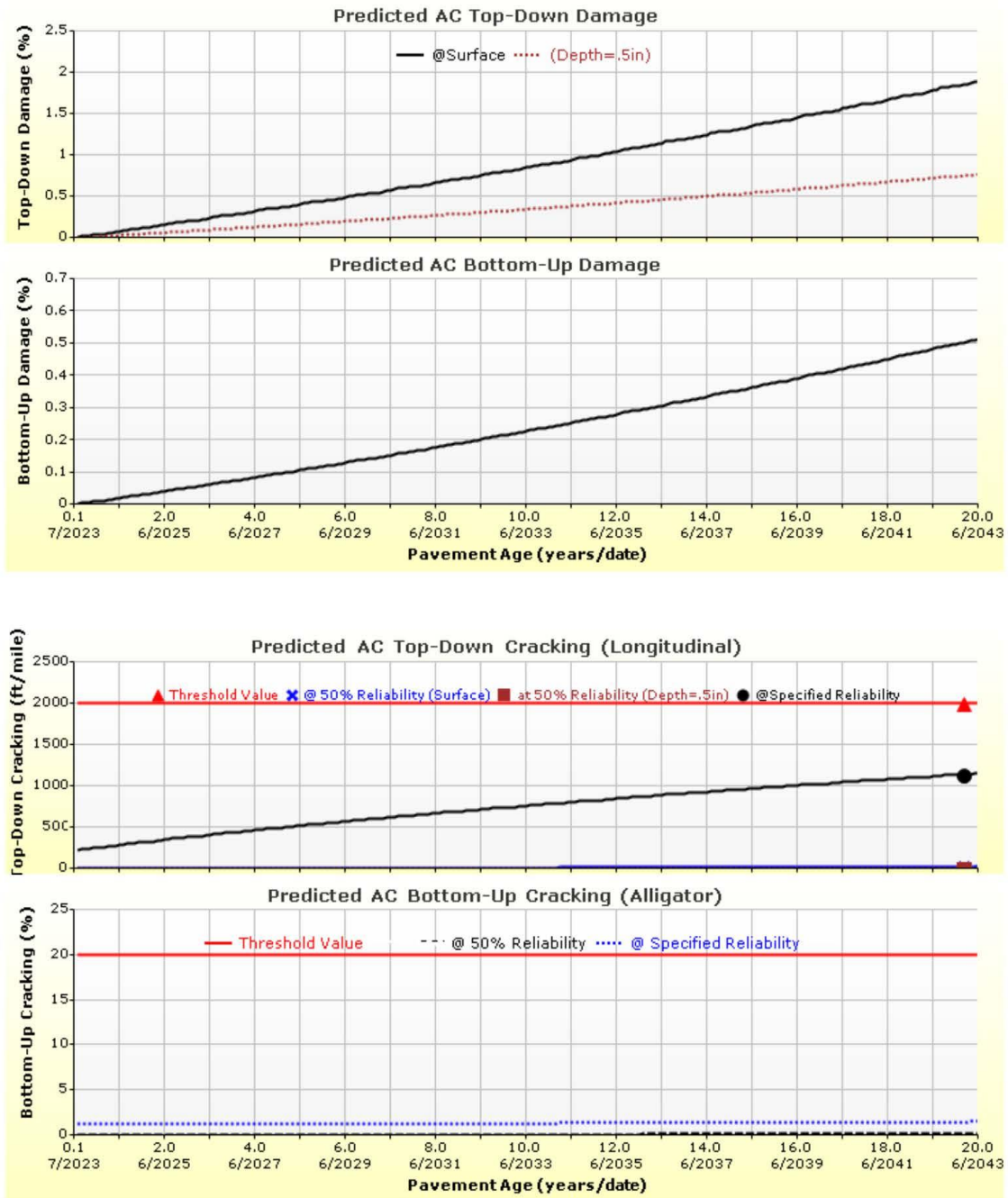


Imagen V.18: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Sangara-Pomacanchi-Cusco

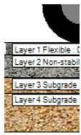
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Sangara-Pomacanchi-Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) |
|---------------|--------------------------|-----------------|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.2             |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |

**Volumetric at Construction:**

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Effective binder content (%) | 6.3 |
| Air voids (%)                | 3.0 |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 83                        |
| 2033 (10 years) | 153,073                   |
| 2043 (20 years) | 343,150                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 175.45    | 85.00           | 98.94    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.48      | 85.00           | 91.43    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.58      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1010.38   | 85.00           | 98.07    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.06      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

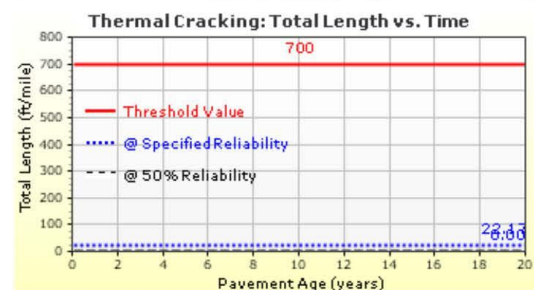
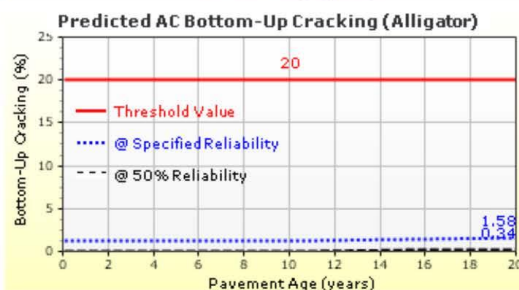
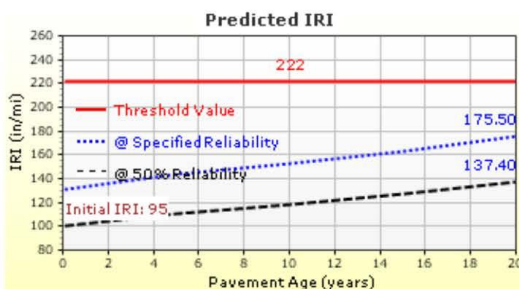


Imagen V.19: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





Analysis Output Charts

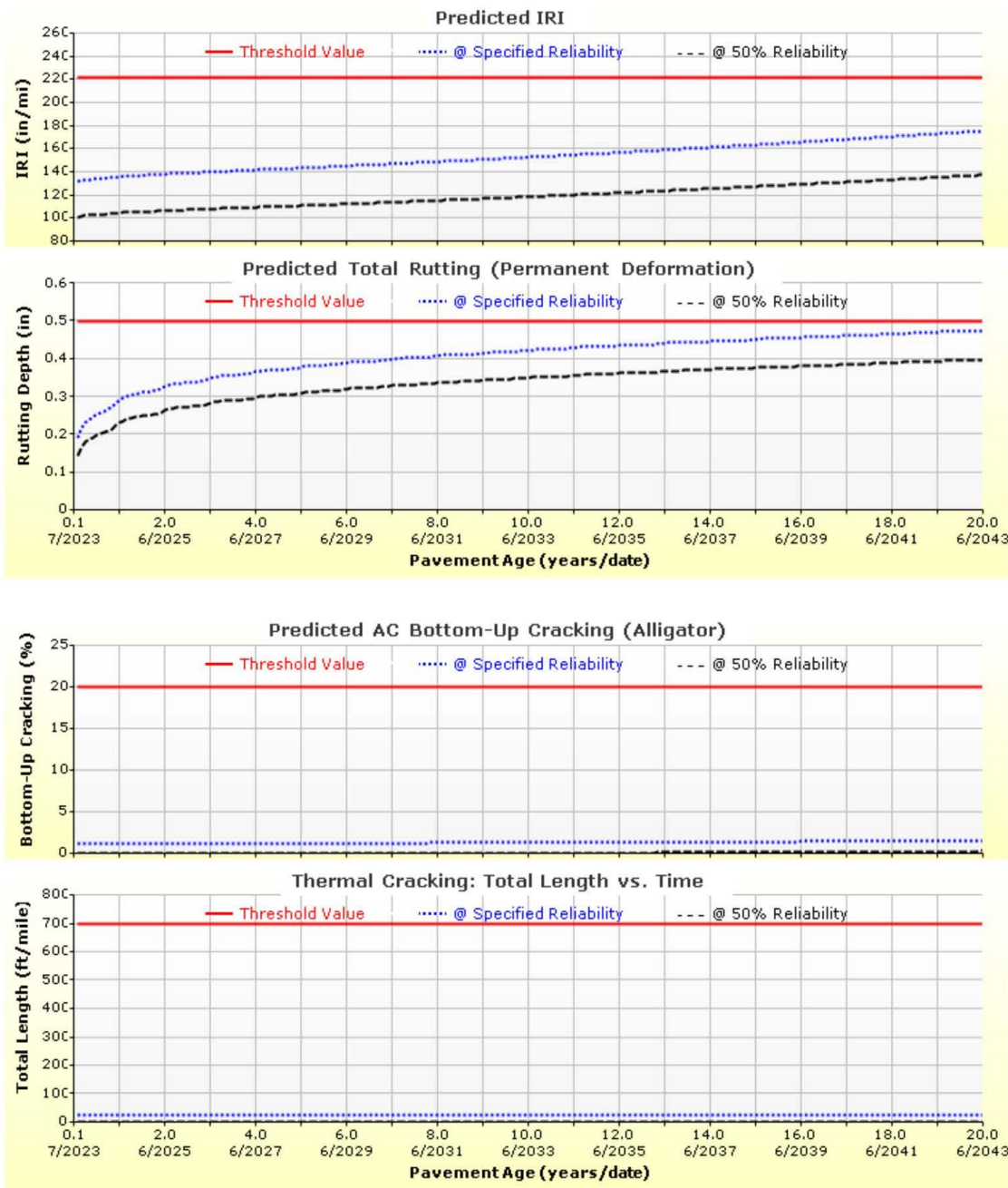


Imagen V.20: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Sangara-Pomacanchi-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Sangara-Pomacanchi-Cusco.dgpx

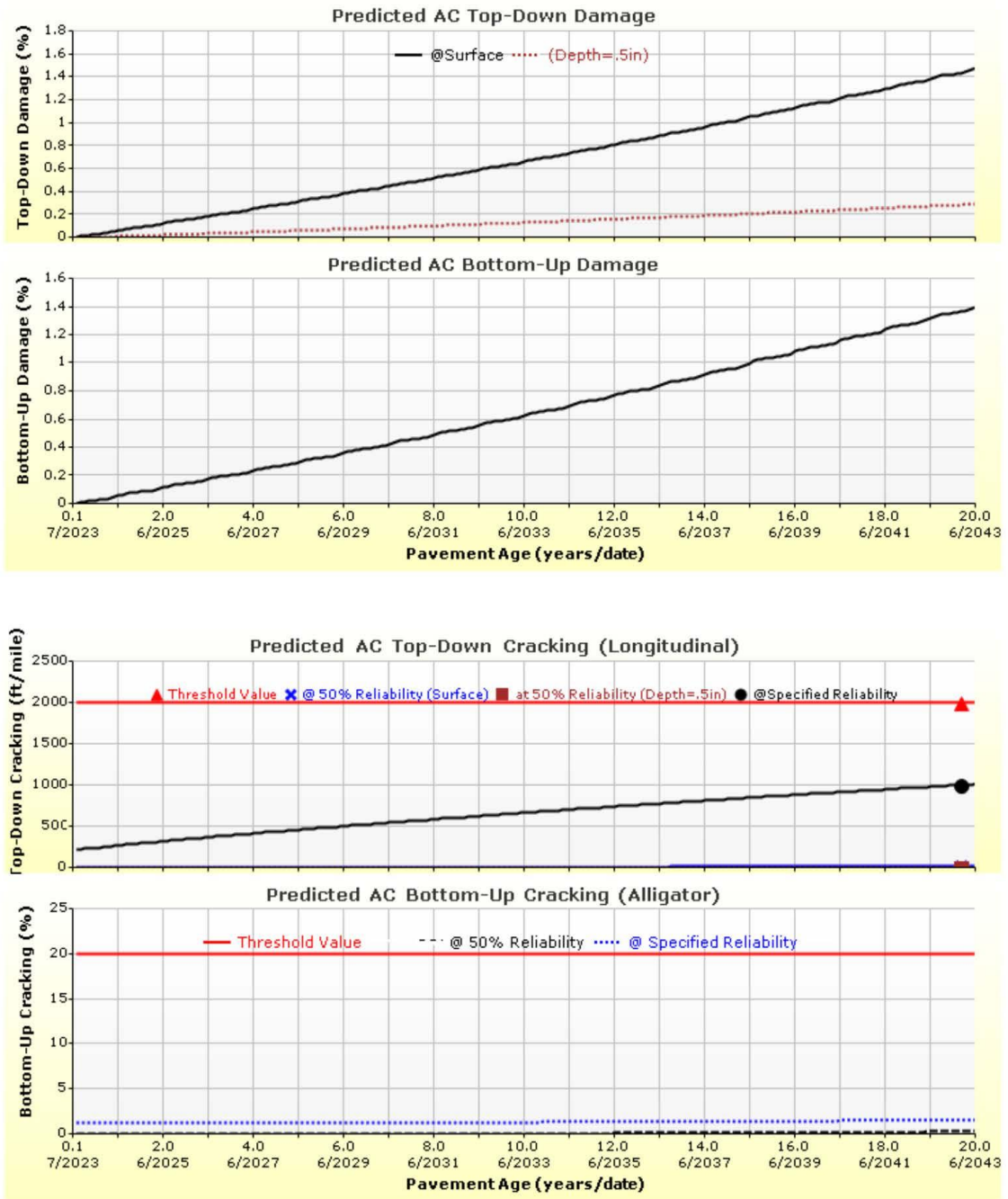


Imagen V.21: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Sangara-Pomacanchi-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Sangara-Pomacanchi-Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) |
|---------------|--------------------------|-----------------|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.8             |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |

| Volumetric at Construction:  |     |
|------------------------------|-----|
| Effective binder content (%) | 6.3 |
| Air voids (%)                | 3.0 |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 83                        |
| 2033 (10 years) | 153,073                   |
| 2043 (20 years) | 343,150                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 160.66    | 85.00           | 99.76    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.91    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.27      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 685.82    | 85.00           | 99.88    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.06      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

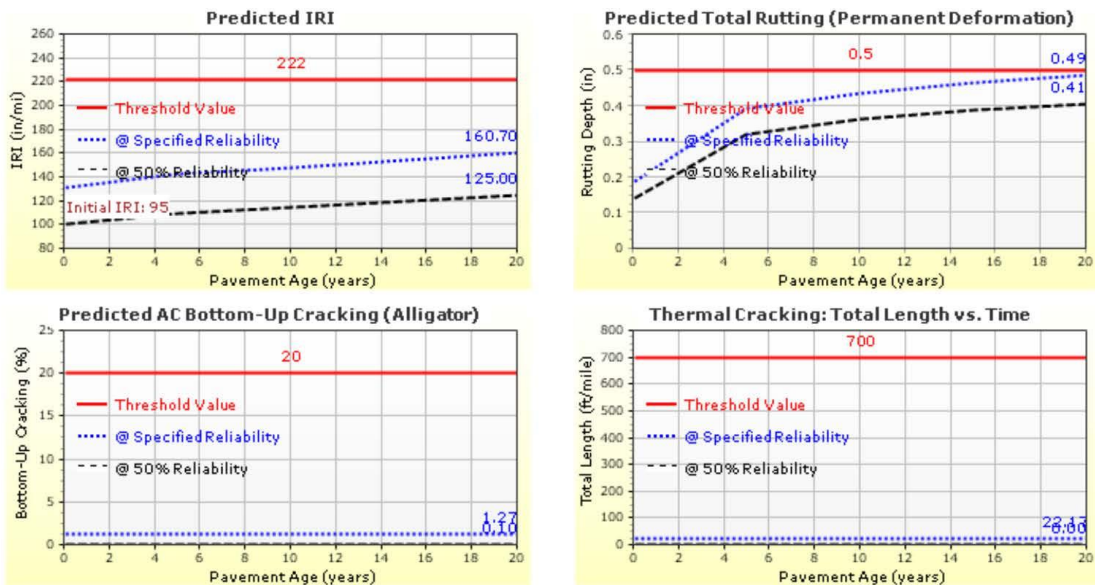


Imagen V.22: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Sangara-Pomacanchi-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Sangara-Pomacanchi-Ica.dgpx



## Analysis Output Charts

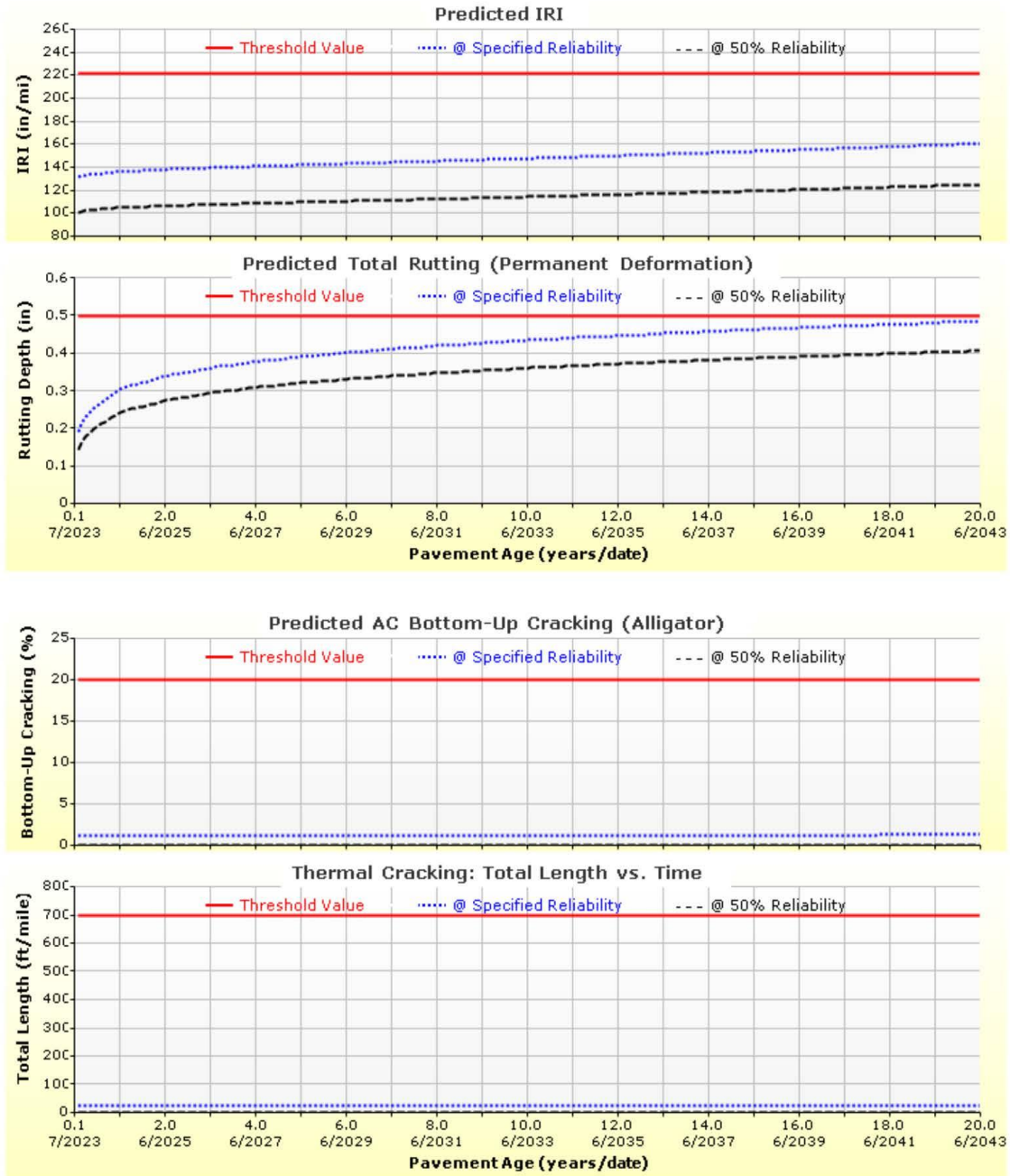


Imagen V.23: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Sangara-Pomacanchi-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Sangara-Pomacanchi-Ica.dgpx

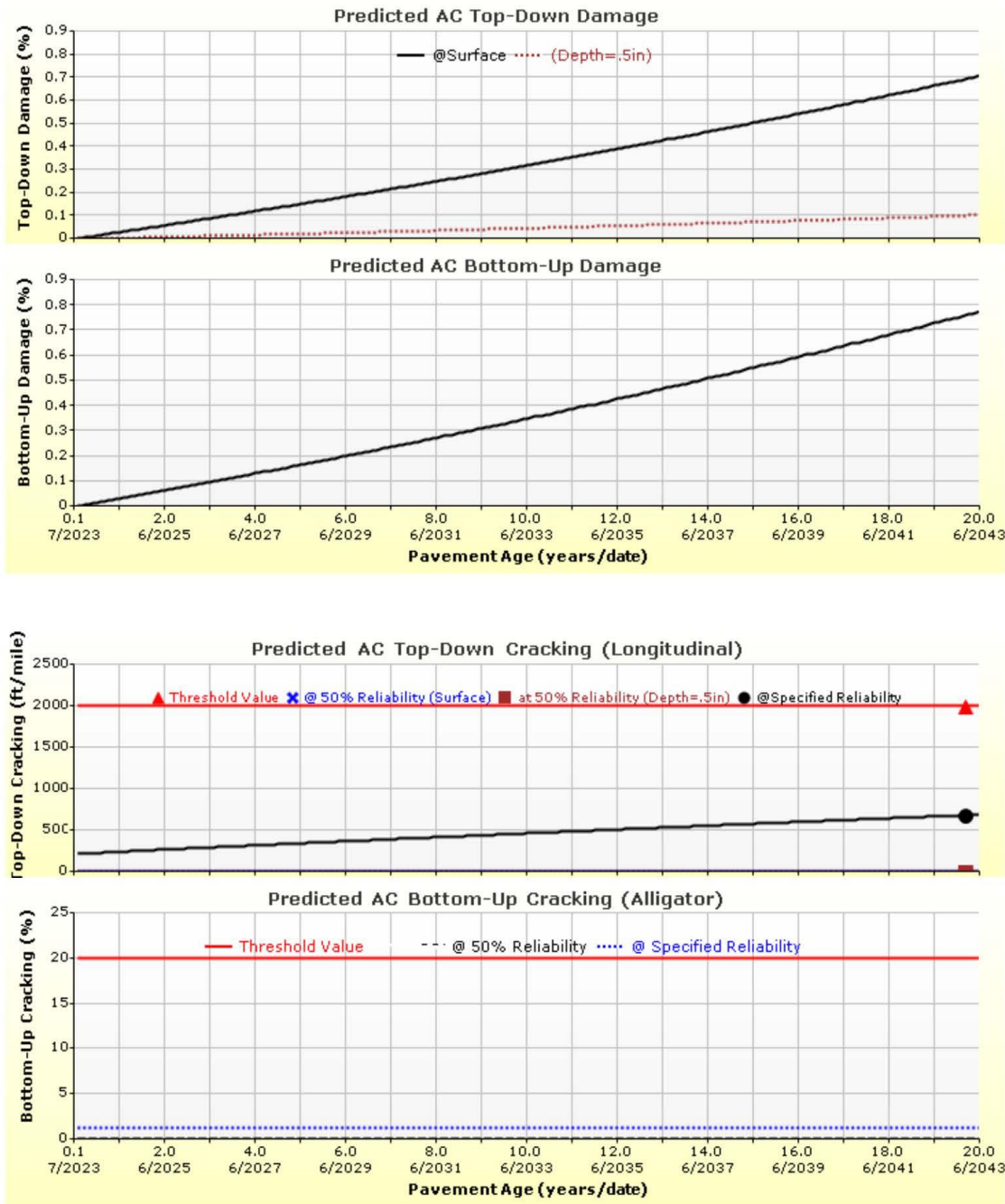


Imagen V.24: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Sangara-Pomacanchi-Pucallpa

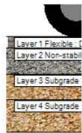
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Sangara-Pomacanchi-Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 8.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 83                        |
| 2033 (10 years) | 153,073                   |
| 2043 (20 years) | 343,150                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 174.12    | 85.00           | 99.06    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 86.72    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.55      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.13      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

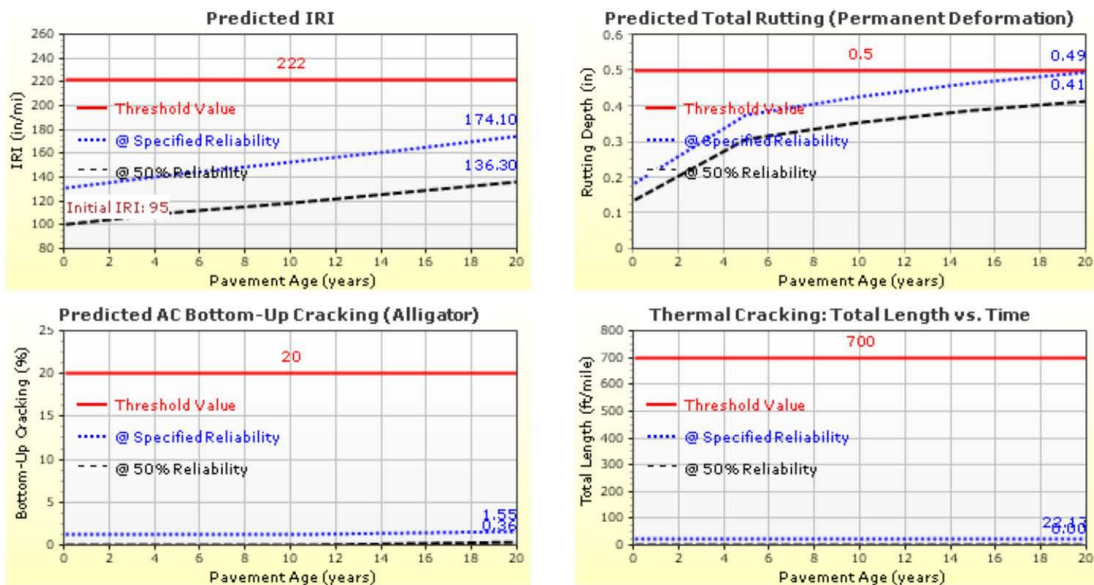


Imagen V.25: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Analysis Output Charts

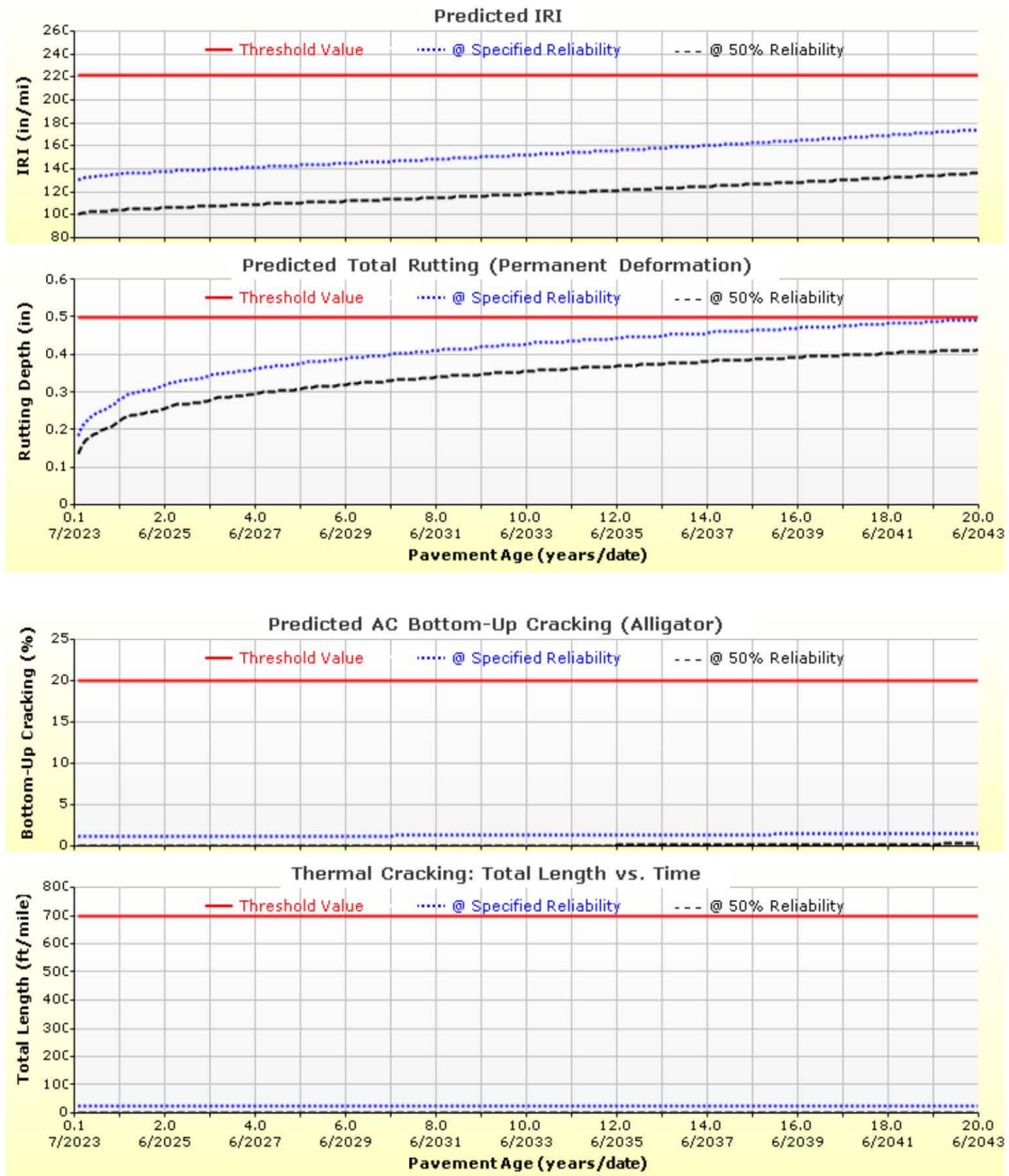


Imagen V.26: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

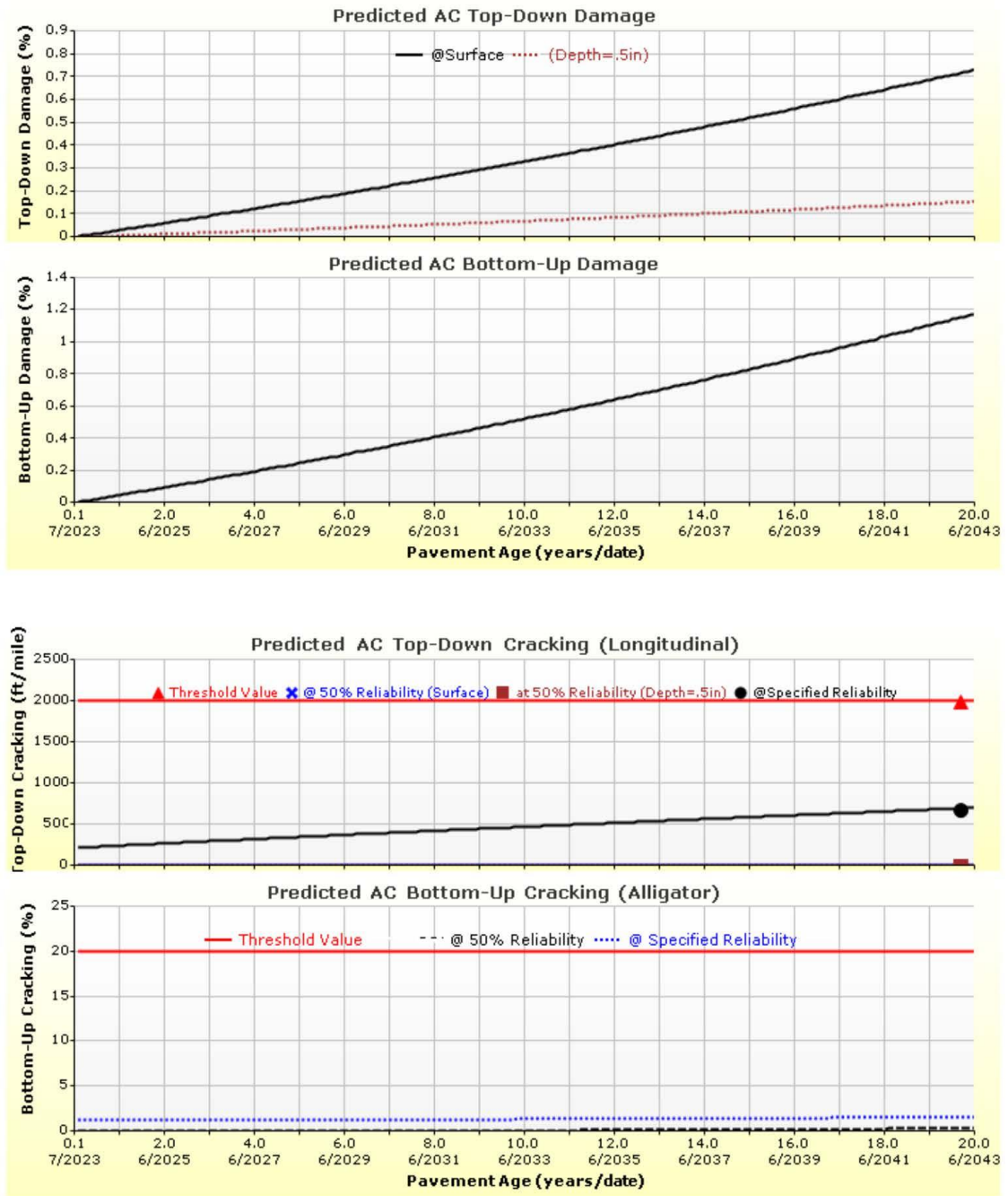


Imagen V.27: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Pomacanchi- Chuquicahuana-Cusco

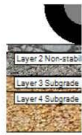
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Pomacanchi- Chuquicahuana-Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 117                       |
| 2033 (10 years) | 216,556                   |
| 2043 (20 years) | 487,005                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.20    | 85.00           | 98.87    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 86.22    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.30      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 399.90    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.06      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

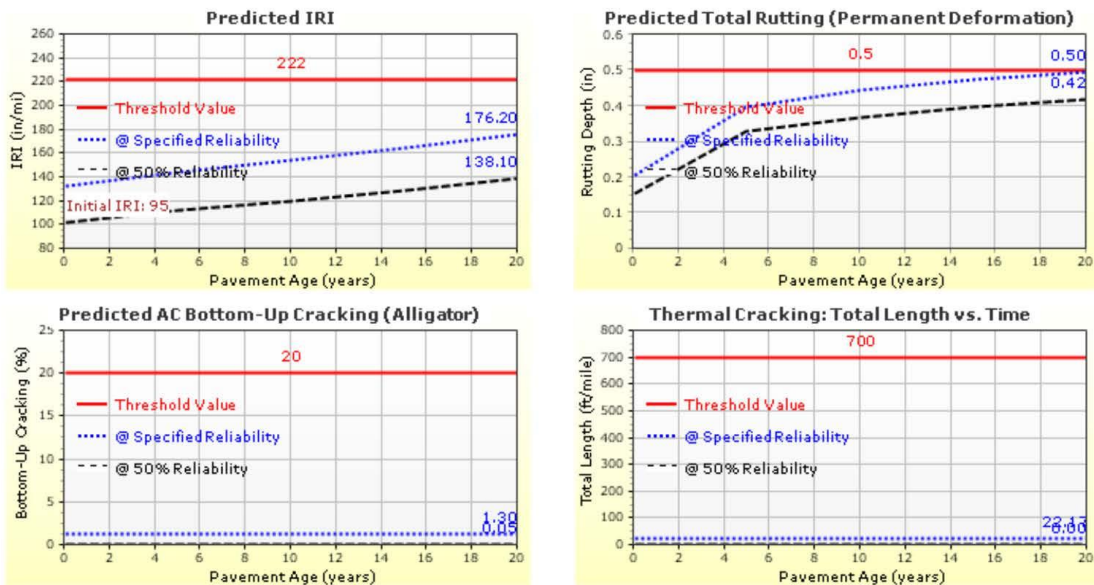


Imagen V.28: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Pomacanchi- Chuquicahuana-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Pomacanchi- Chuquicahuana-Cusco.dgpx



## Analysis Output Charts

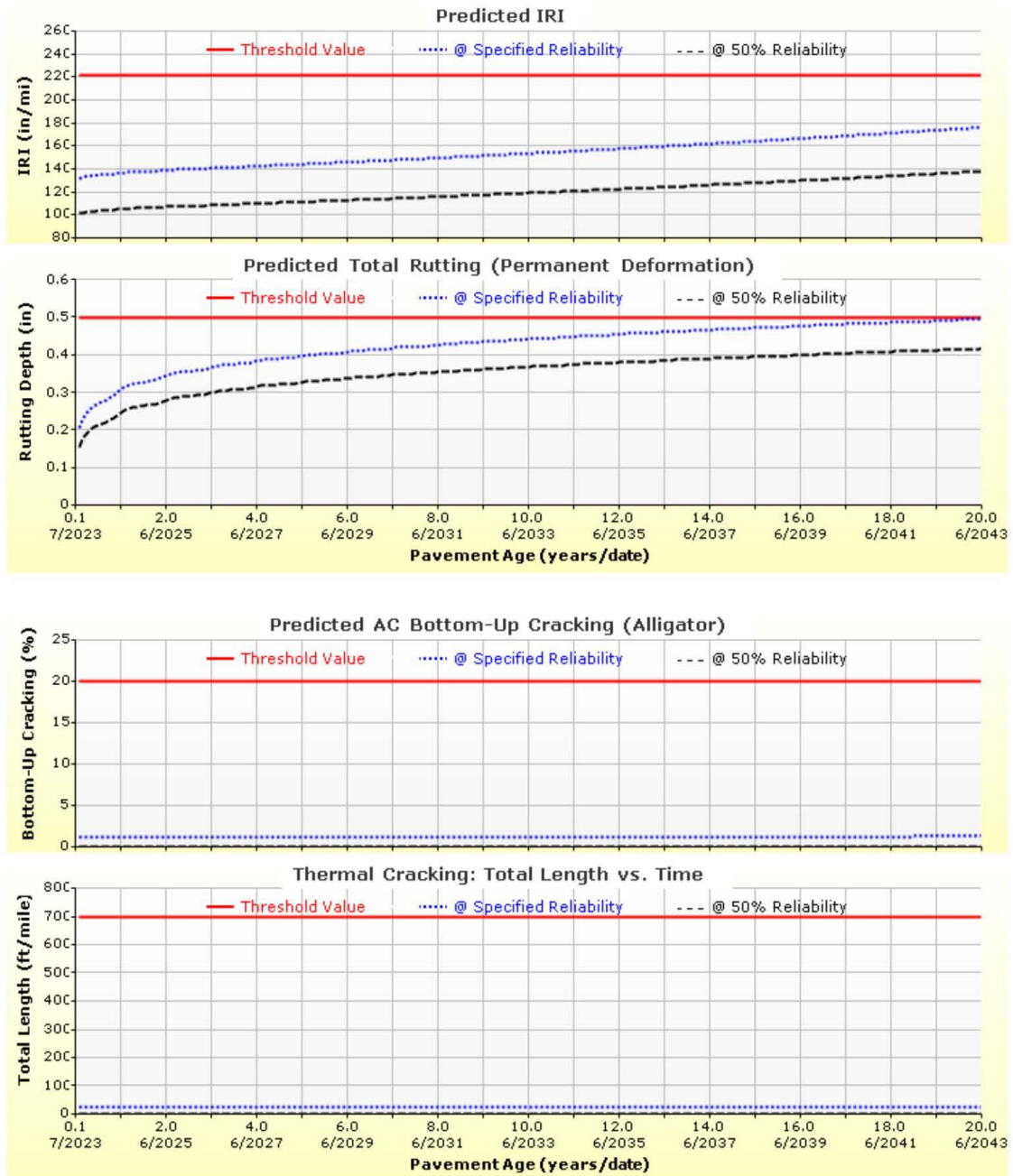


Imagen V.29: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Pomacanchi- Chuquichuana-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Pomacanchi- Chuquichuana-Cusco.dgpx

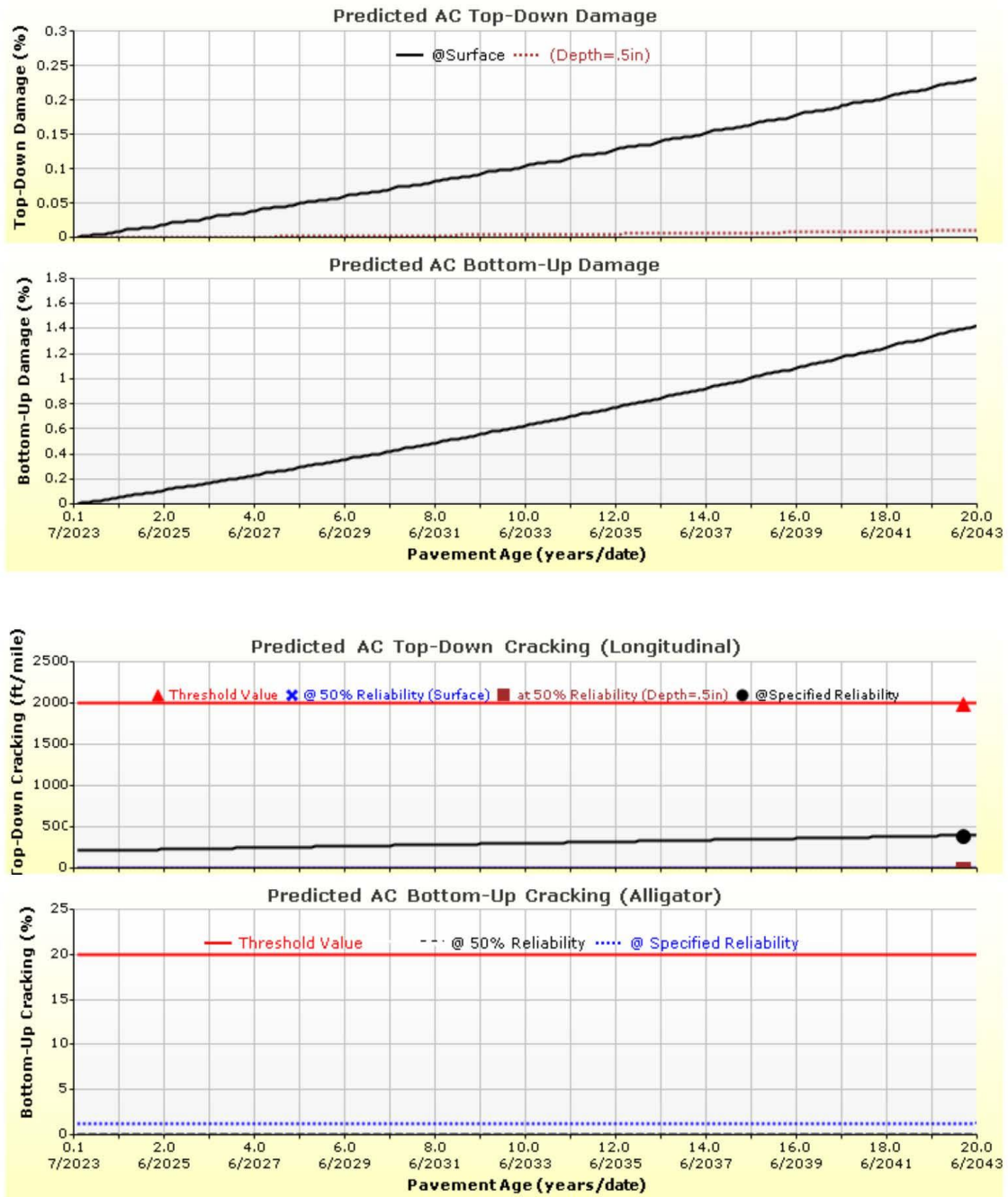


Imagen V.30: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Pomacanchi- Chuquicahuana-Ica

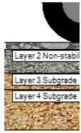
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Pomacanchi- Chuquicahuana-Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.): | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|------------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 1.6              | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0              | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0              |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite    |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 117                       |
| 2033 (10 years) | 216,556                   |
| 2043 (20 years) | 487,005                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 160.65    | 85.00           | 99.76    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.83    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.18      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.05      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

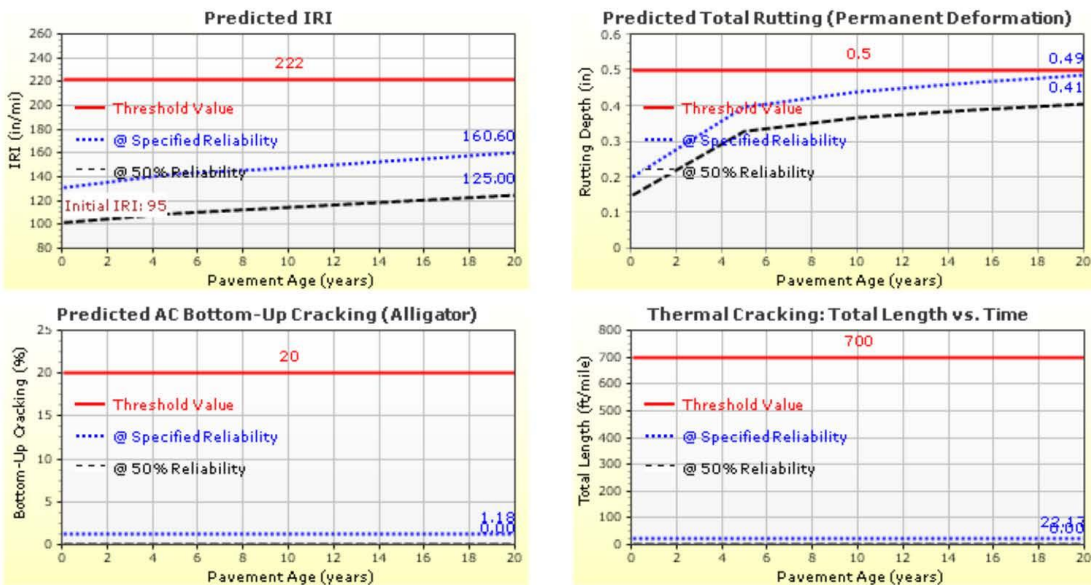


Imagen V.31: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



**Analysis Output Charts**

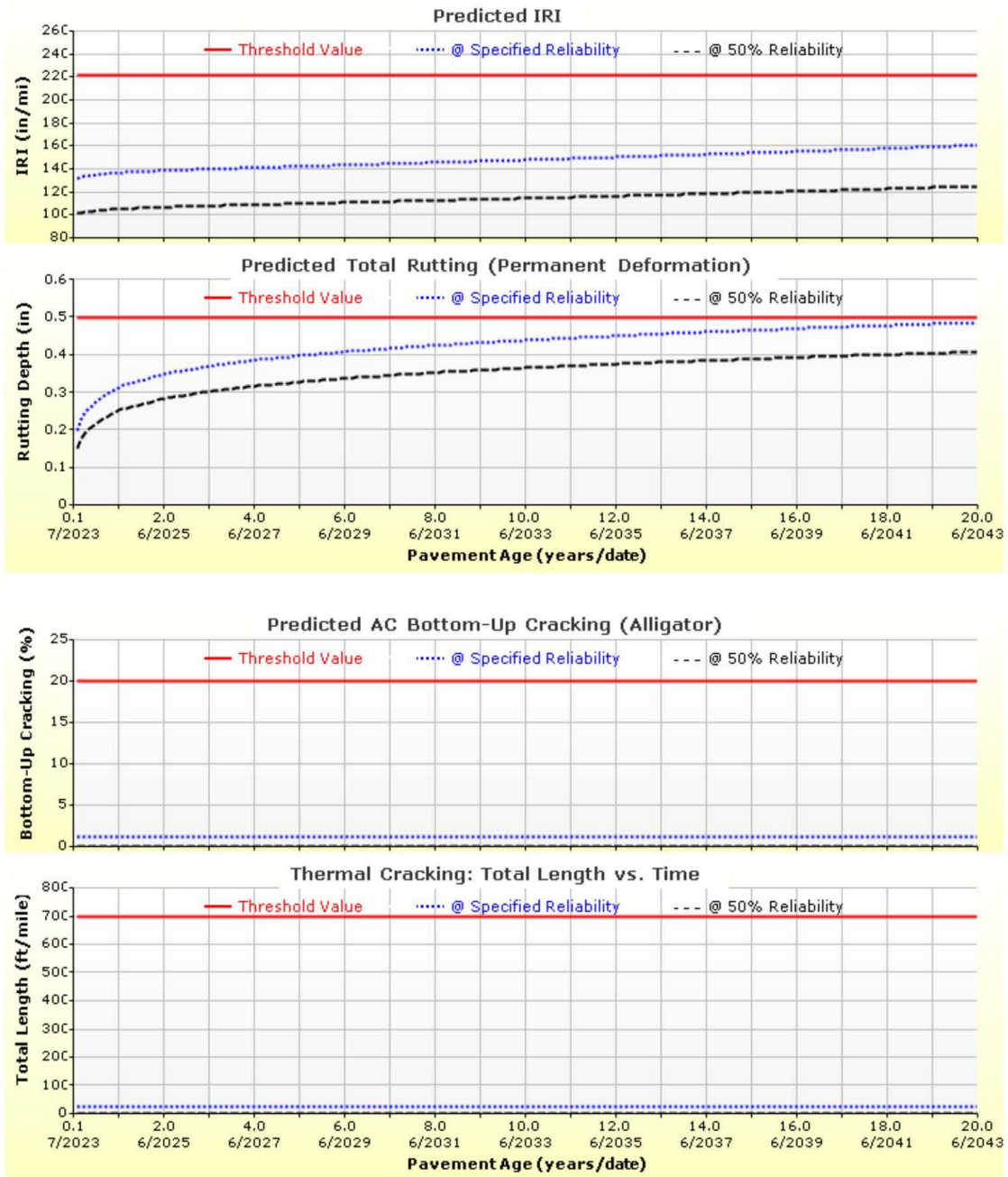


Imagen V.32: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

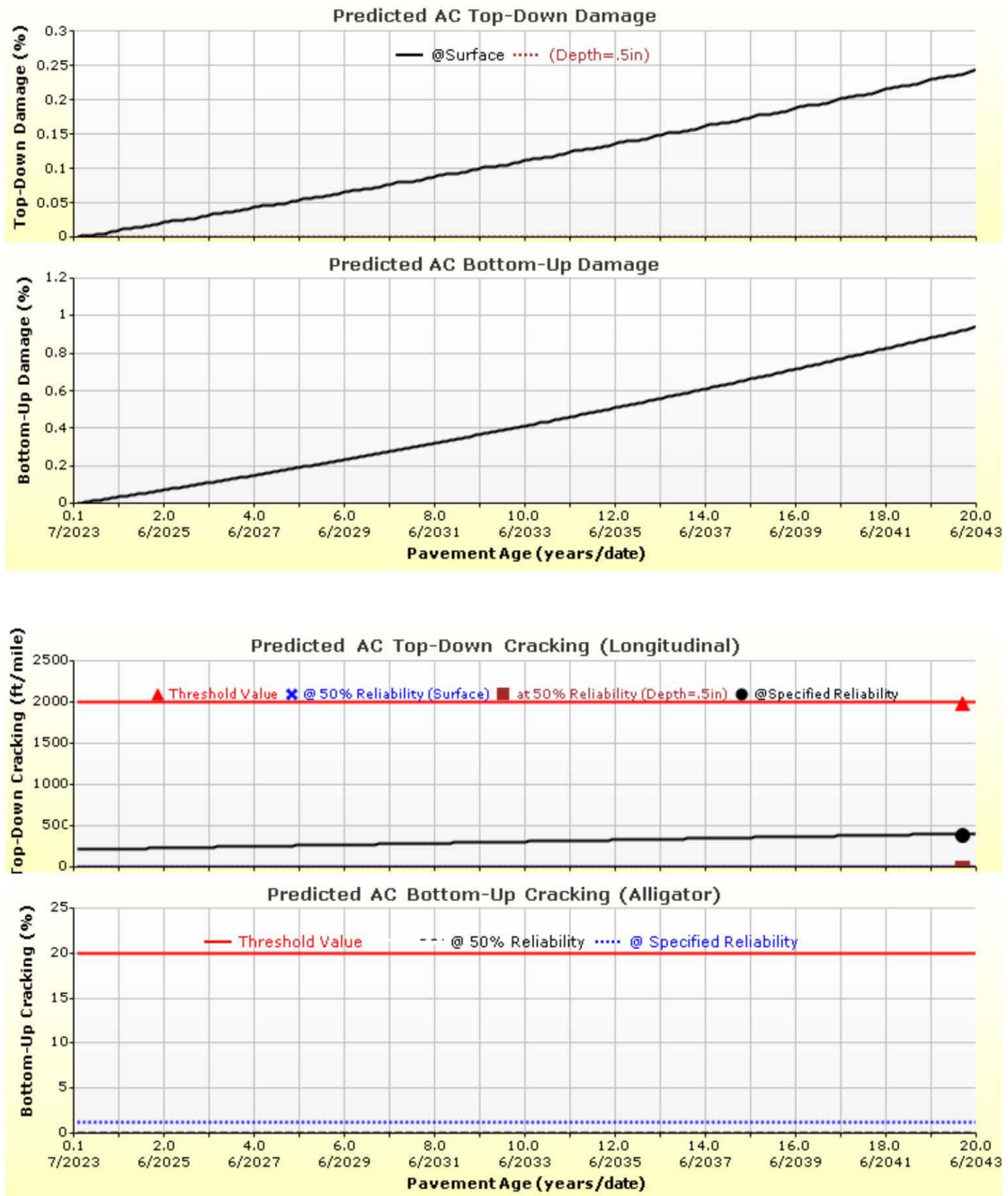


Imagen V.32: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Pomacanchi- Chuquicahuana-Pucallpa

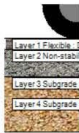
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Pomacanchi- Chuquicahuana-Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.2             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 6.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 117                       |
| 2033 (10 years) | 216,556                   |
| 2043 (20 years) | 487,005                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 173.87    | 85.00           | 99.08    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.46    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.93      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1081.78   | 85.00           | 97.34    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.16      | 85.00           | 99.95    | Pass                 |

### Distress Charts

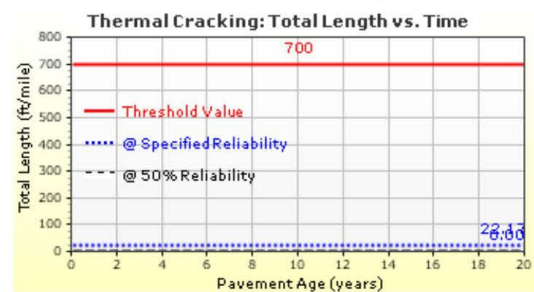
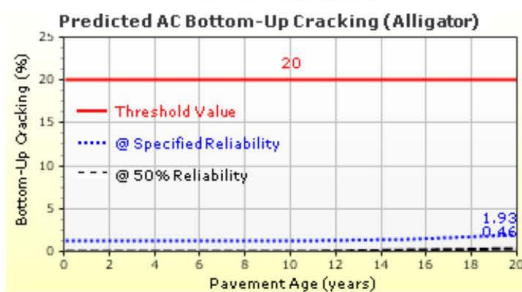
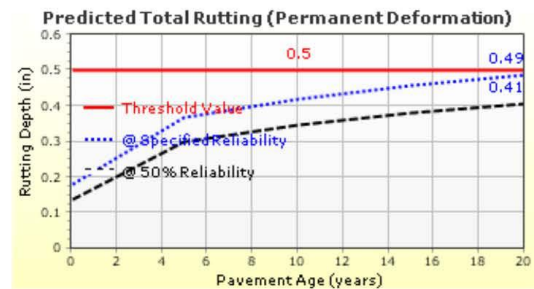
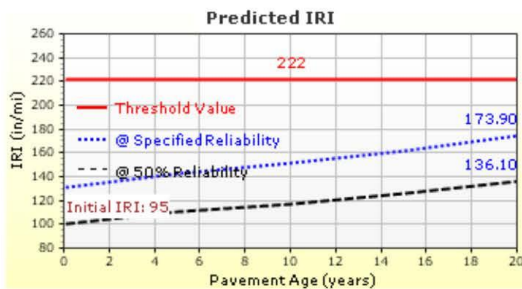


Imagen V.33: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



Analysis Output Charts

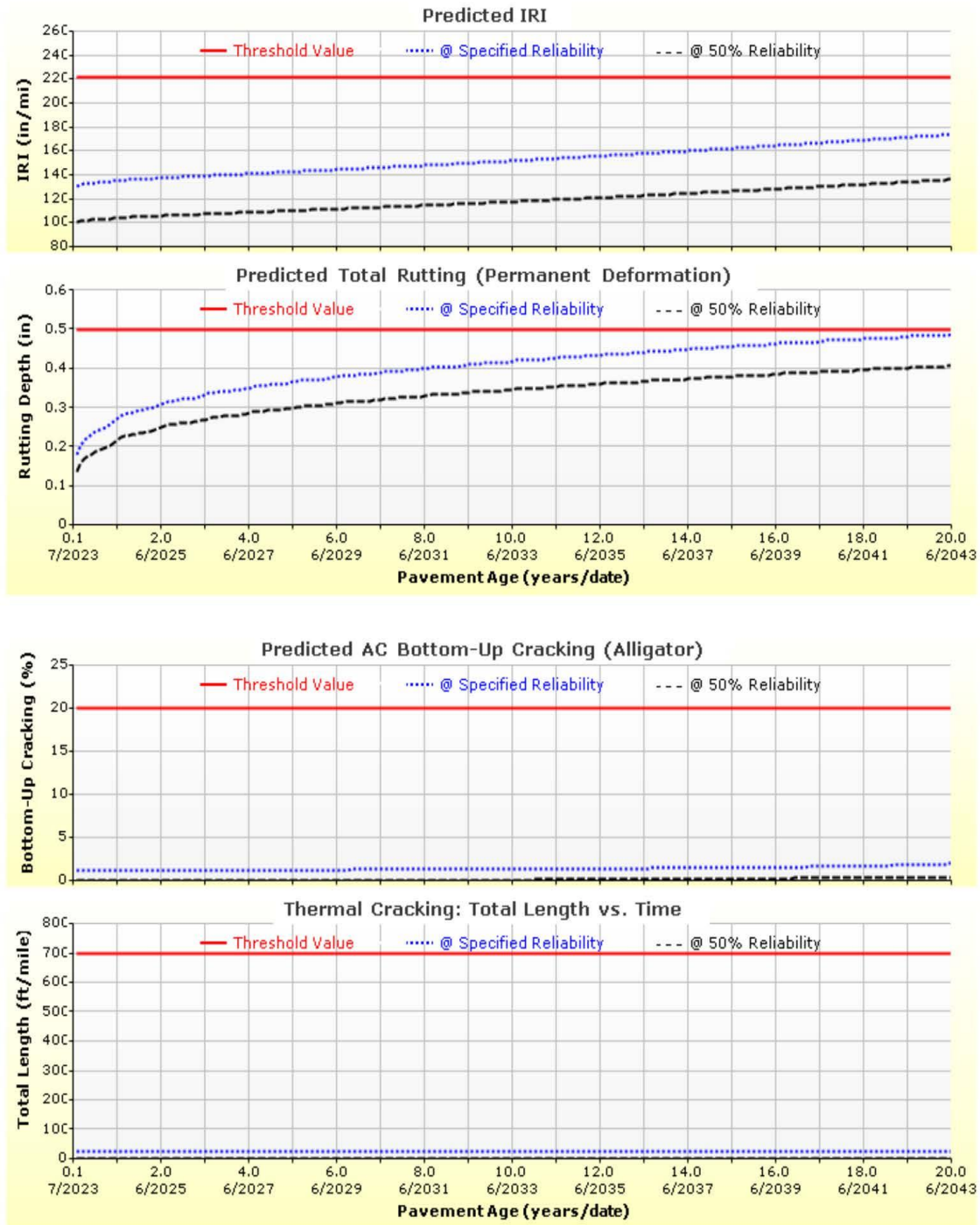


Imagen V.34: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Pomacanchi- Chuquicahuana-Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Pomacanchi- Chuquicahuana-Pucallpa.dgpx

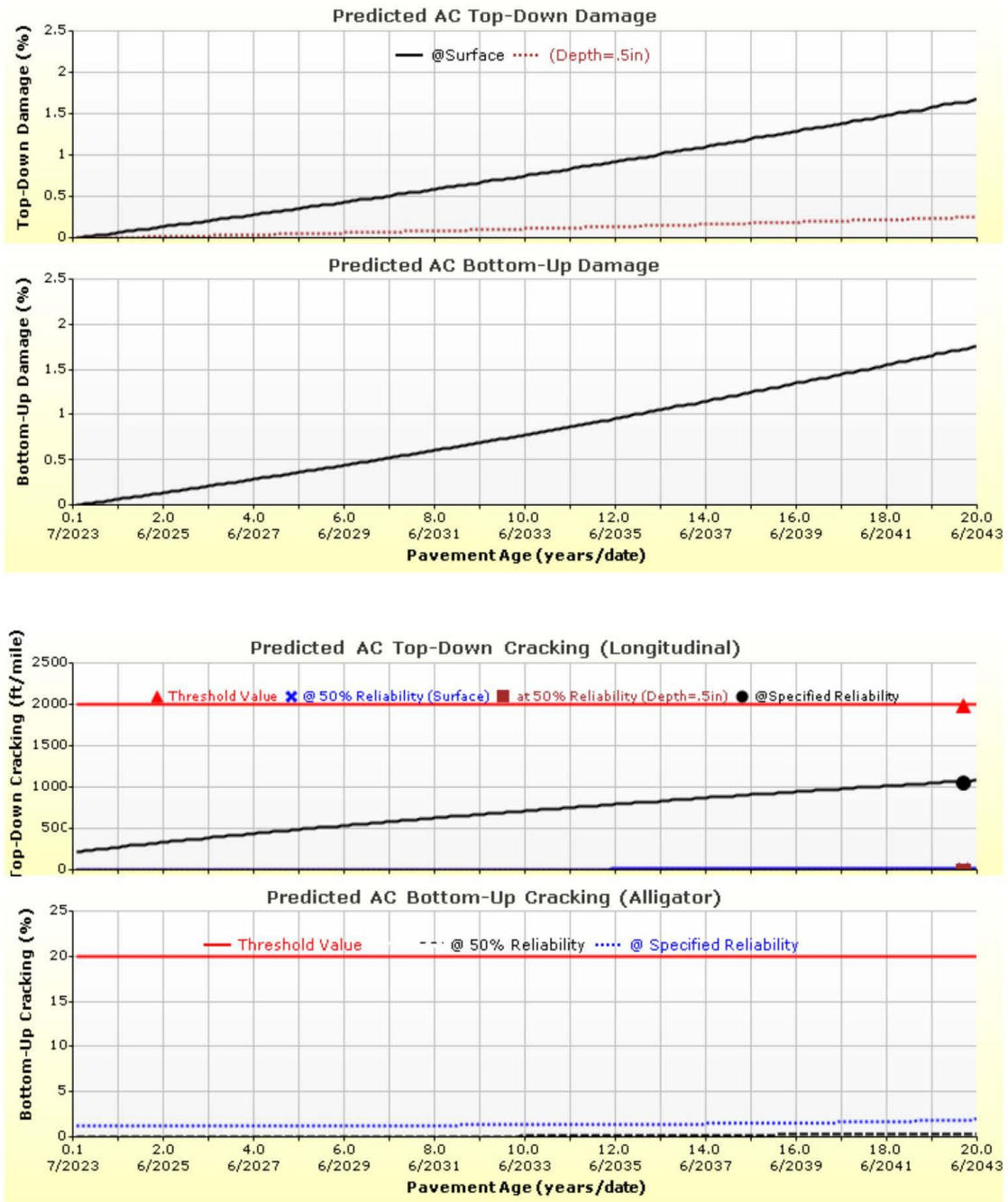


Imagen V.35: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Paruro-Cusibamba-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Paruro-Cusibamba-Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.8             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 51                        |
| 2033 (10 years) | 96,687                    |
| 2043 (20 years) | 221,960                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 175.91    | 85.00           | 98.90    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.18    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.26      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 558.56    | 85.00           | 99.99    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.05      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

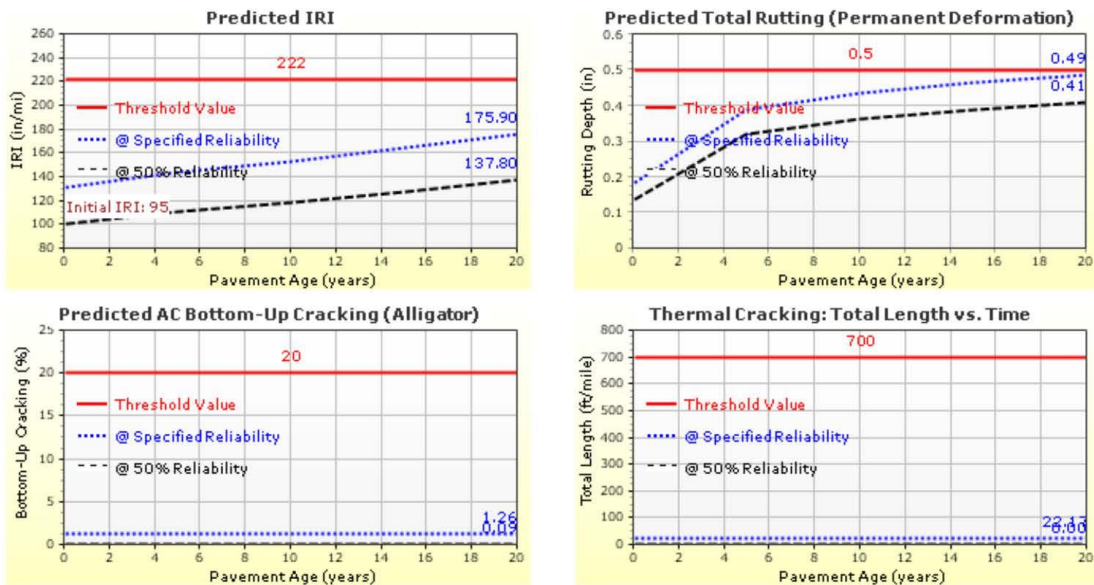


Imagen V.36: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

**Analysis Output Charts**

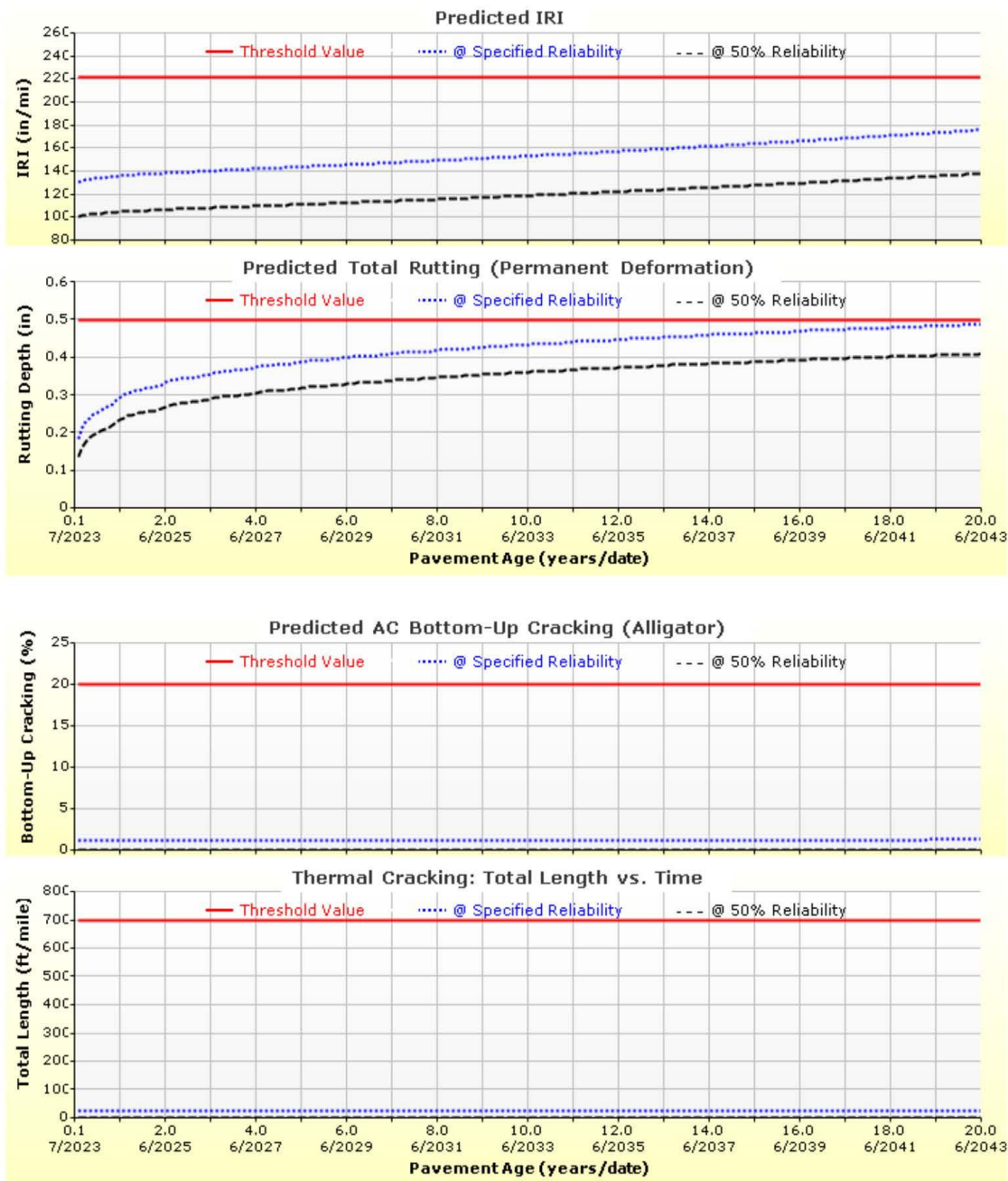


Imagen V.37: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Paruro-Cusibamba-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Paruro-Cusibamba-Cusco.dgpx

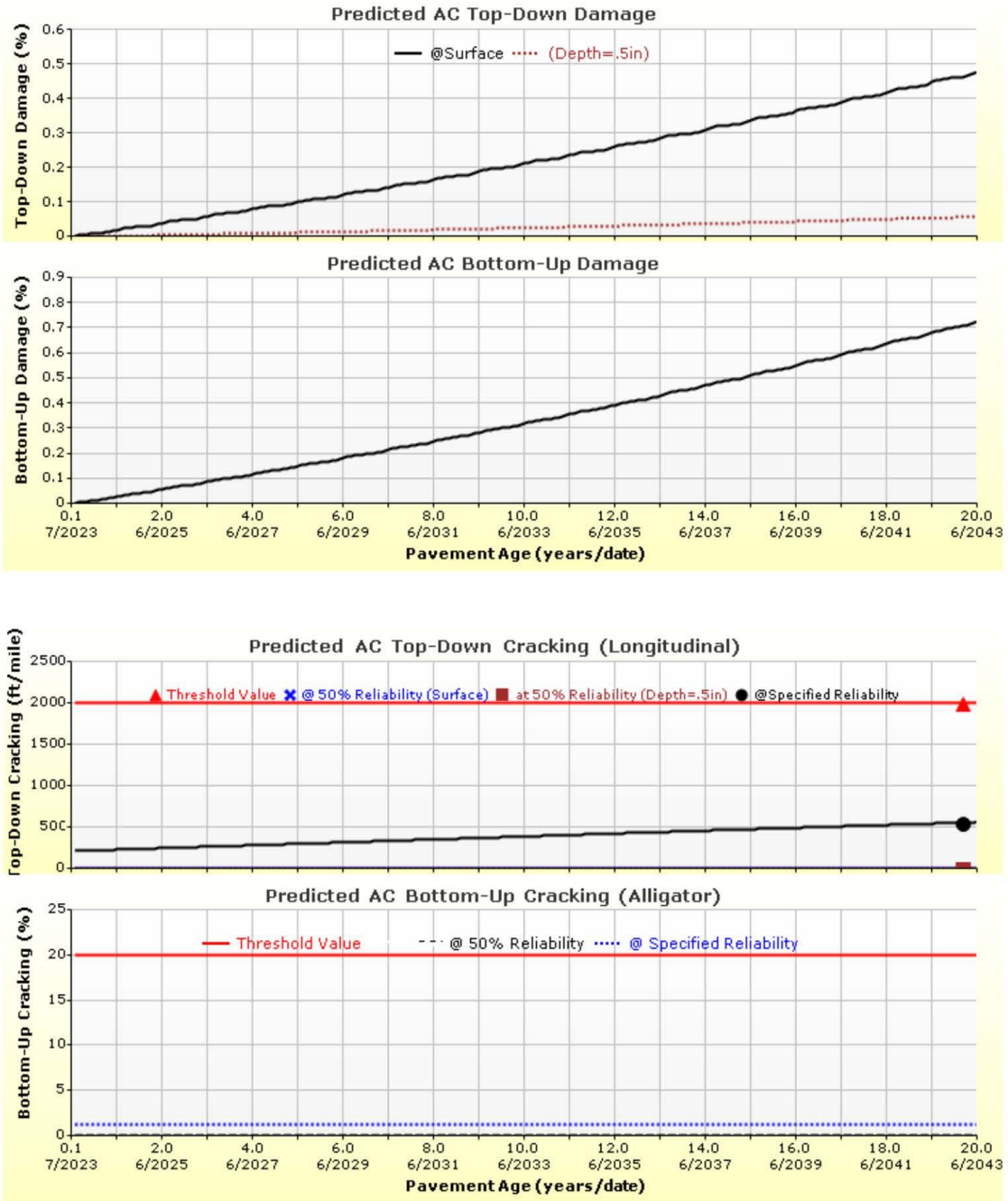


Imagen V.38: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Paruro-Cusibamba-Ica

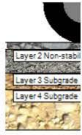
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Paruro-Cusibamba-Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 1.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 51                        |
| 2033 (10 years) | 96,687                    |
| 2043 (20 years) | 221,960                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 159.27    | 85.00           | 99.80    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.45      | 85.00           | 95.17    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.17      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 343.67    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.03      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

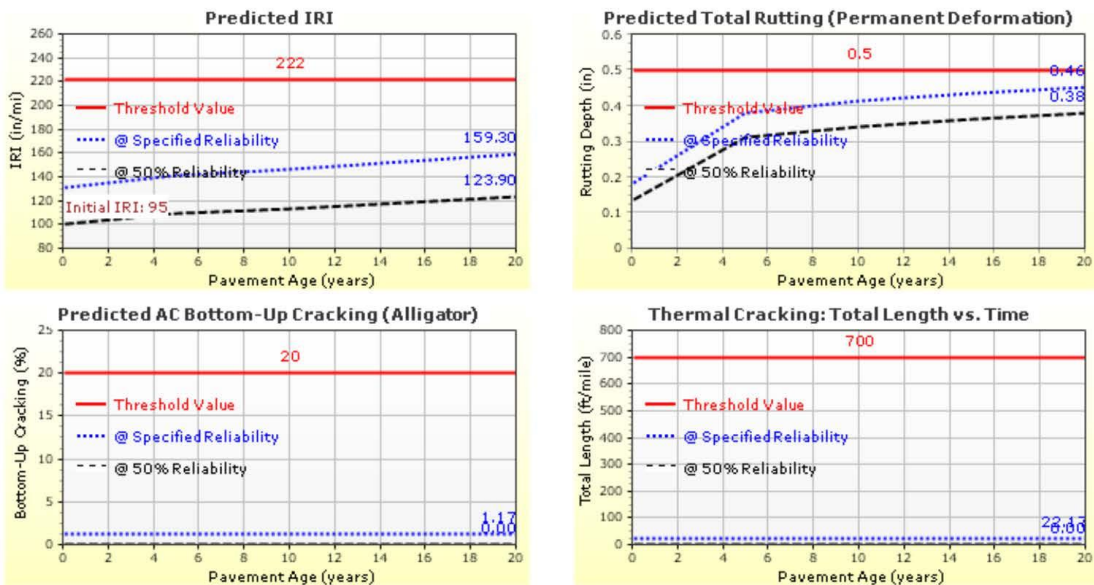


Imagen V.39: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Paruro-Cusibamba-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Paruro-Cusibamba-Ica.dgpx



## Analysis Output Charts

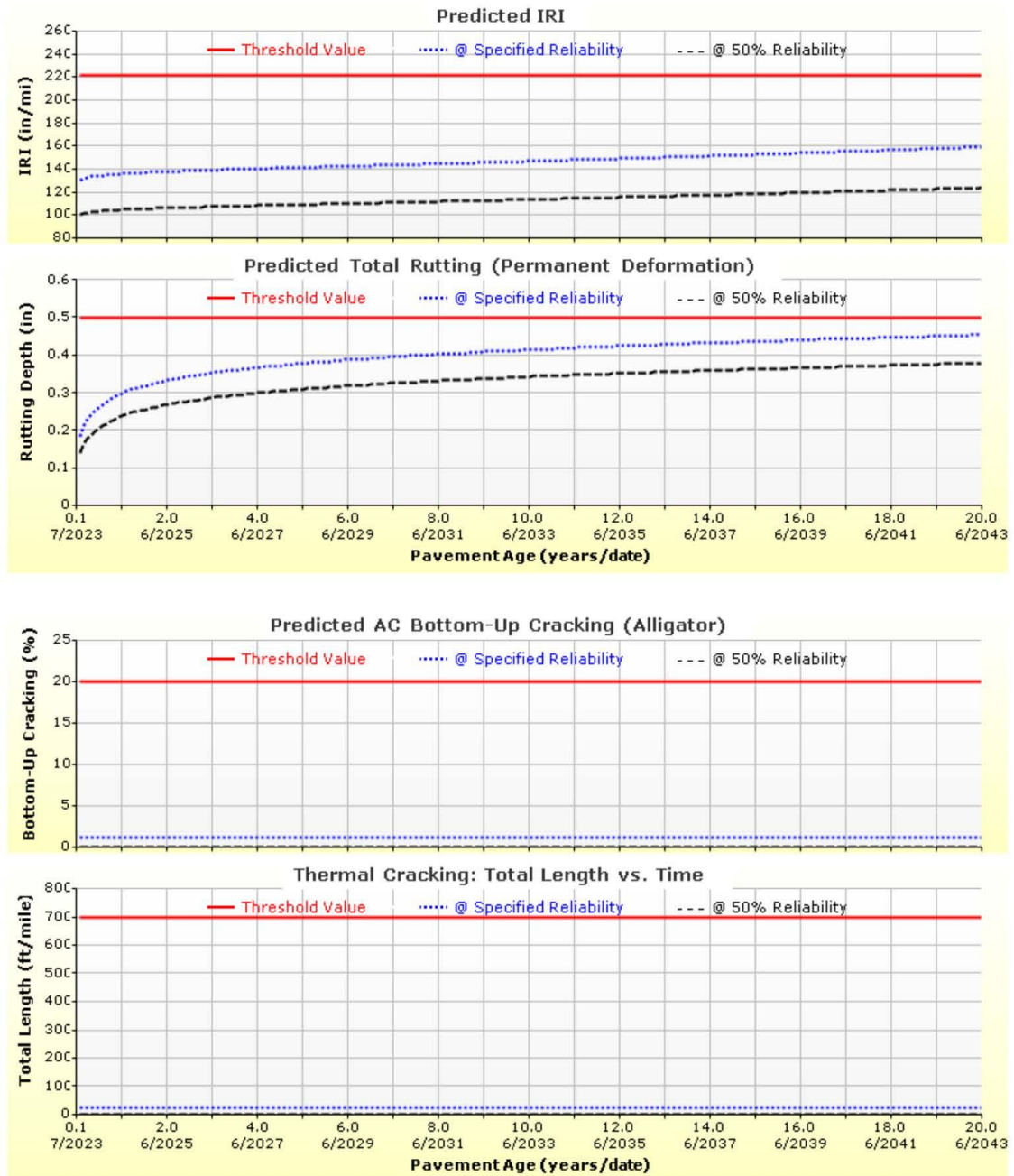


Imagen V.40: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Paruro-Cusibamba-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Paruro-Cusibamba-Ica.dgpx

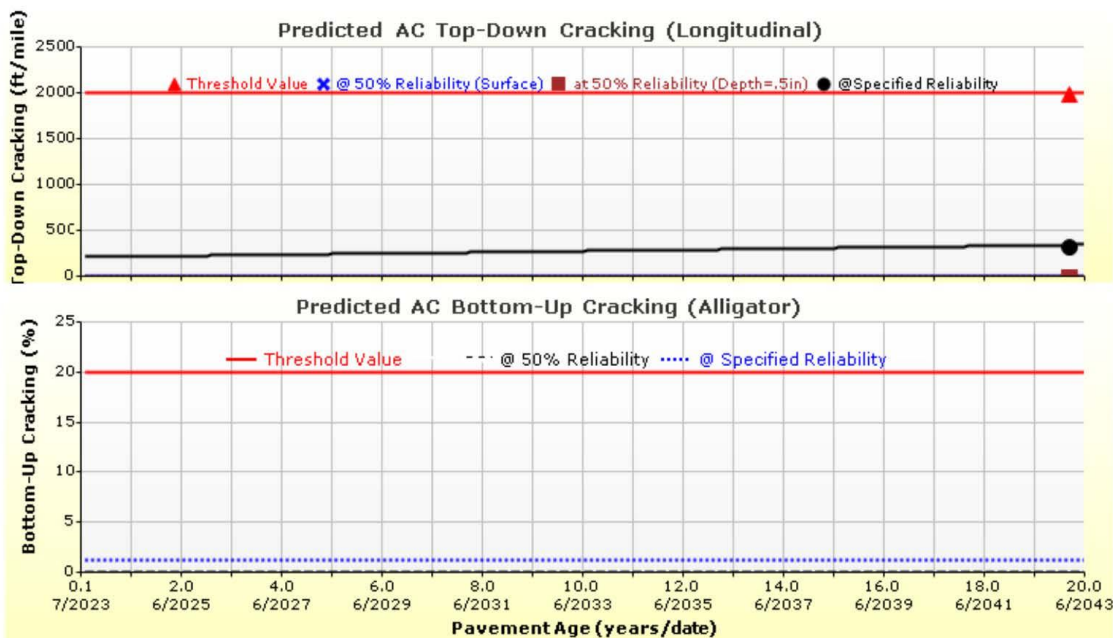
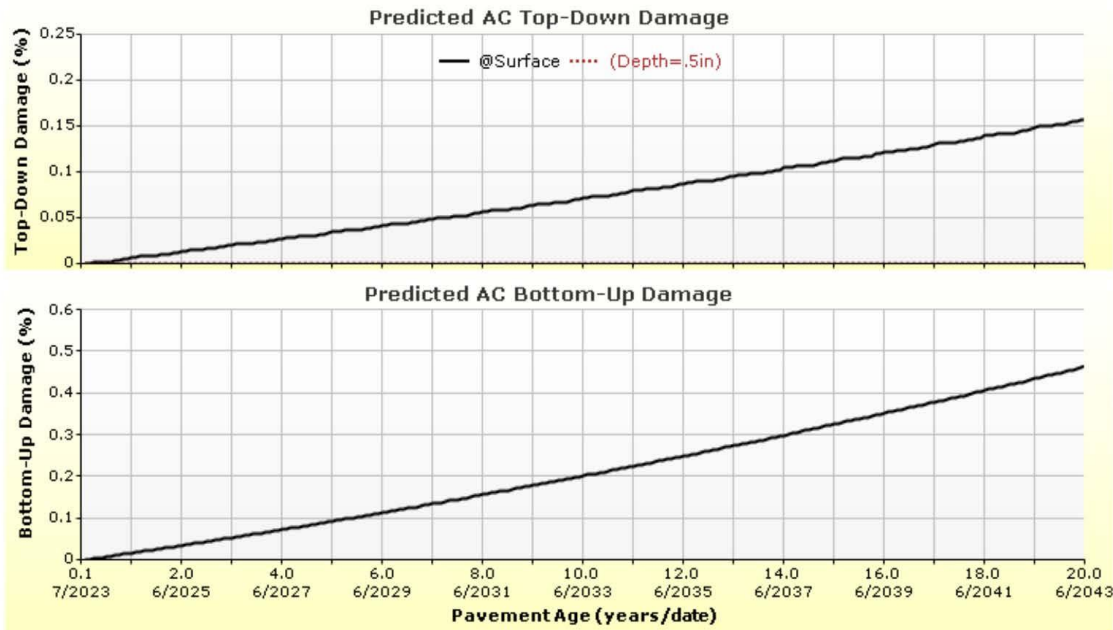


Imagen V.41: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Paruro-Cusibamba-Pucallpa

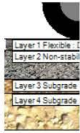
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Paruro-Cusibamba-Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.2             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 51                        |
| 2033 (10 years) | 96,687                    |
| 2043 (20 years) | 221,960                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 173.56    | 85.00           | 99.10    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.48      | 85.00           | 89.98    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.39      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 634.89    | 85.00           | 99.95    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.11      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

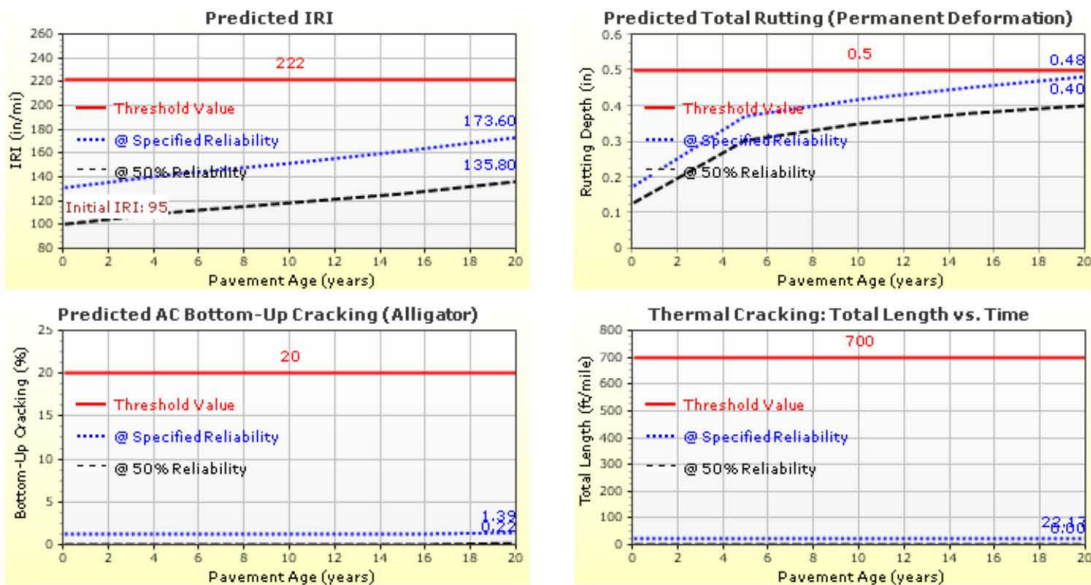


Imagen V.42: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





**Analysis Output Charts**

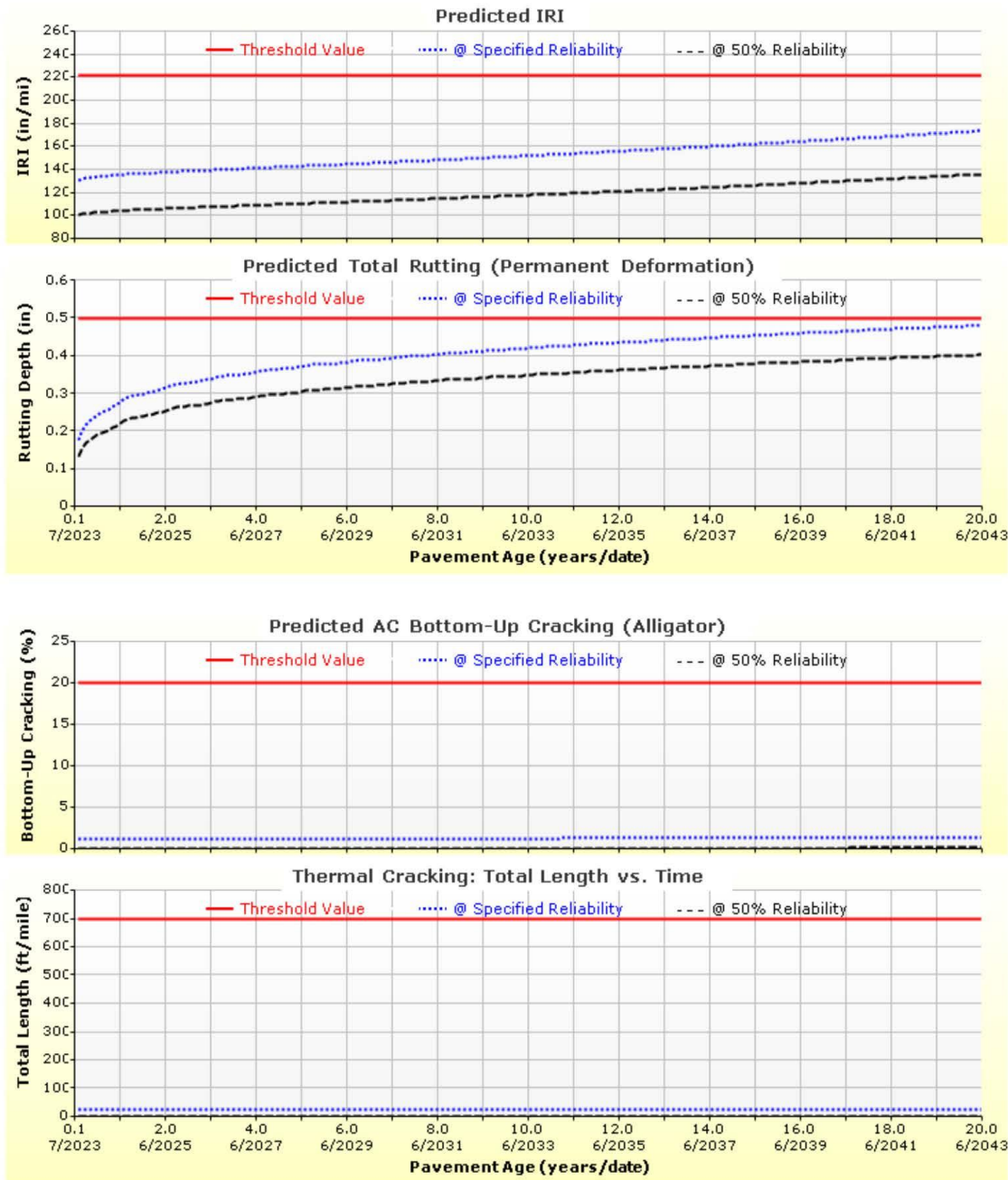


Imagen V.43: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.

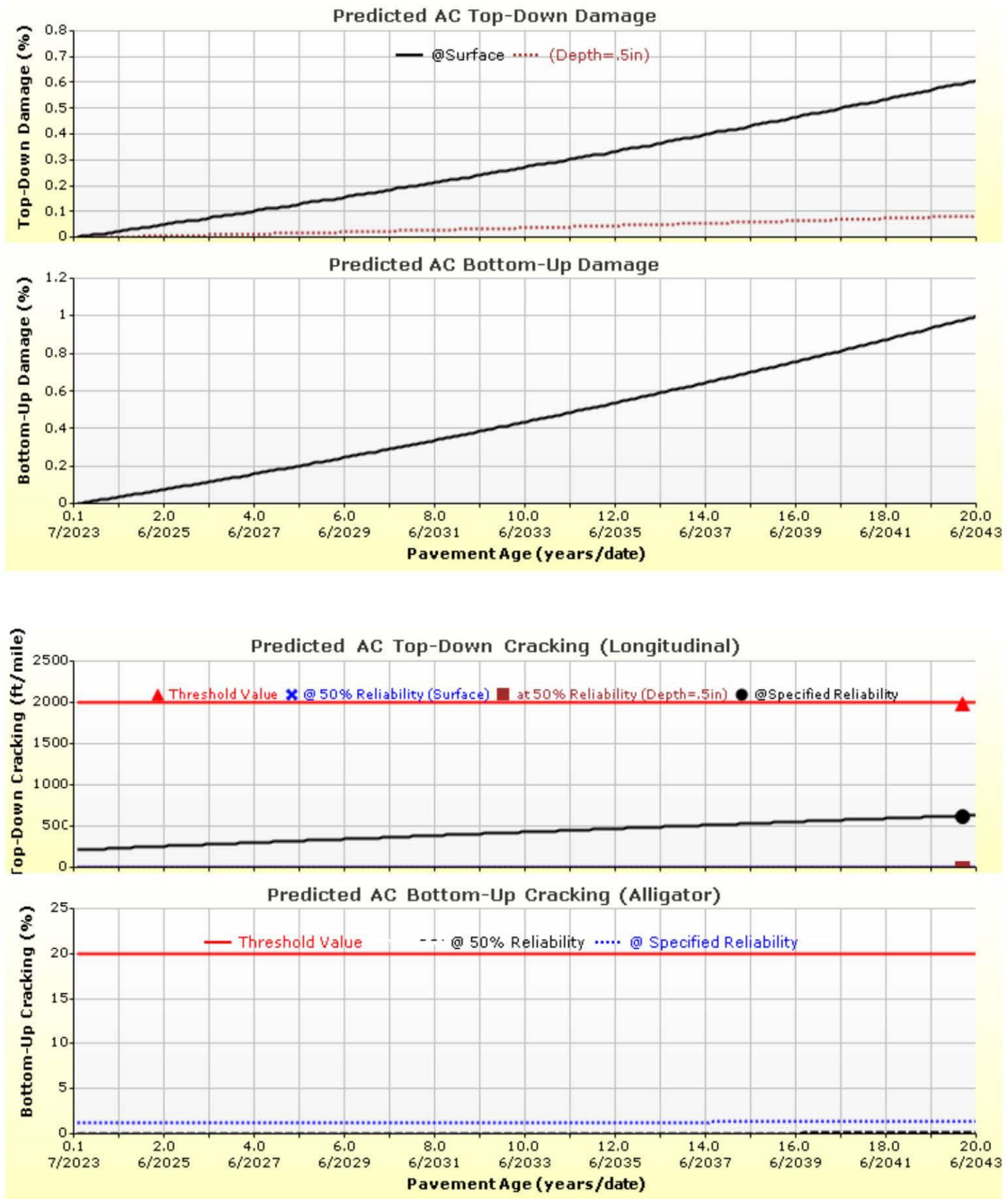


Imagen V.44: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Cusibamba-Accha-Cusco

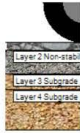
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 37                        |
| 2033 (10 years) | 69,407                    |
| 2043 (20 years) | 157,910                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 175.84    | 85.00           | 98.91    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.31    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.18      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 276.47    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.04      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

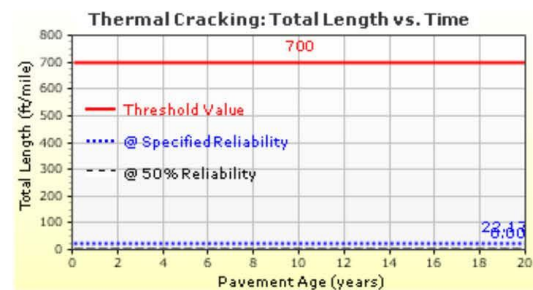
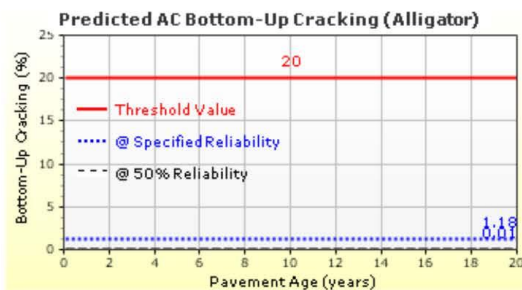
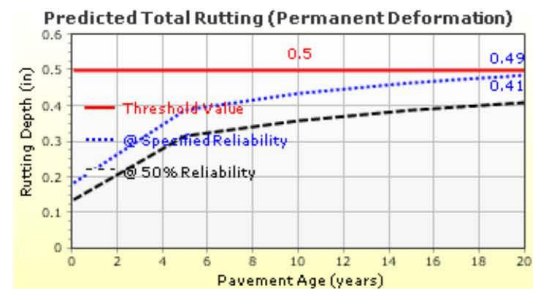
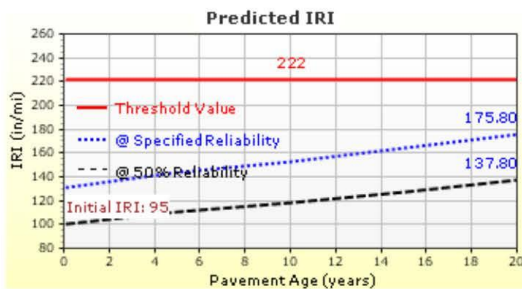


Imagen V.45: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Cusibamba-Accha-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Cusco.dgpx



## Analysis Output Charts

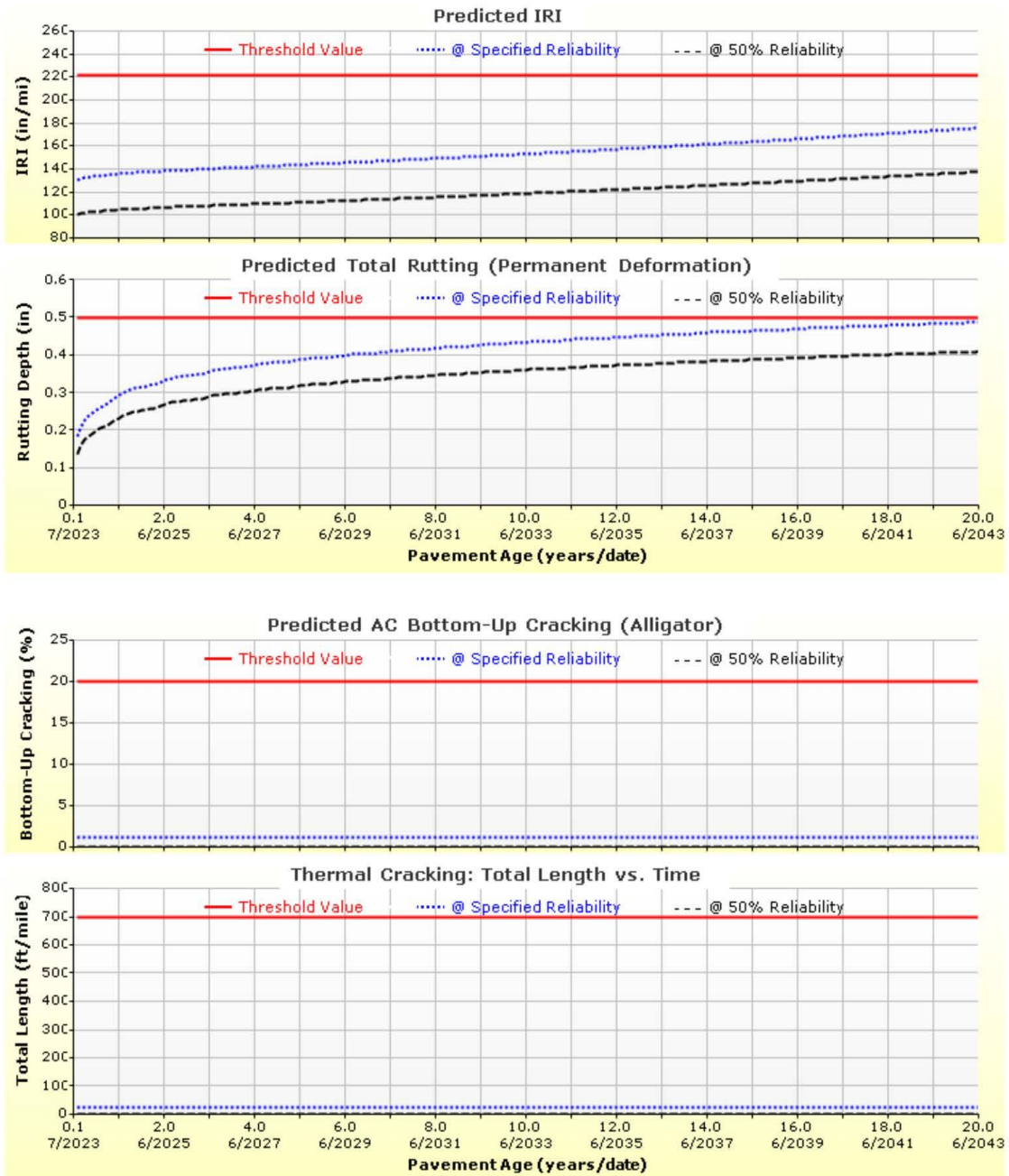


Imagen V.46: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Cusibamba-Accha-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Cusco.dgpx

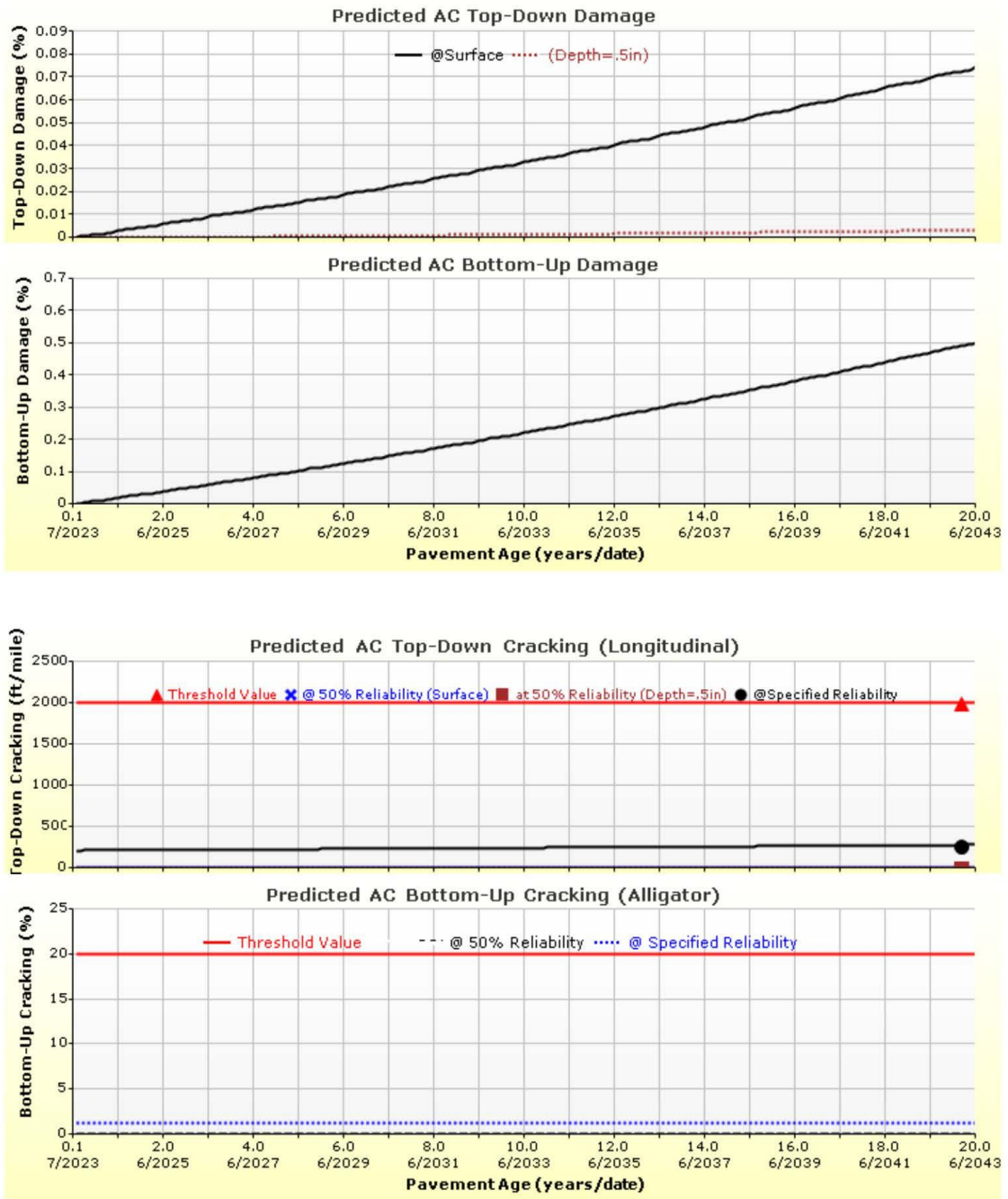


Imagen V.47: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Cusibamba-Accha-Ica

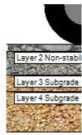
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 1.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 37                        |
| 2033 (10 years) | 69,407                    |
| 2043 (20 years) | 157,910                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 160.64    | 85.00           | 99.76    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 88.70    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.17      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 264.90    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.03      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

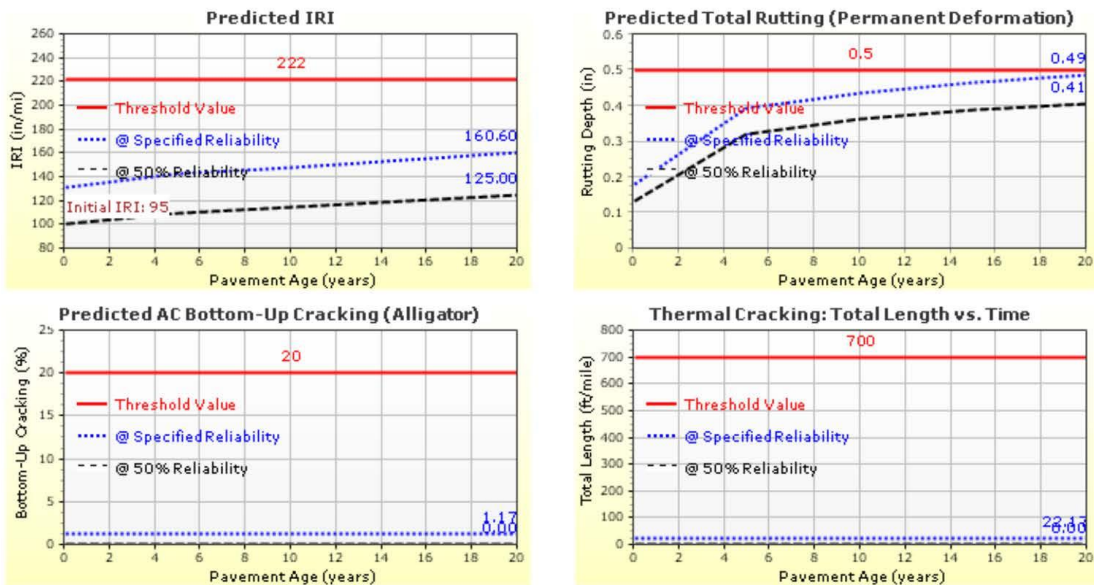


Imagen V.48: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Cusibamba-Accha-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Ica.dgpx



## Analysis Output Charts

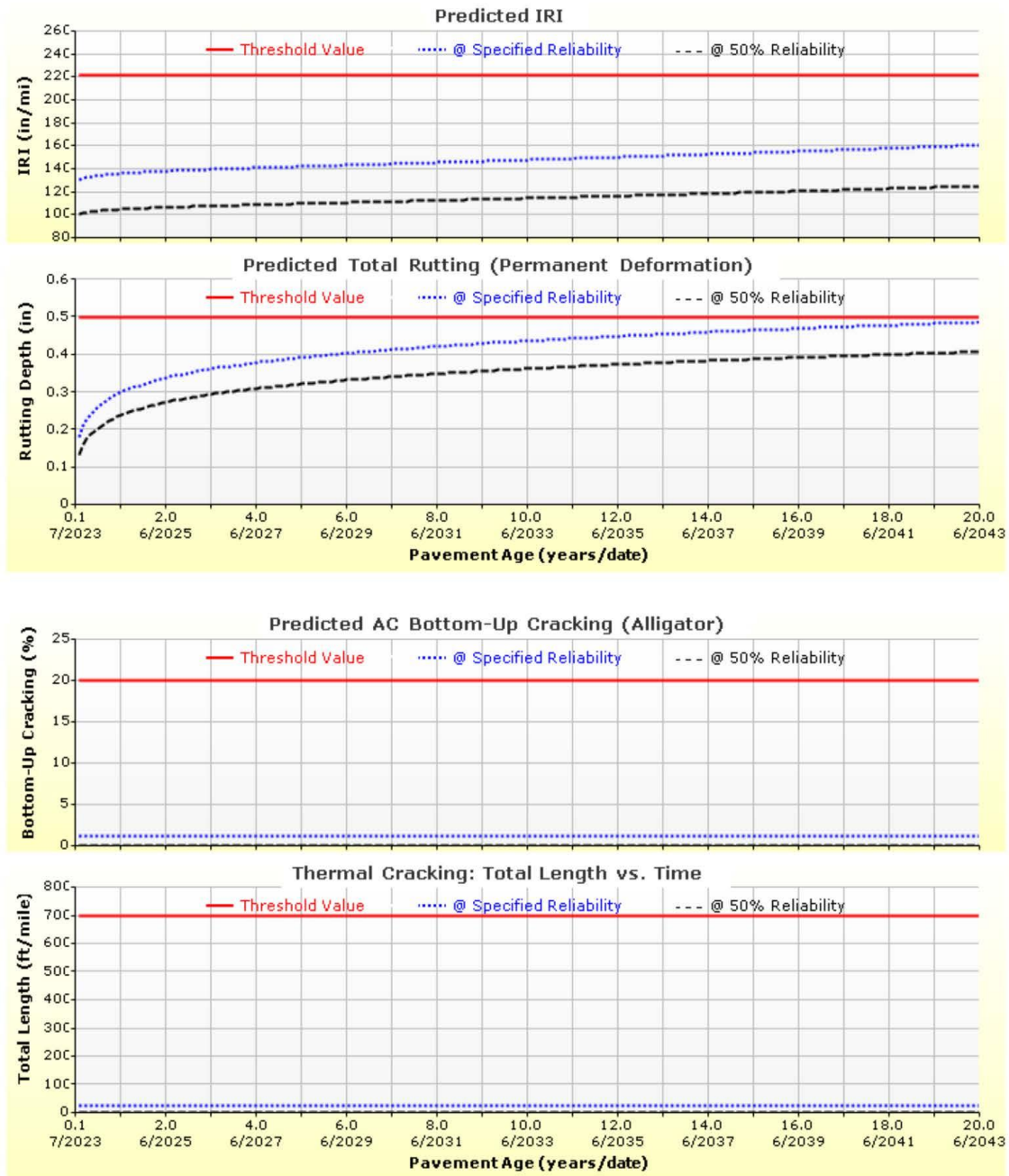


Imagen V.49: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Cusibamba-Accha-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Ica.dgpx

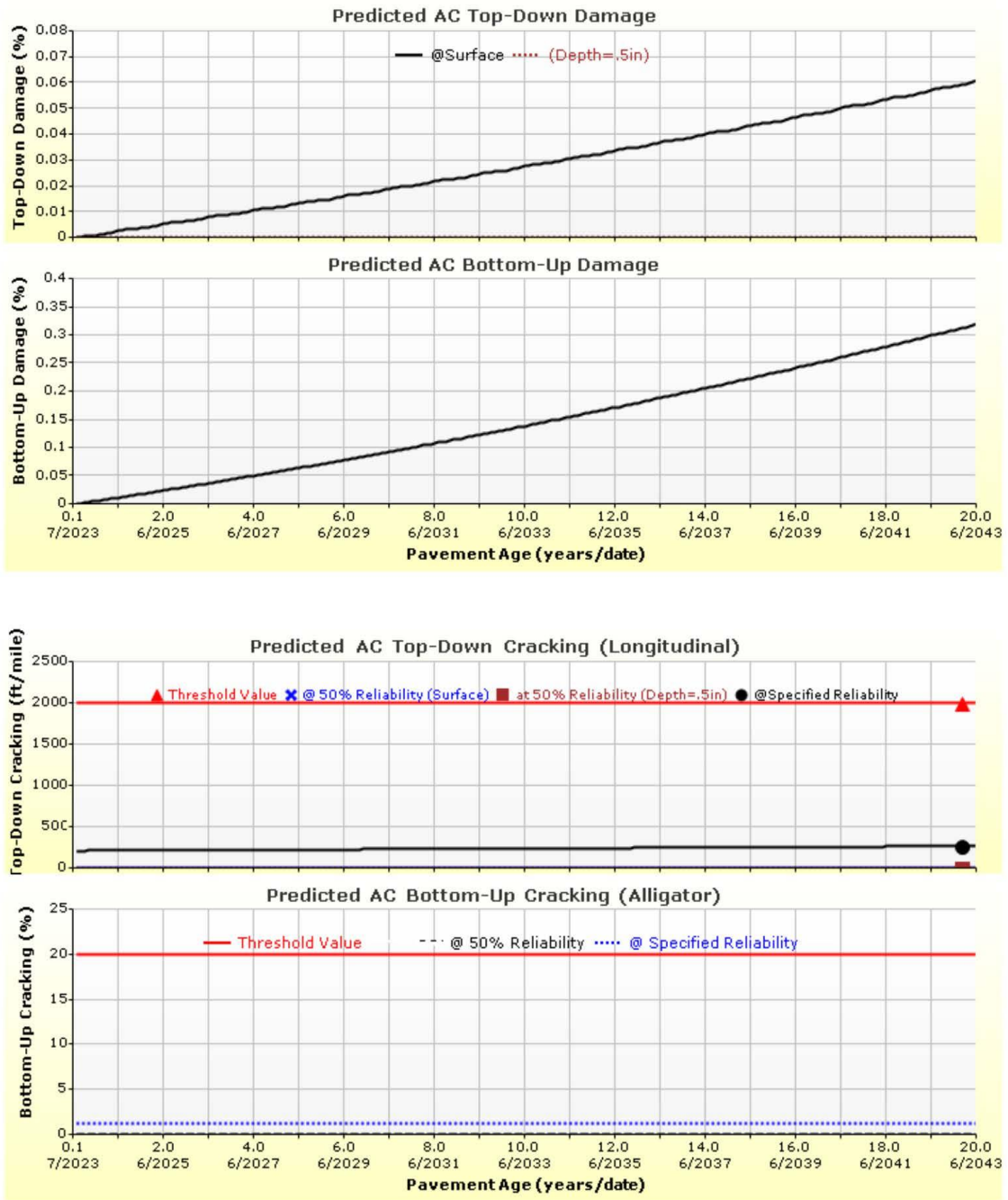


Imagen V.50: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Cusibamba-Accha-Pucallpa

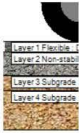
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.8             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 37                        |
| 2033 (10 years) | 69,407                    |
| 2043 (20 years) | 157,910                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 173.53    | 85.00           | 99.11    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.48      | 85.00           | 89.73    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.23      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 806.63    | 85.00           | 99.52    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.10      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

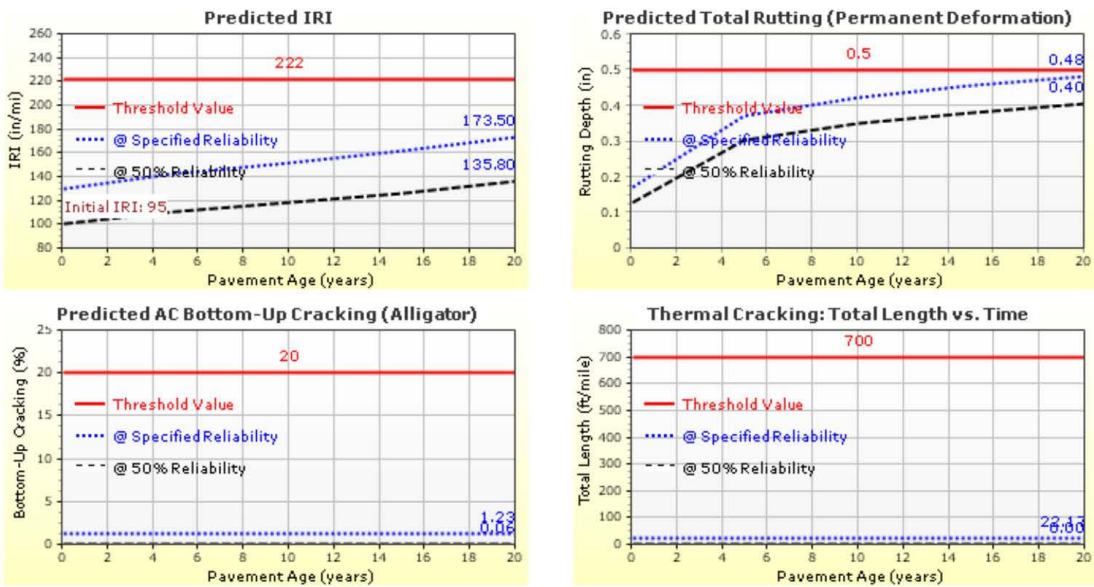


Imagen V.51: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





Analysis Output Charts

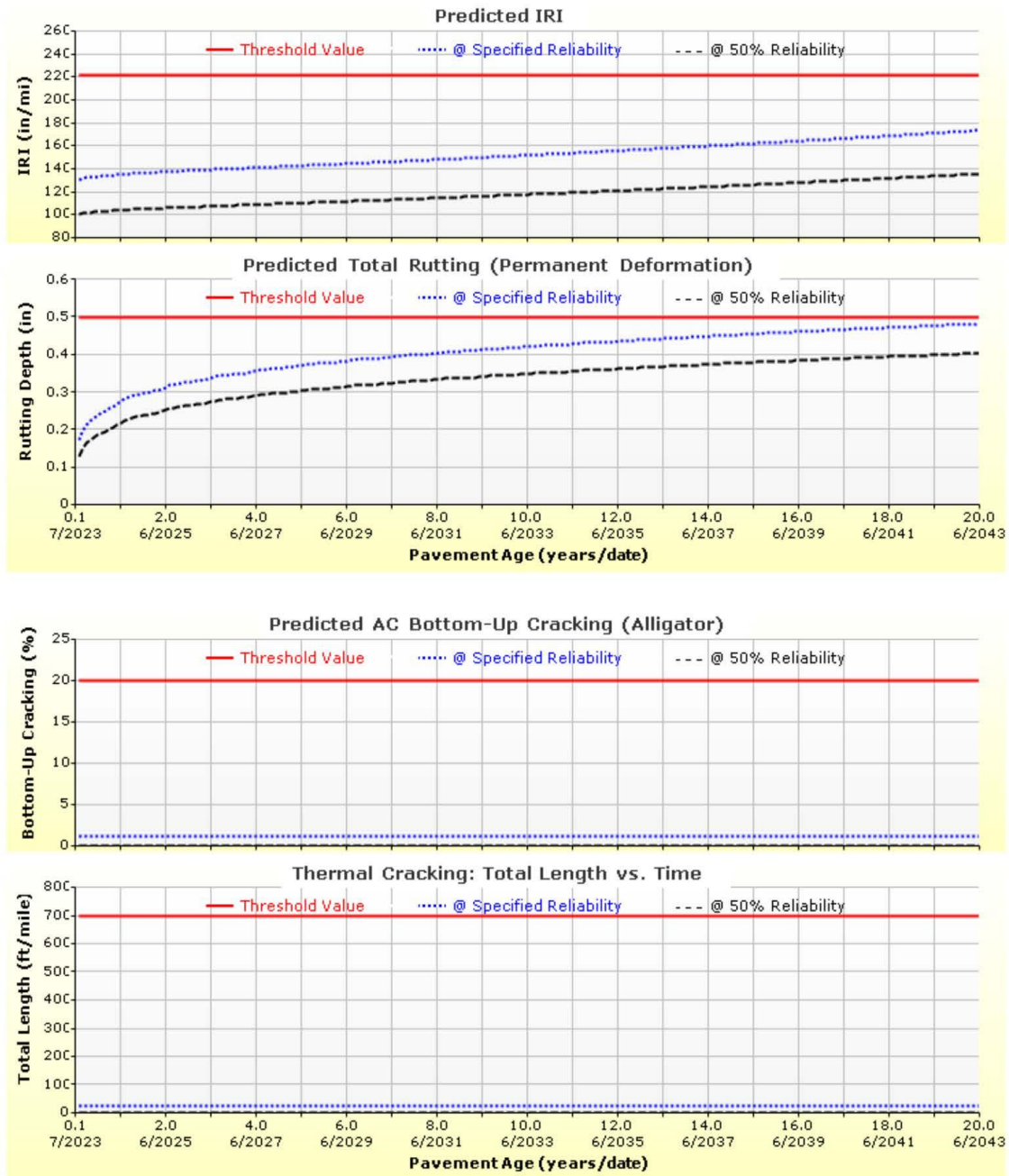


Imagen V.52: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Cusibamba-Accha-Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Cusibamba-Accha-Pucallpa.dgpx

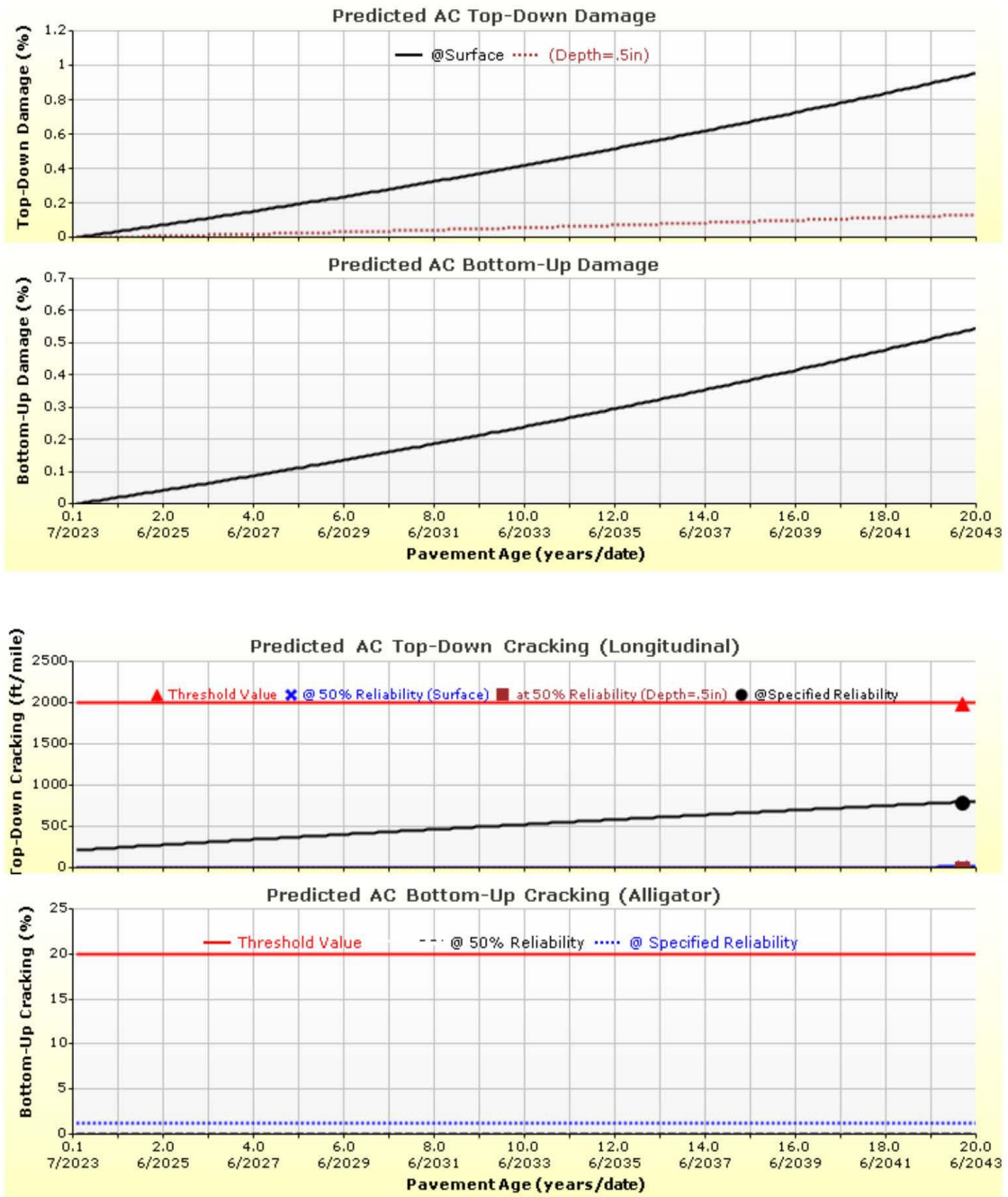


Imagen V.53: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Accha-Pillpinto-Cusco

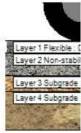
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Accha-Pillpinto-Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.2             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-4                      | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 36                        |
| 2033 (10 years) | 67,830                    |
| 2043 (20 years) | 154,907                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.03    | 85.00           | 98.89    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 87.57    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.35      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 892.69    | 85.00           | 99.04    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.05      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

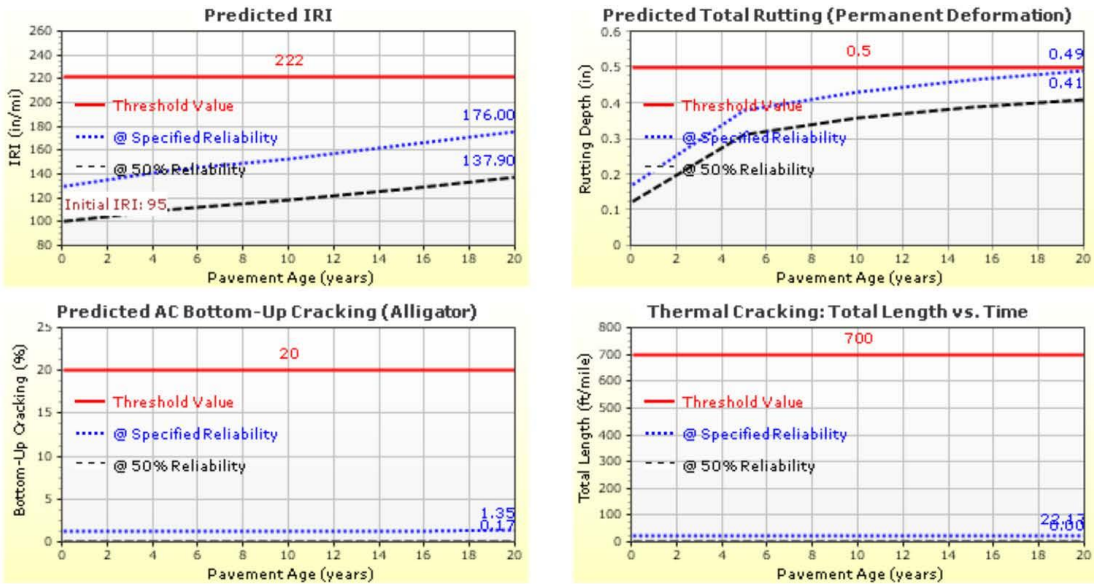


Imagen V.54: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





Analysis Output Charts

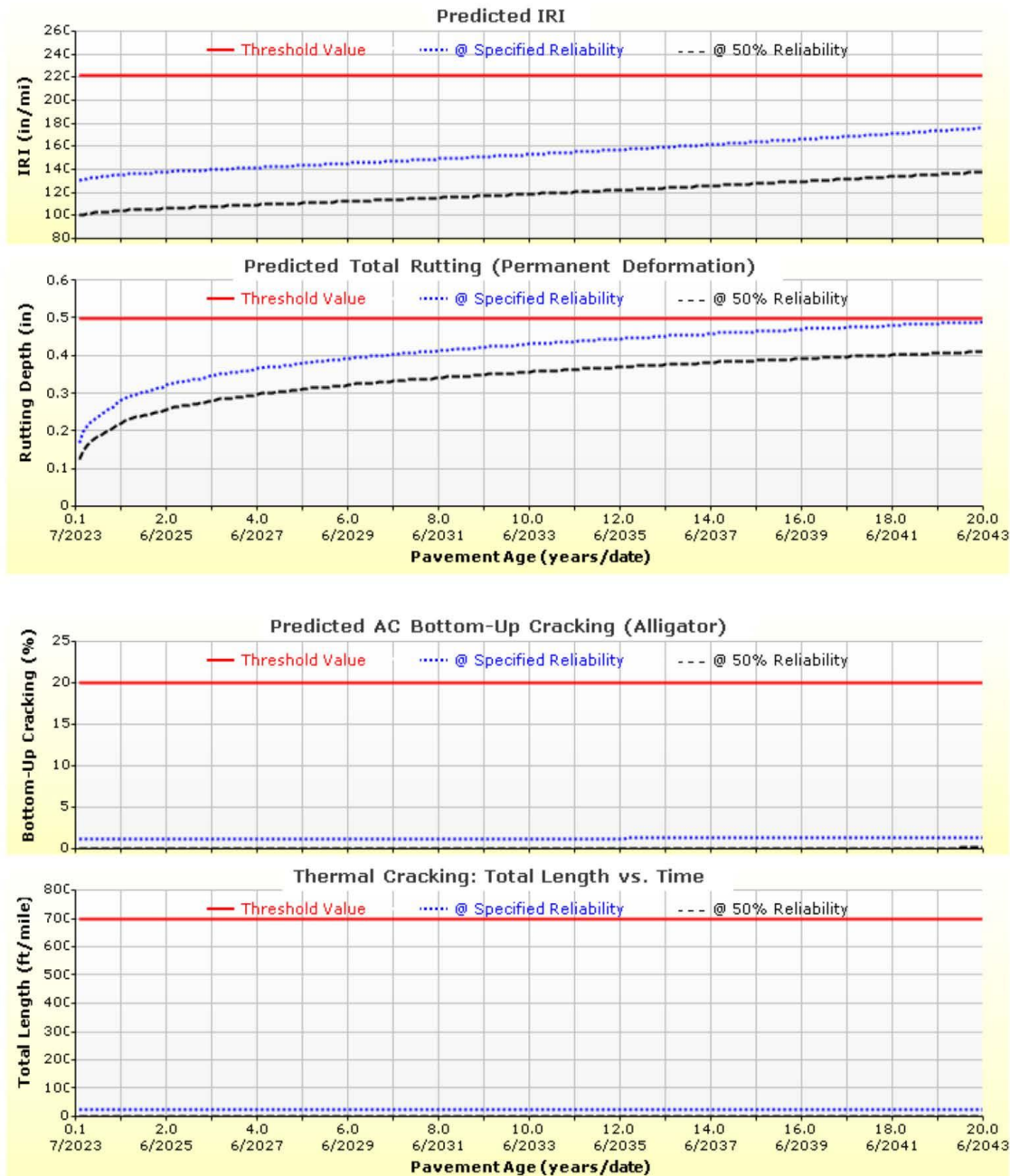


Imagen V.55: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Accha-Pillpinto-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Accha-Pillpinto-Cusco.dgpx

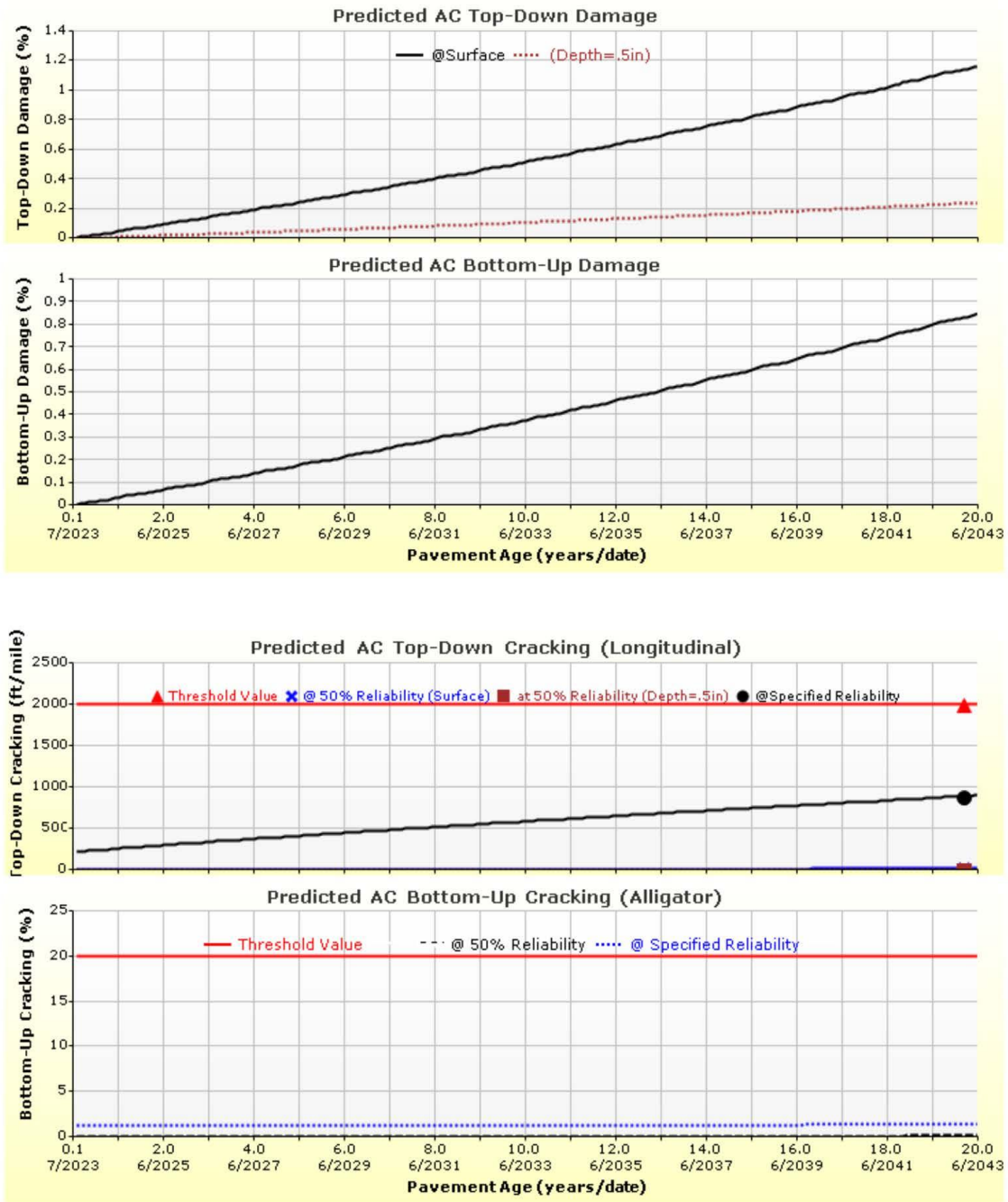


Imagen V.56: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) |
|---------------|--------------------------|-----------------|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0             |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |
| Subgrade      | A-4                      | Semi-infinite   |

Volumetric at Construction:

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| Effective binder content (%) | 6.3 |
| Air voids (%)                | 3.0 |

Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 36                        |
| 2033 (10 years) | 67,830                    |
| 2043 (20 years) | 154,907                   |

Design Outputs

Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 160.42    | 85.00           | 99.77    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.48      | 85.00           | 90.00    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.17      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 239.43    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.04      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

Distress Charts

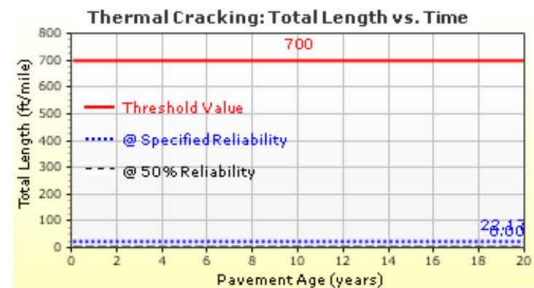
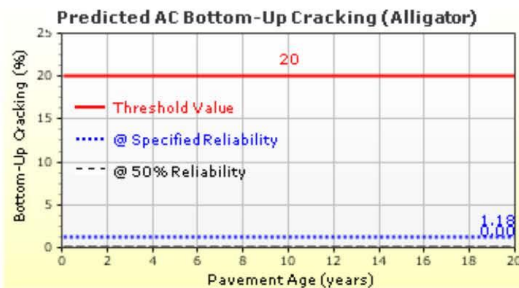
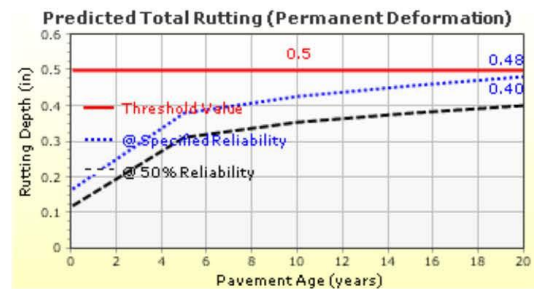
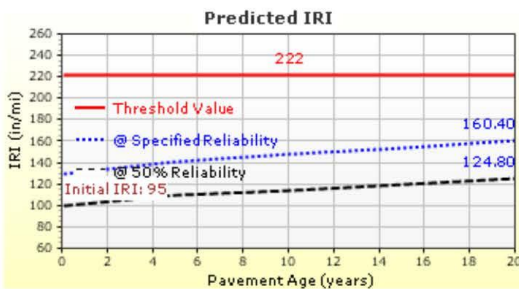


Imagen V.57: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



Analysis Output Charts

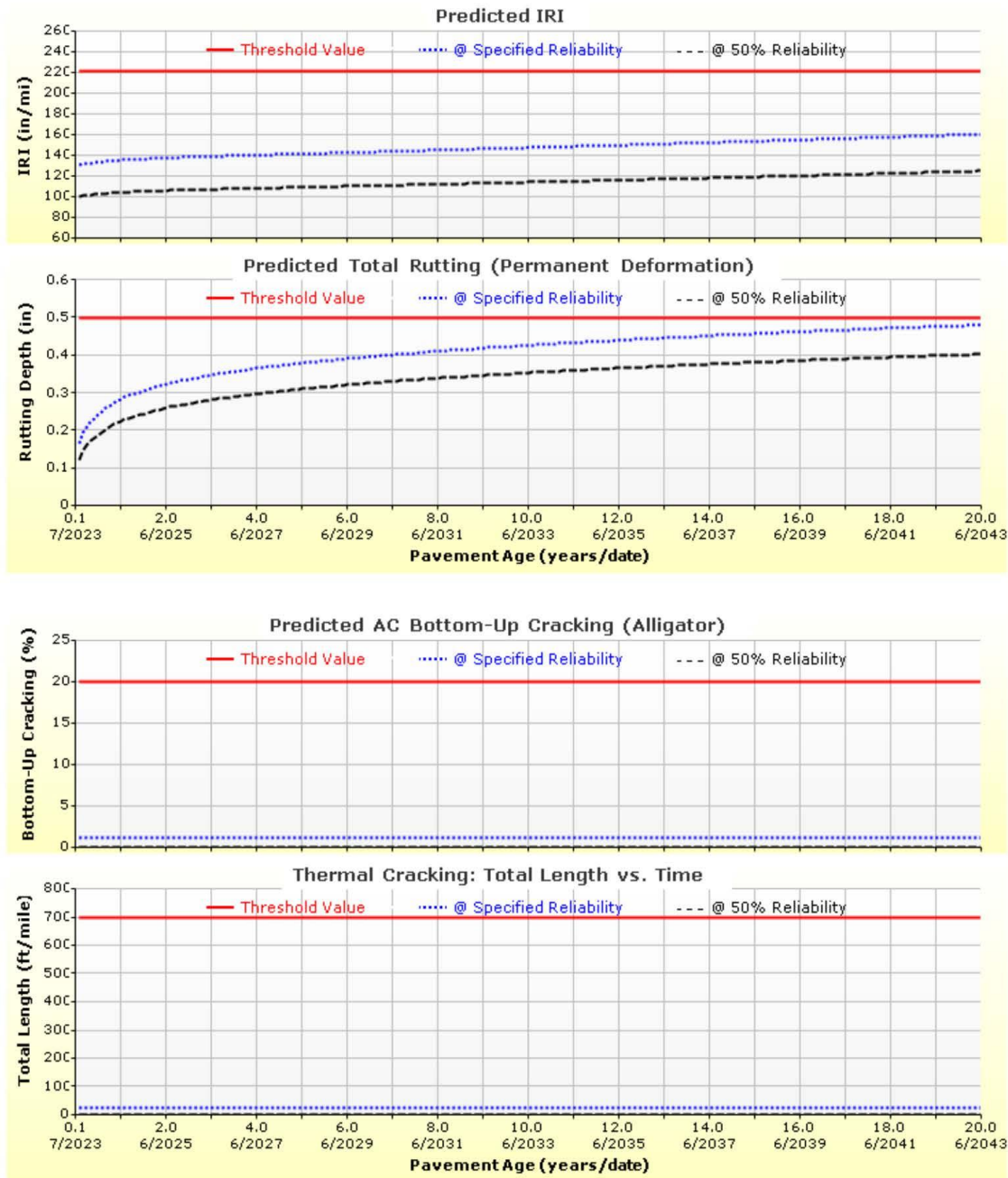


Imagen V.58: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Accha-Pillpinto-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Accha-Pillpinto-Ica.dgpx

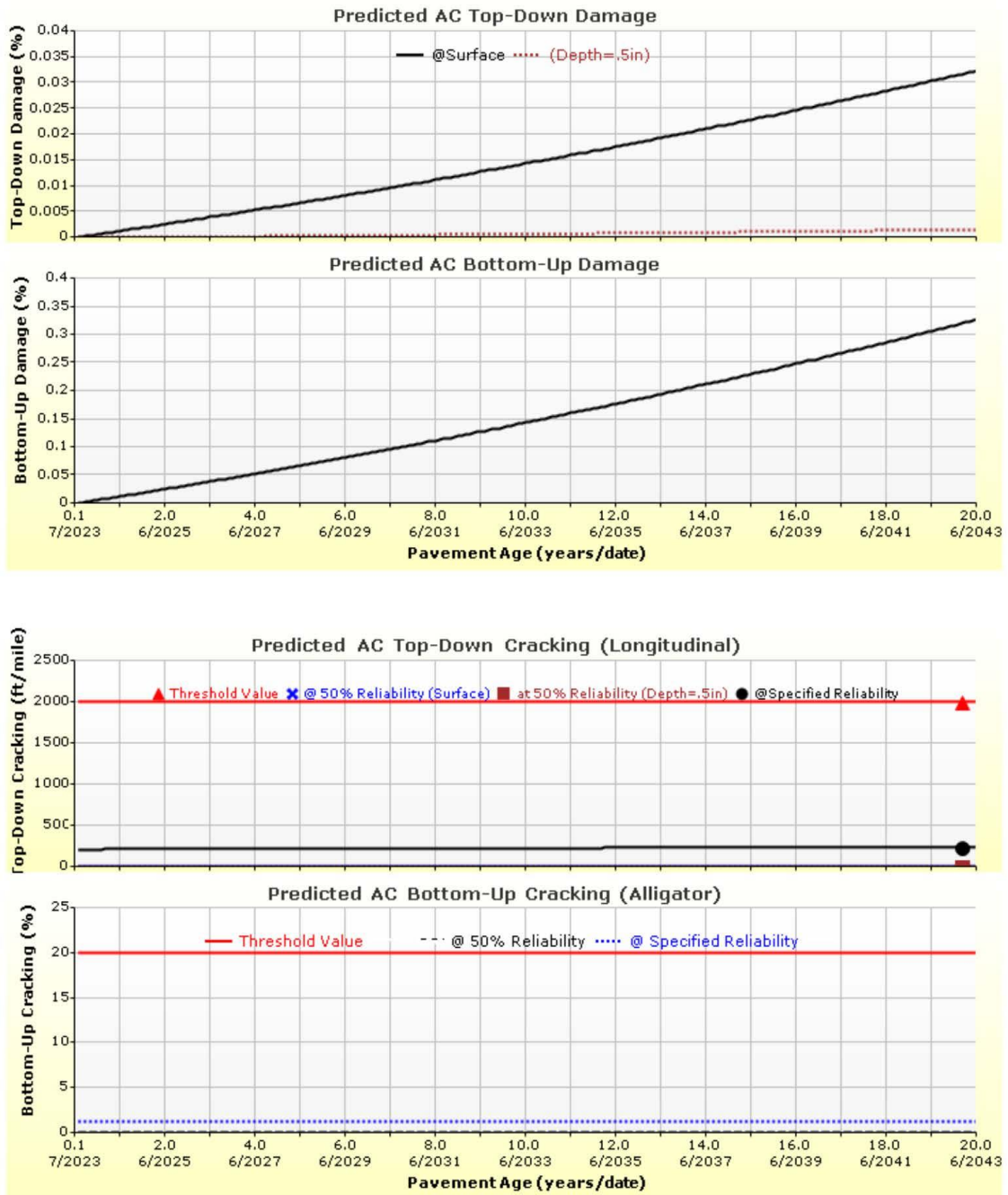


Imagen V.59: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Accha-Pillpinto-Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Accha-Pillpinto-Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-4                      | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 36                        |
| 2033 (10 years) | 67,830                    |
| 2043 (20 years) | 154,907                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 174.10    | 85.00           | 99.06    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 86.49    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.35      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 570.97    | 85.00           | 99.99    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.10      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

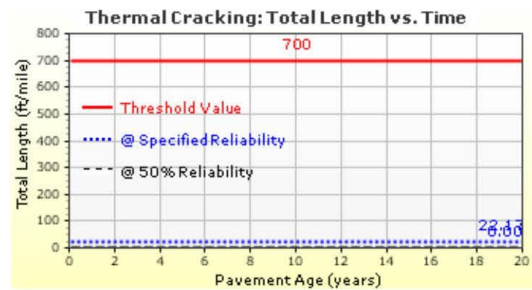
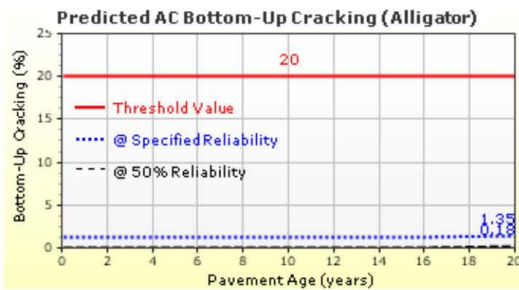
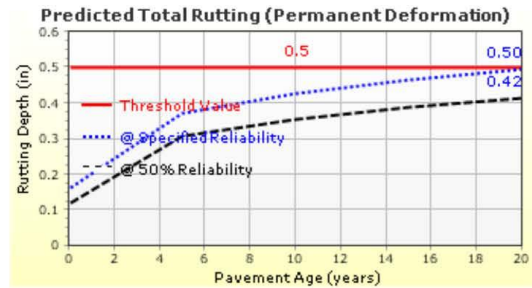
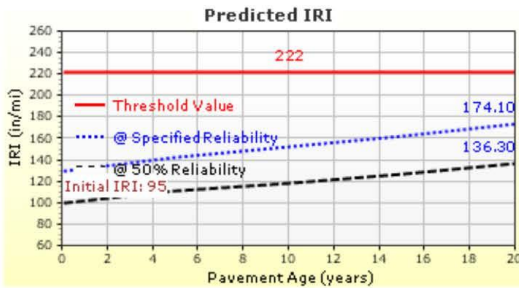


Imagen V.60: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



Analysis Output Charts

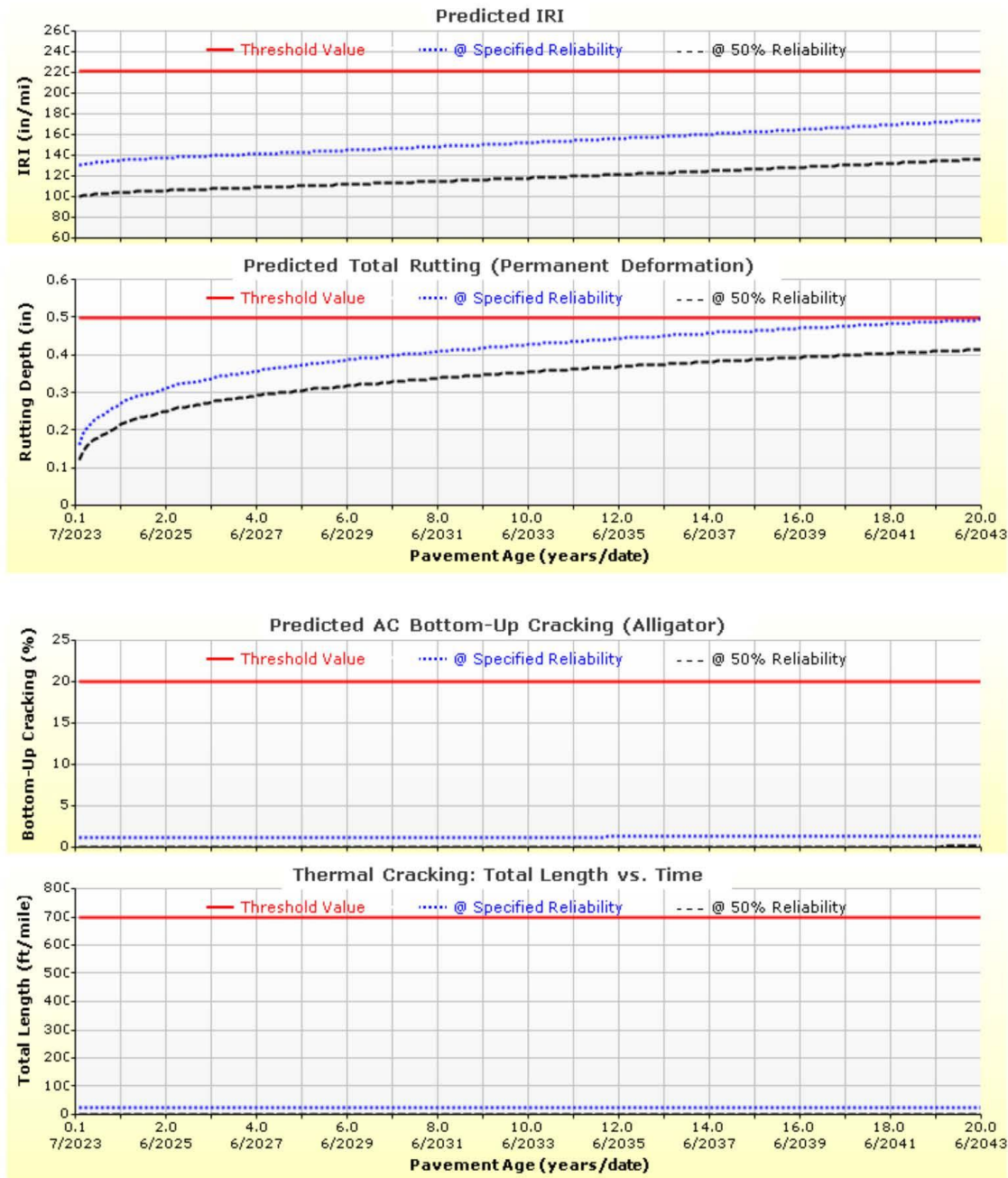


Imagen V.61: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Accha-Pillpinto-Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Accha-Pillpinto-Pucallpa.dgpx

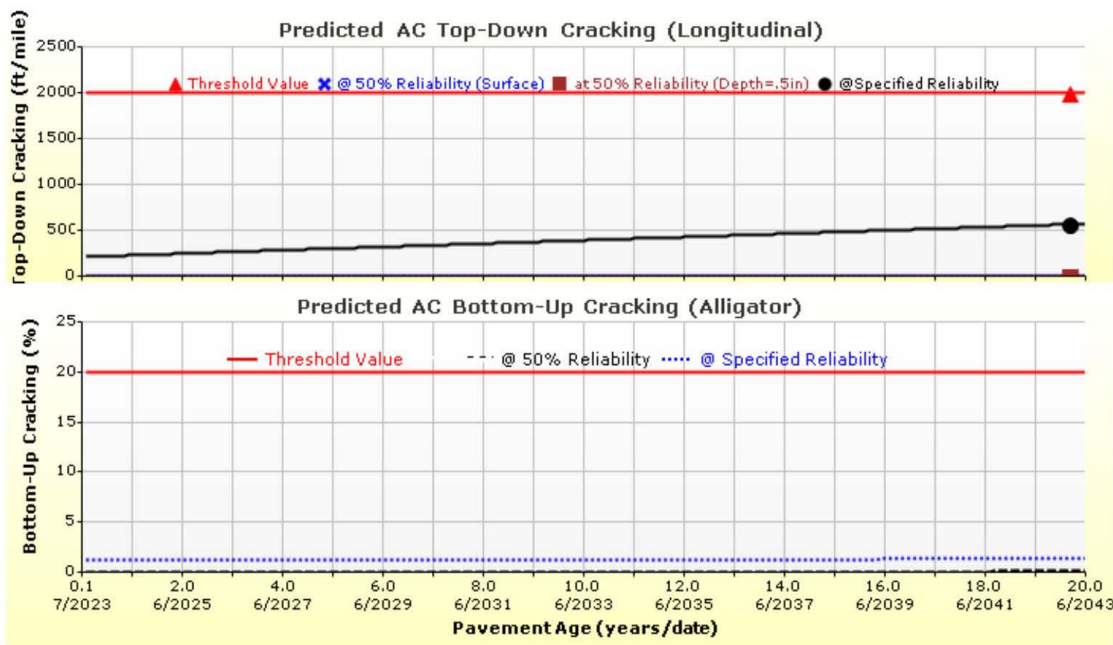
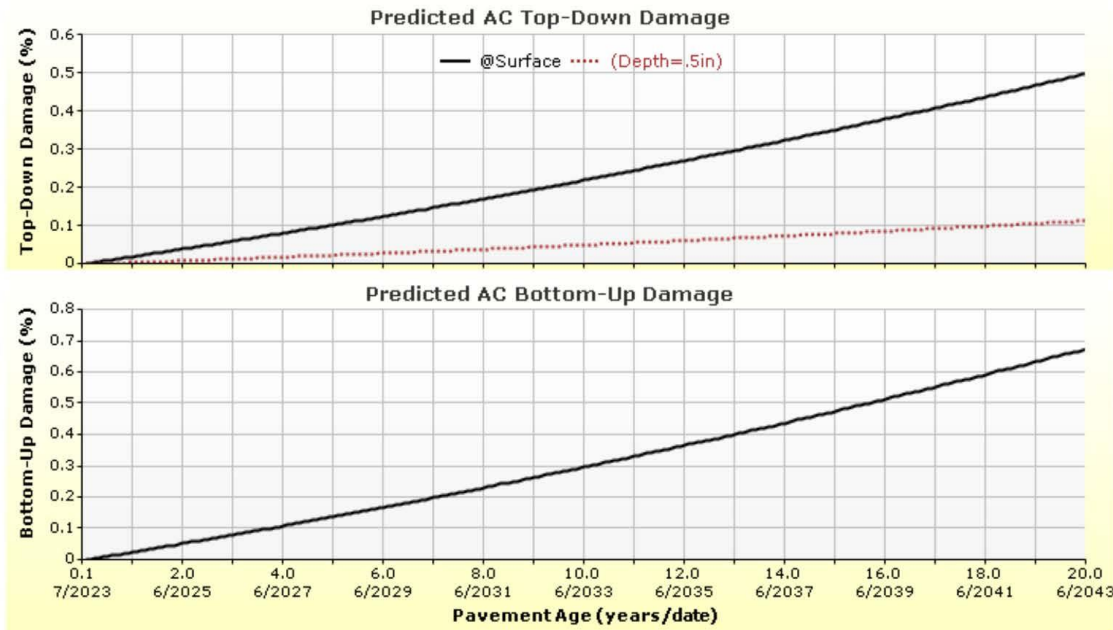


Imagen V.62: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





## Acos-Acomayo-Cusco

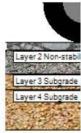
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Cusco.dgpx



### Design Inputs

|                                |                                   |                                |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| Design Life: 20 years          | Base construction: May, 2018      | Climate Data Sources (Lat/Lon) |
| Design Type: Flexible Pavement | Pavement construction: June, 2021 |                                |
|                                | Traffic opening: July, 2023       |                                |

### Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

### Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 53                        |
| 2033 (10 years) | 100,479                   |
| 2043 (20 years) | 230,664                   |

### Design Outputs

#### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 175.18    | 85.00           | 98.97    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.47      | 85.00           | 92.06    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.19      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 310.70    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.05      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

#### Distress Charts

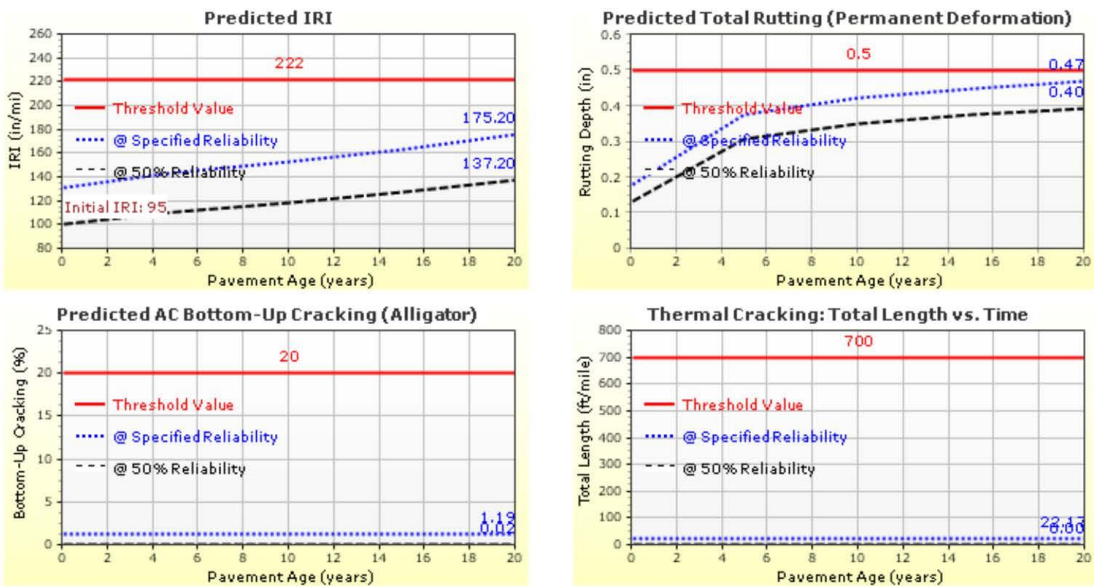


Imagen V.63: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acos-Acomayo-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Cusco.dgpx



## Analysis Output Charts

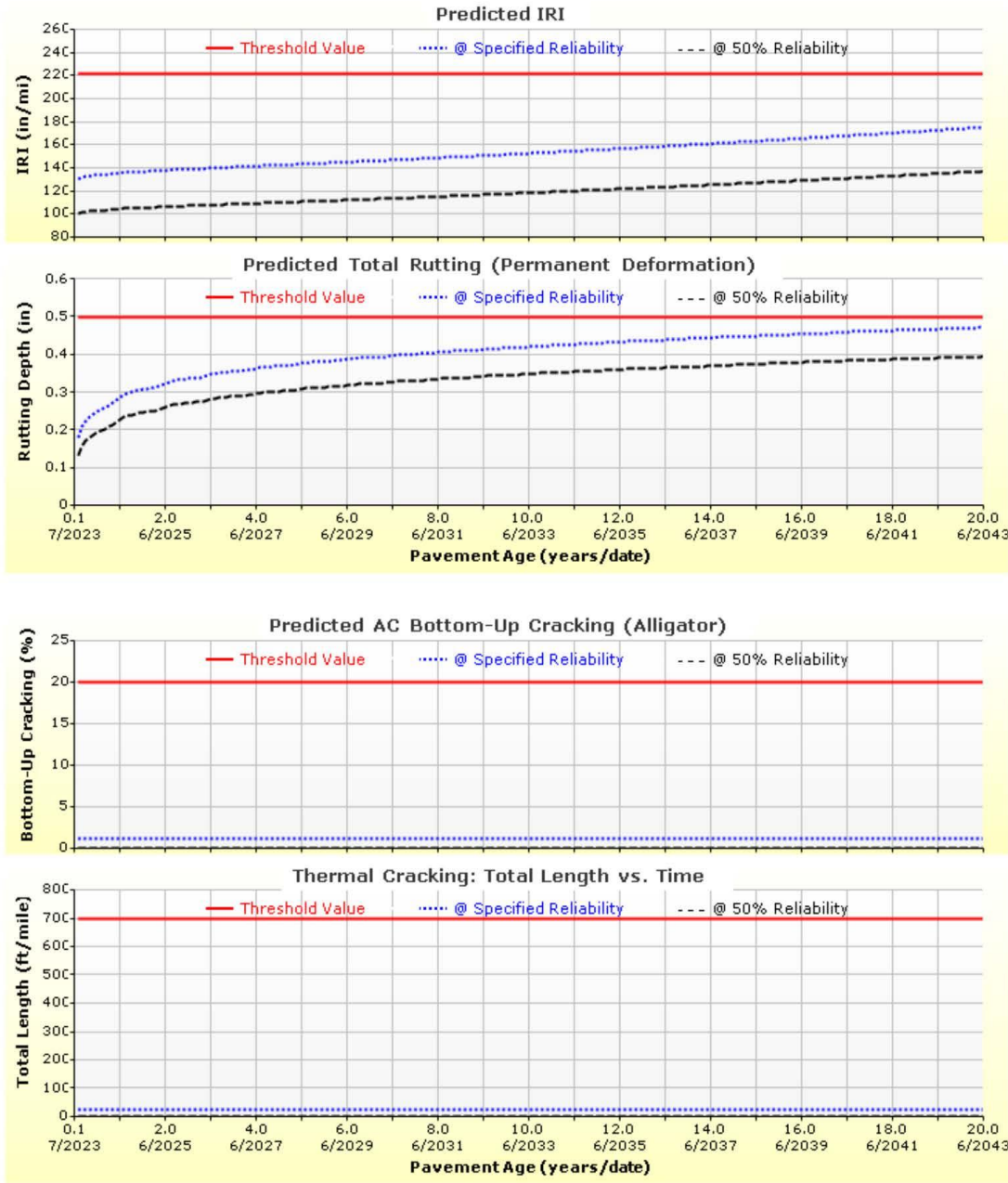


Imagen V.64: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acos-Acomayo-Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Cusco.dgpx

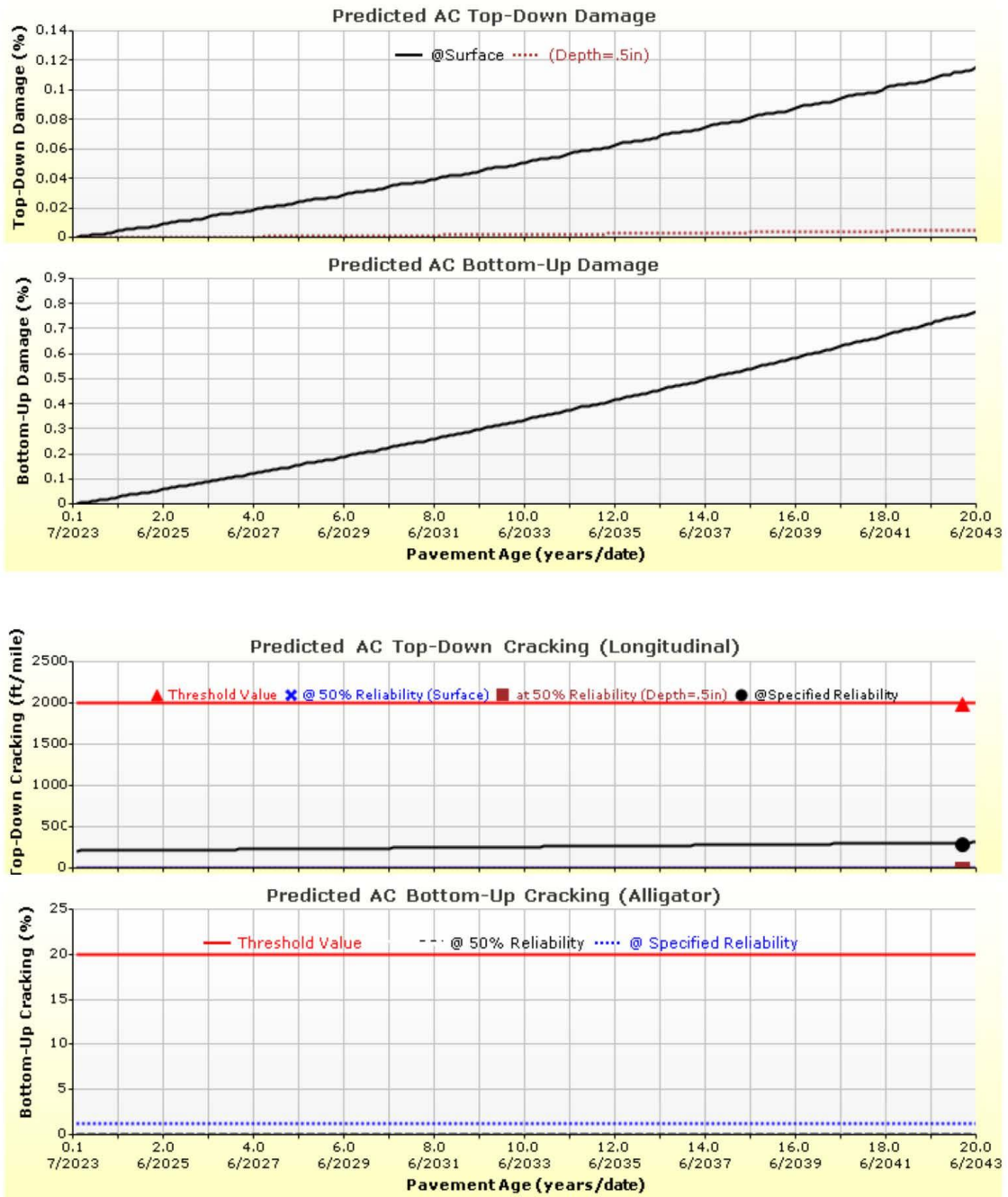


Imagen V.65: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acos-Acomayo-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 1.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 53                        |
| 2033 (10 years) | 100,479                   |
| 2043 (20 years) | 230,664                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 159.86    | 85.00           | 99.78    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.47      | 85.00           | 92.83    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.17      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 311.50    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.03      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

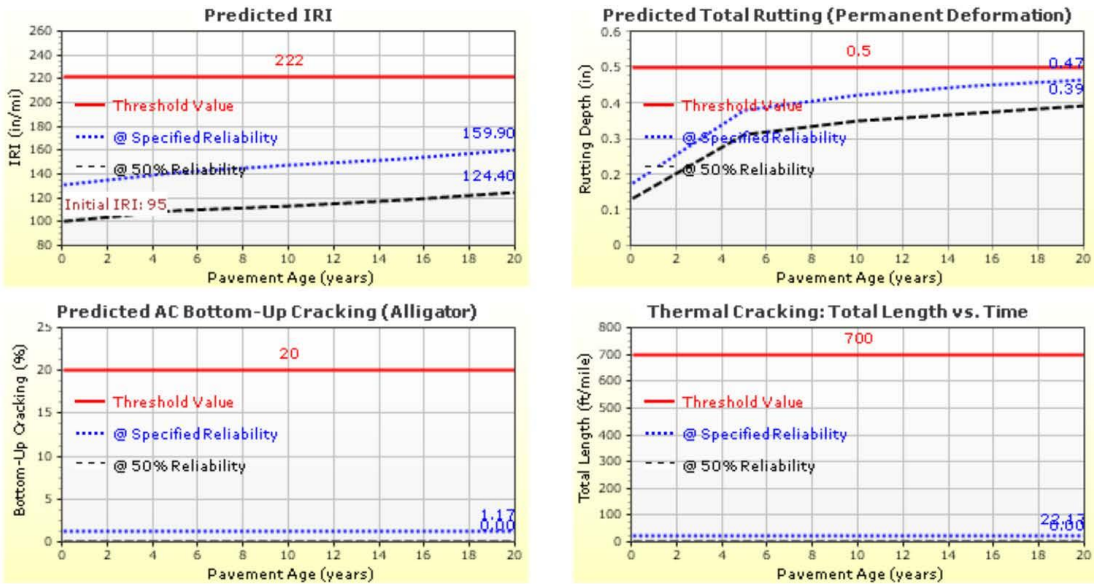


Imagen V.66: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





Analysis Output Charts

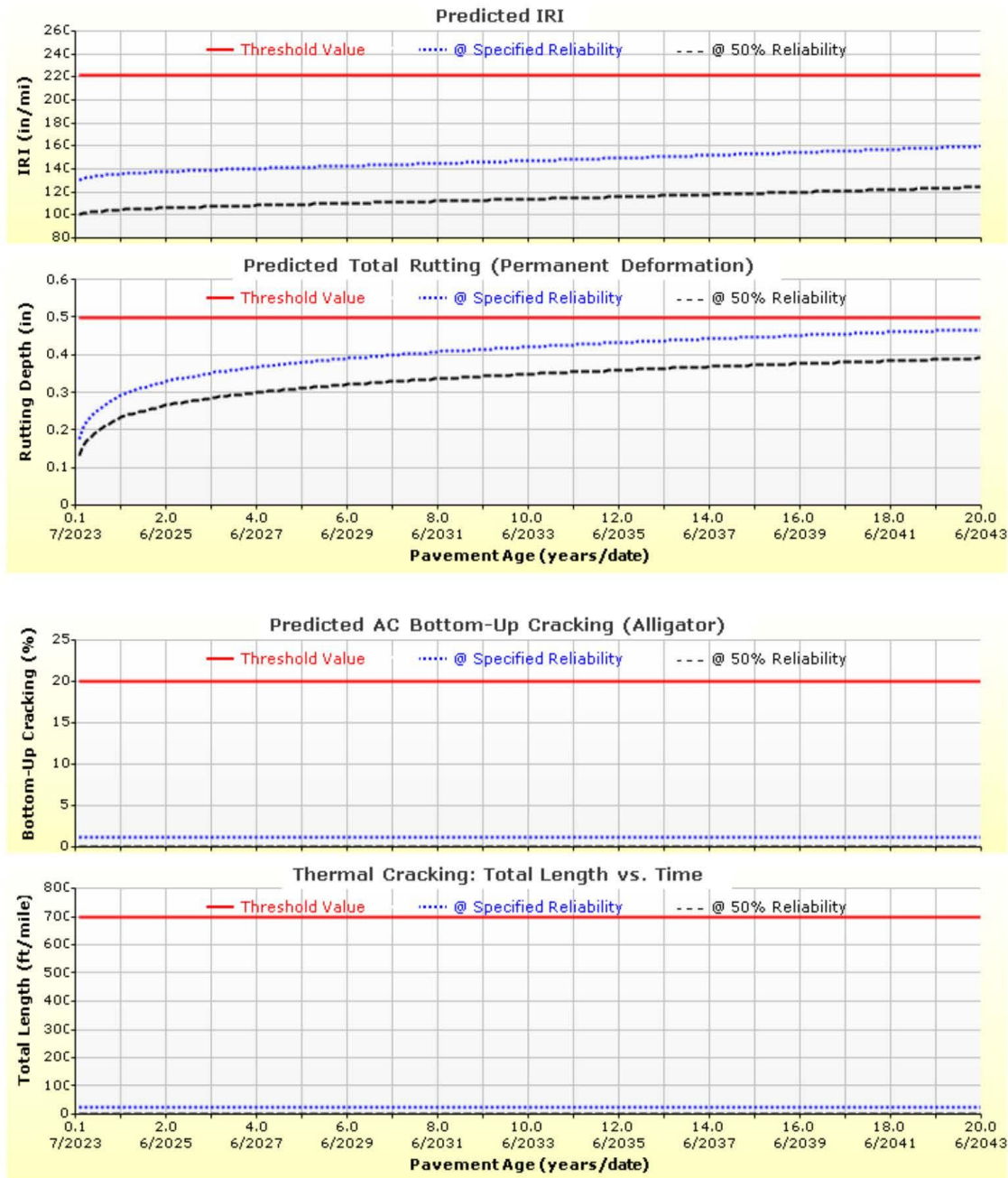


Imagen V.67: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acos-Acomayo-Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Ica.dgpx

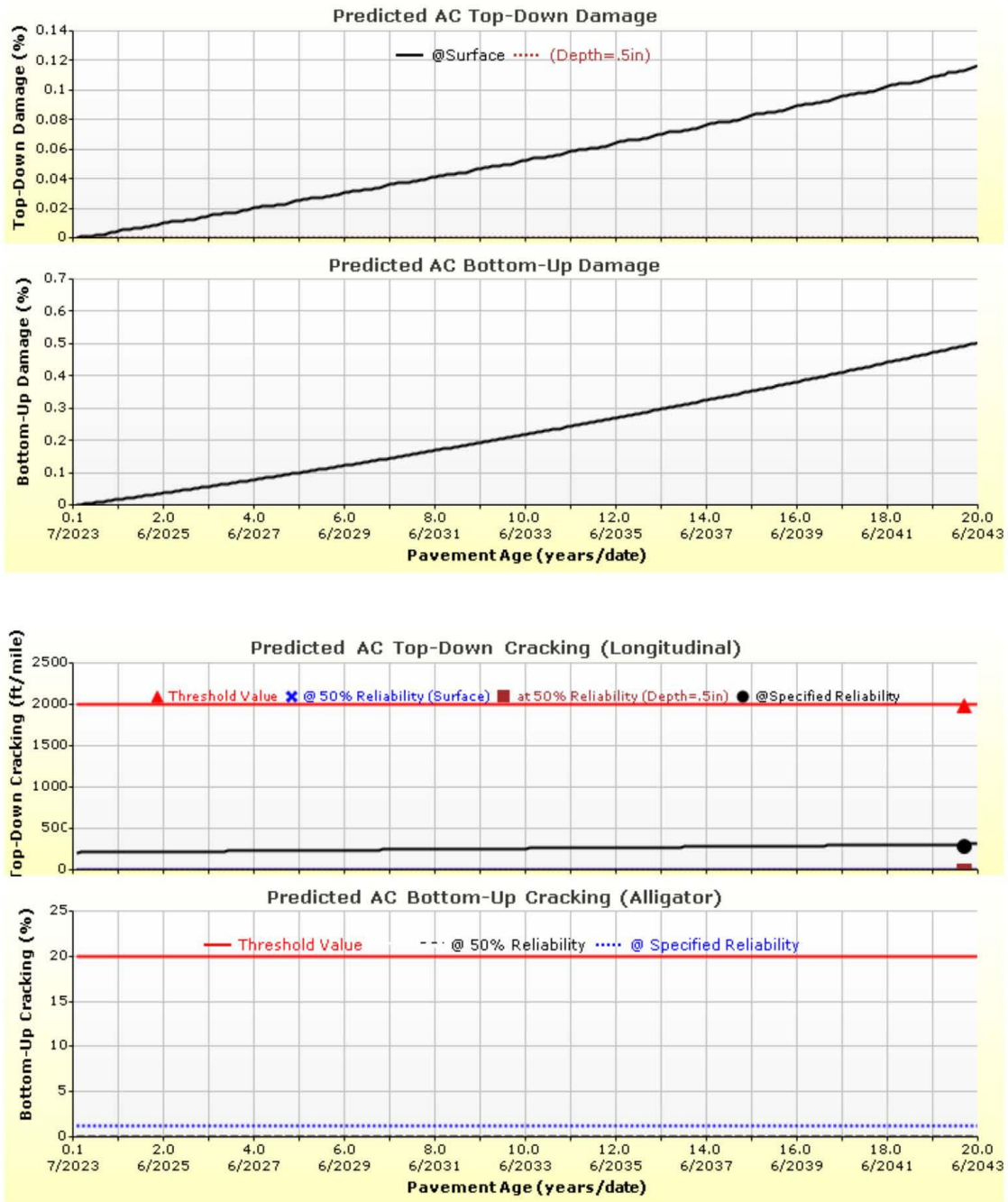


Imagen V.68: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acos-Acomayo-Pucallpa

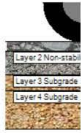
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.4             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-b                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 53                        |
| 2033 (10 years) | 100,479                   |
| 2043 (20 years) | 230,664                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 173.95    | 85.00           | 99.07    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 87.10    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.21      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 295.75    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.10      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

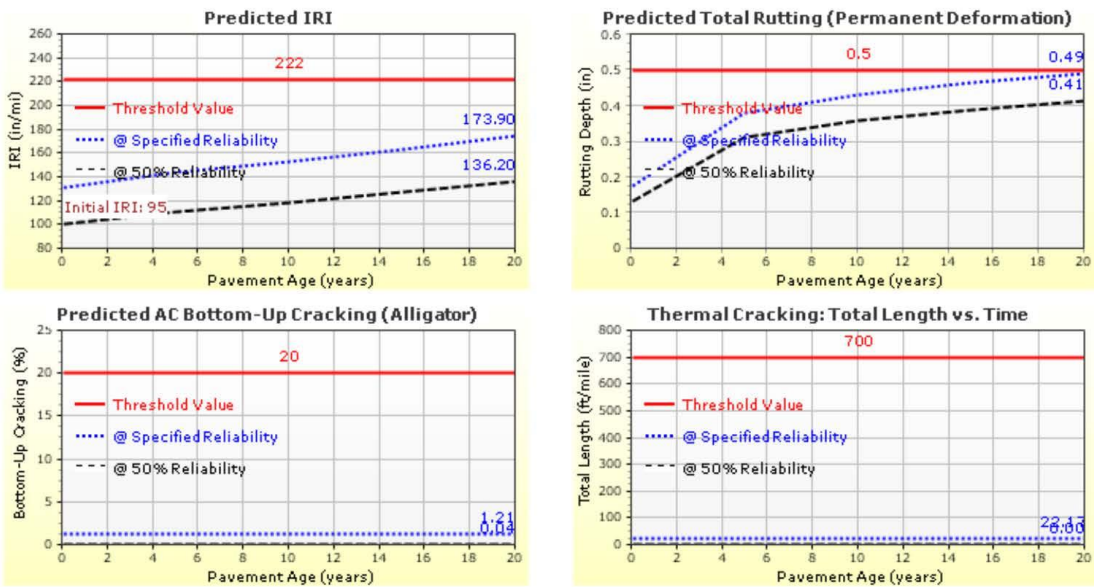


Imagen V.69: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Acos-Acomayo-Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Pucallpa.dgpx



## Analysis Output Charts

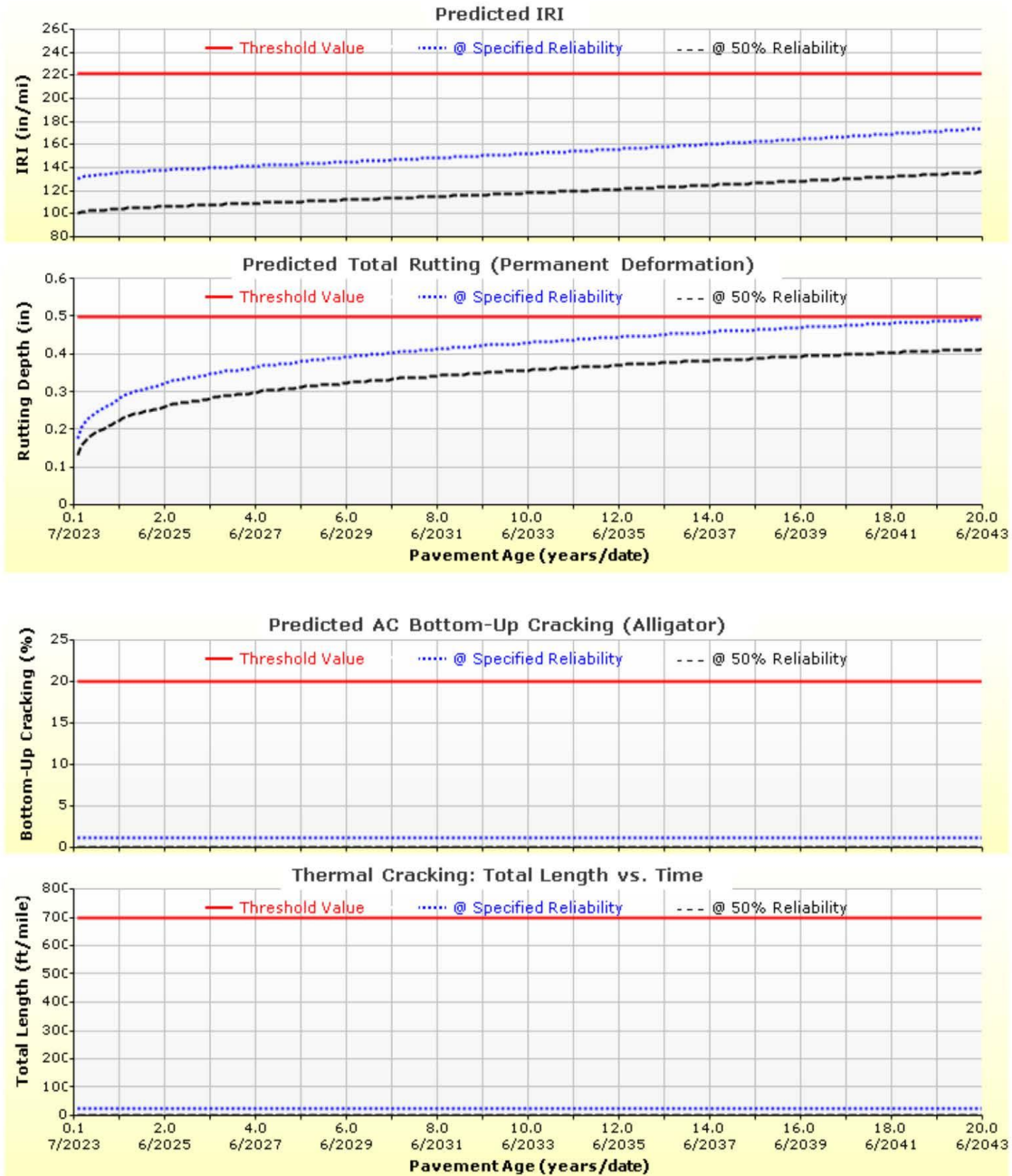


Imagen V.70: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Acos-Acomayo-Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Acos-Acomayo-Pucallpa.dgpx

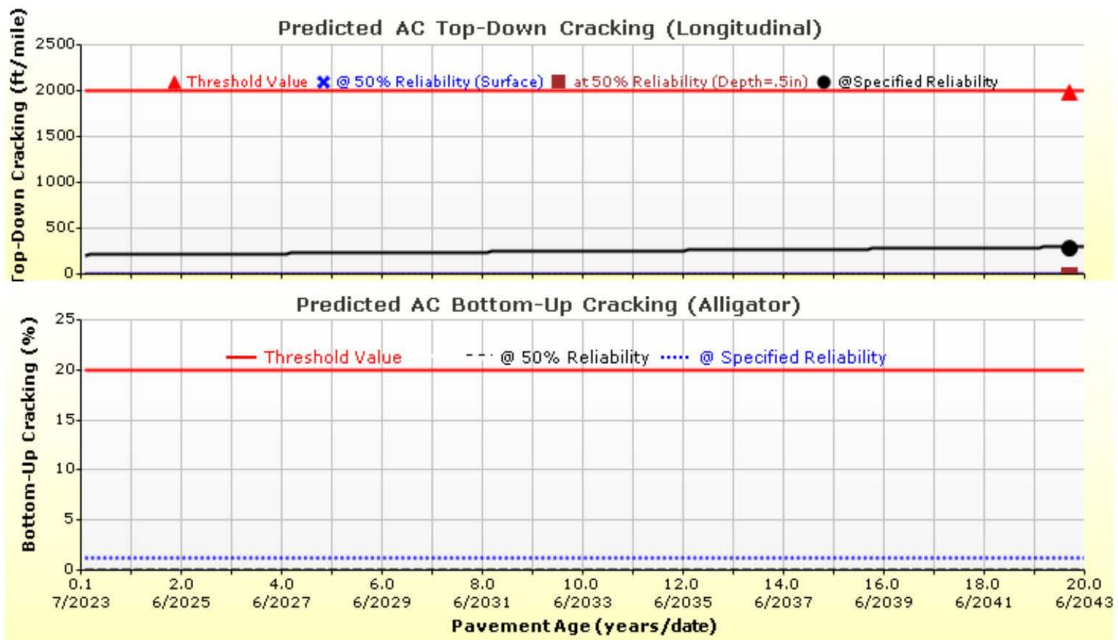
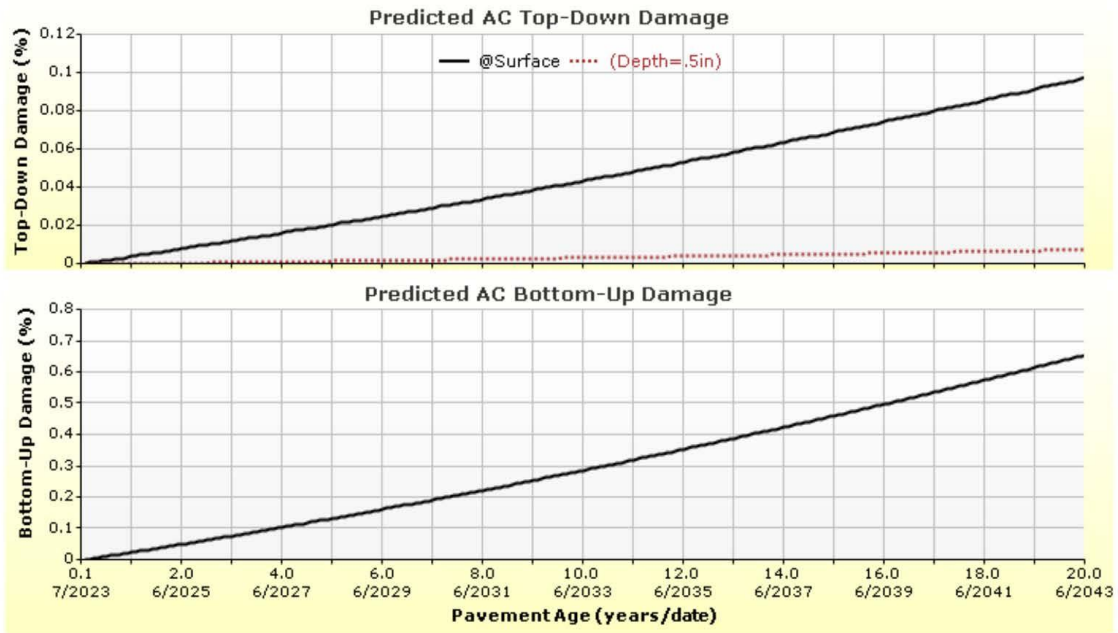


Imagen V.71: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# TRAMO 2- CUSCO

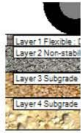
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 8.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 83                        |
| 2033 (10 years) | 156,802                   |
| 2043 (20 years) | 358,896                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.45    | 85.00           | 98.85    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 85.66    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.63      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 912.83    | 85.00           | 98.89    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.07      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

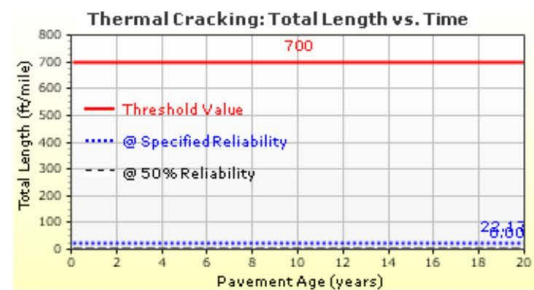
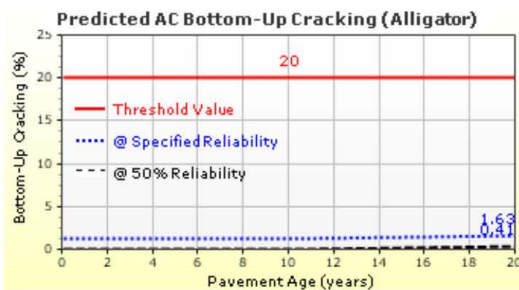
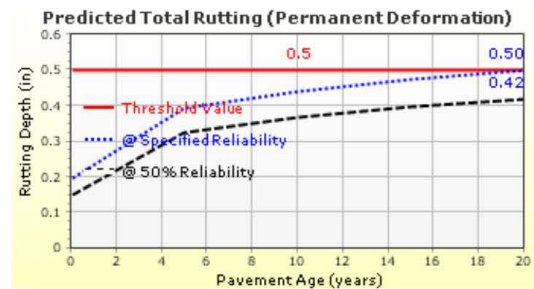
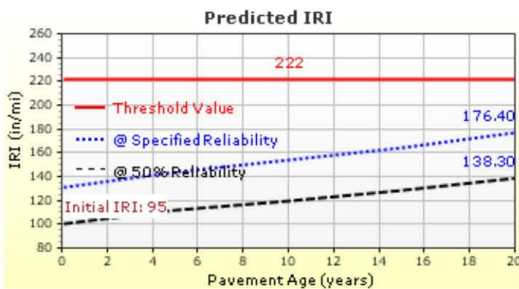


Imagen V.72: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# TRAMO 2- CUSCO

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO.dgpx



## Analysis Output Charts

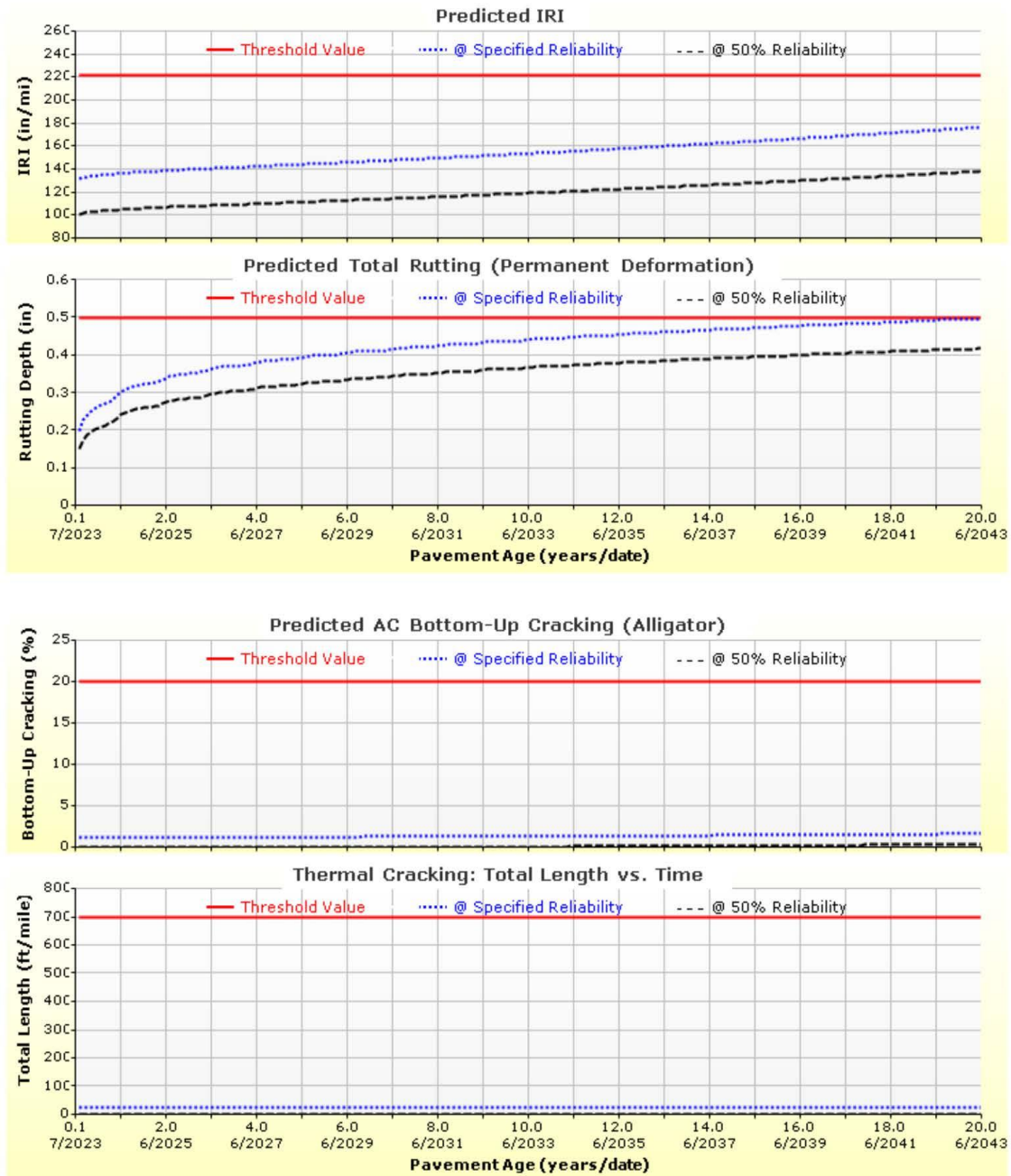


Imagen V.73: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# TRAMO 2- CUSCO

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO.dgpx

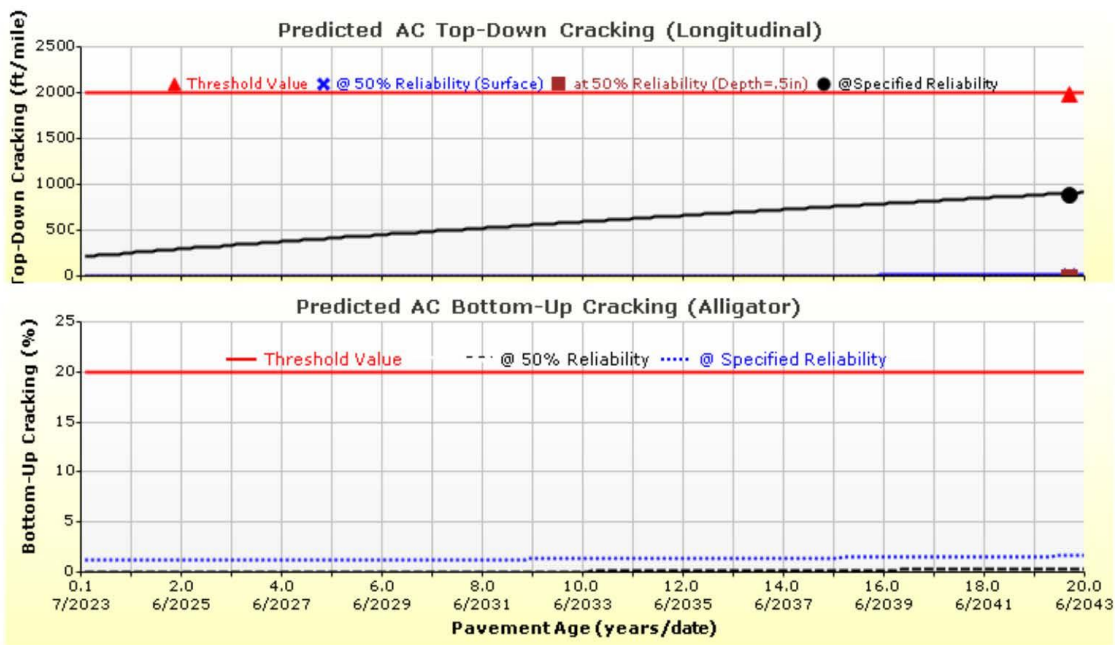
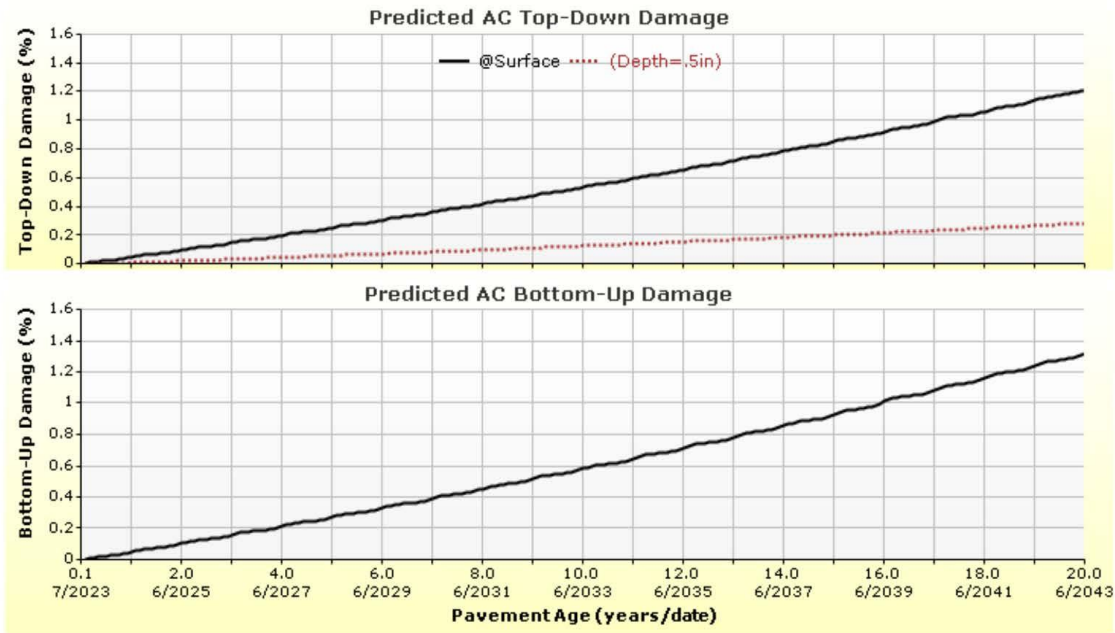


Imagen V.74: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# TRAMO 2- CUSCO-Clima Ica

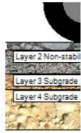
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO-Clima Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 2.0             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 83                        |
| 2033 (10 years) | 156,802                   |
| 2043 (20 years) | 358,896                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 160.31    | 85.00           | 99.77    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.48      | 85.00           | 90.74    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.18      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 309.10    | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.06      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

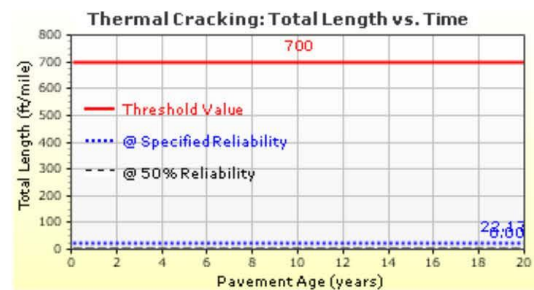
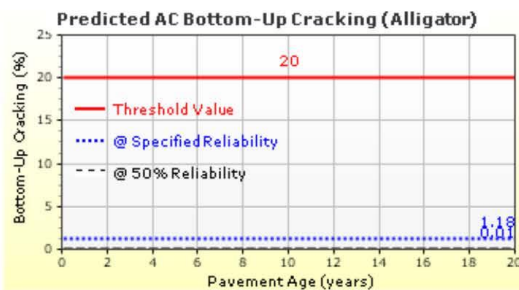
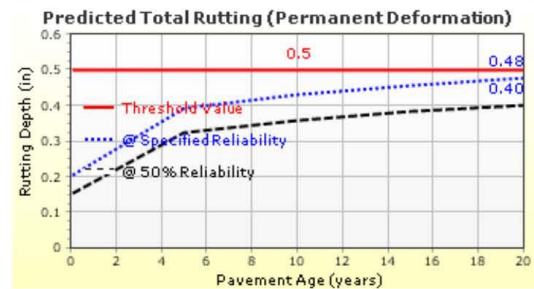
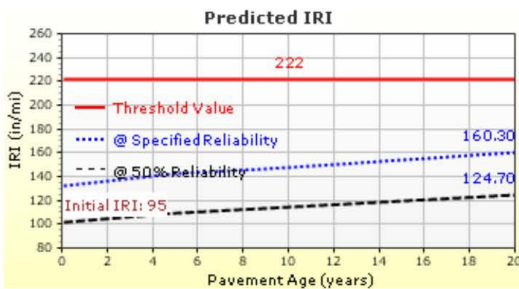


Imagen V.75: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



Analysis Output Charts

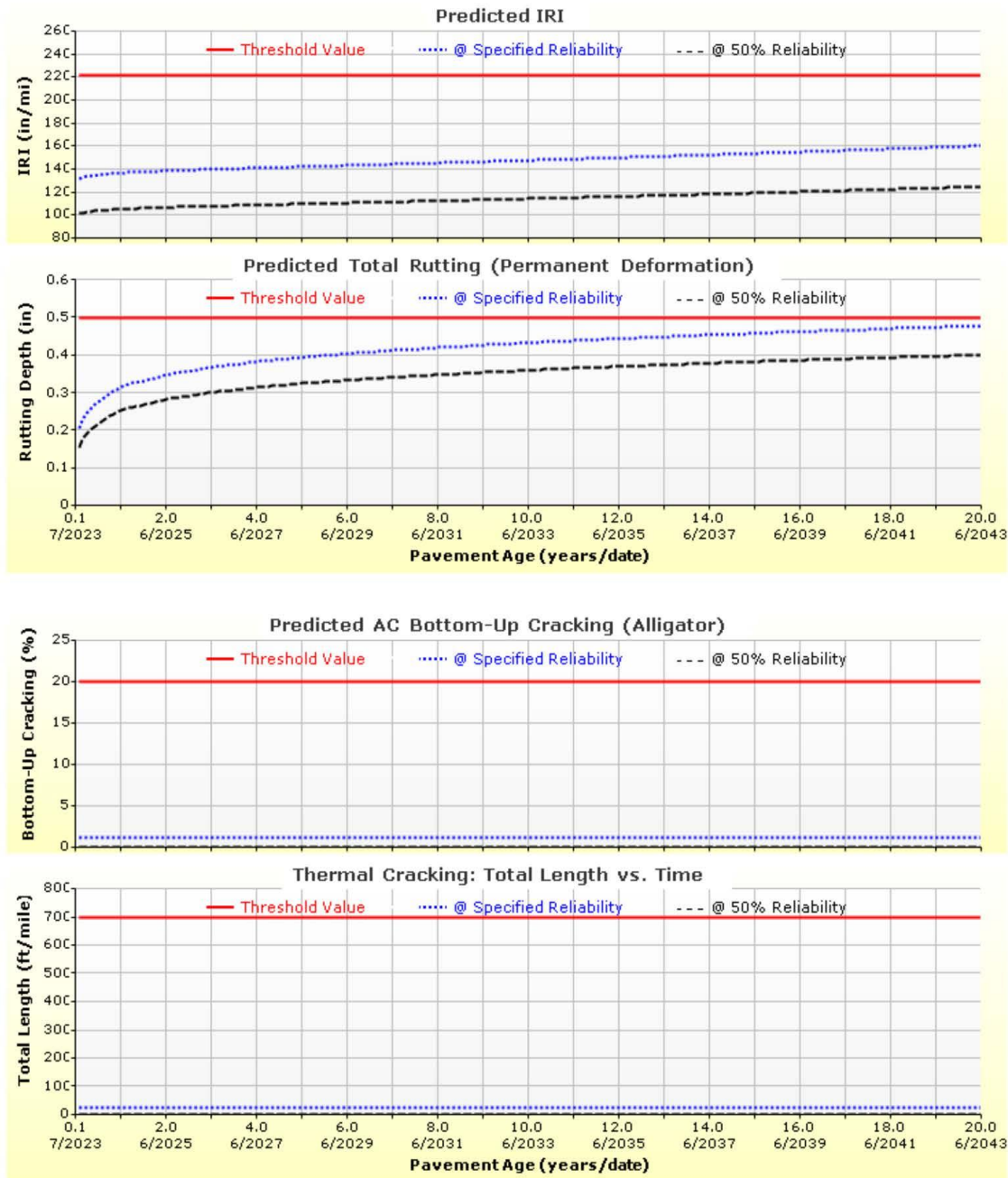


Imagen V.76: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# TRAMO 2- CUSCO-Clima Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO-Clima Ica.dgpx

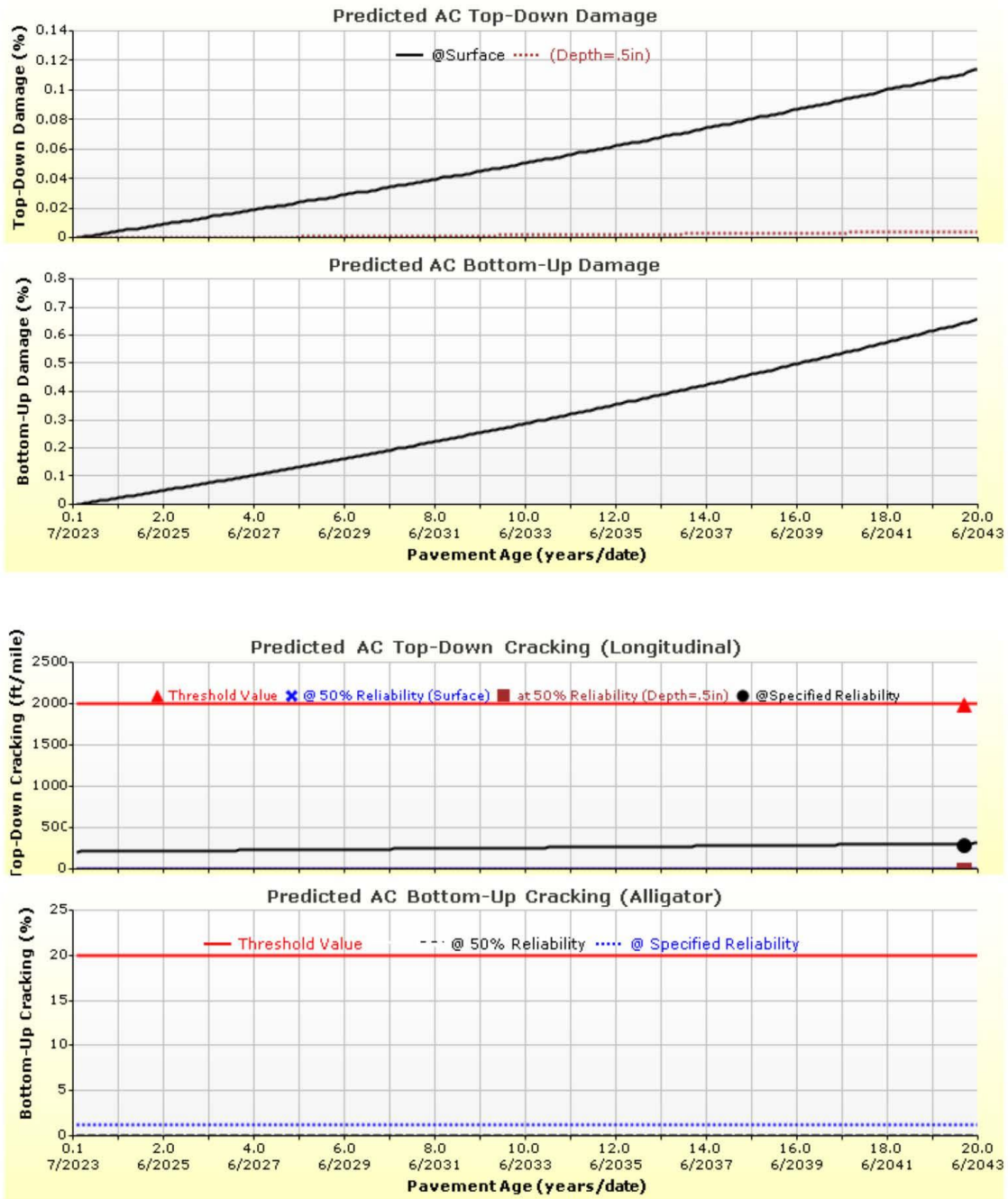


Imagen V.77: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# TRAMO 2- CUSCO - CLIMA PUCALPA

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO - CLIMA PUCALPA.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 4.4             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 8.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-1-a                    | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 83                        |
| 2033 (10 years) | 156,802                   |
| 2043 (20 years) | 358,896                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 174.31    | 85.00           | 99.04    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 85.36    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.57      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 944.08    | 85.00           | 98.66    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.14      | 85.00           | 99.99    | Pass                 |

### Distress Charts

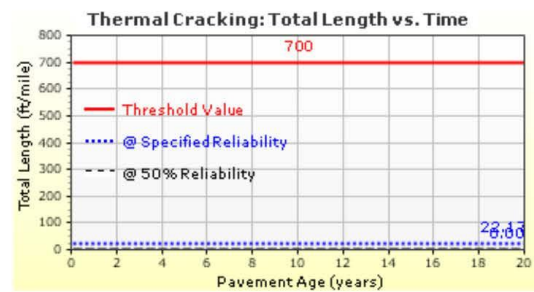
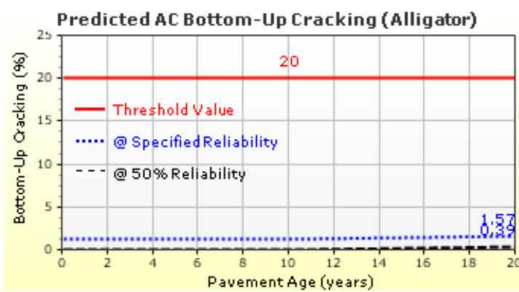
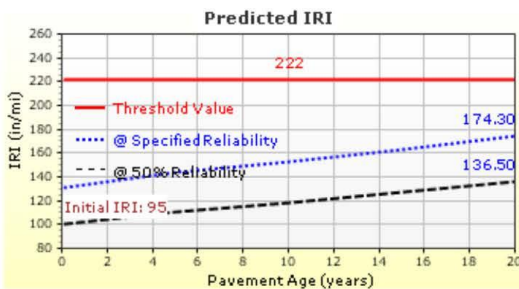


Imagen V.78: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# TRAMO 2- CUSCO - CLIMA PUCALPA

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO - CLIMA PUCALPA.dgpx



## Analysis Output Charts

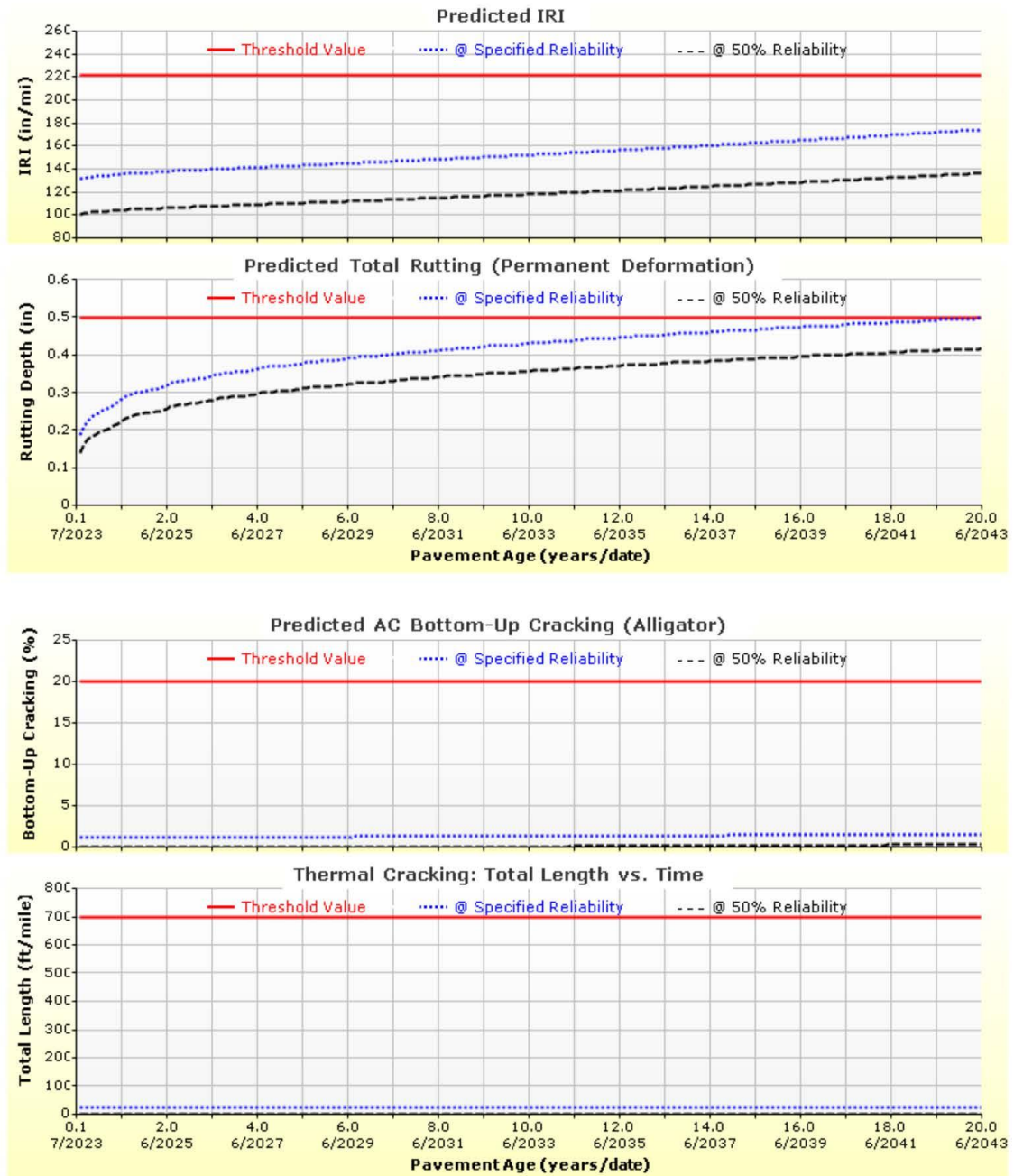


Imagen V.79: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# TRAMO 2- CUSCO - CLIMA PUCALPA

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\TRAMO 2- CUSCO - CLIMA PUCALPA.dgpx

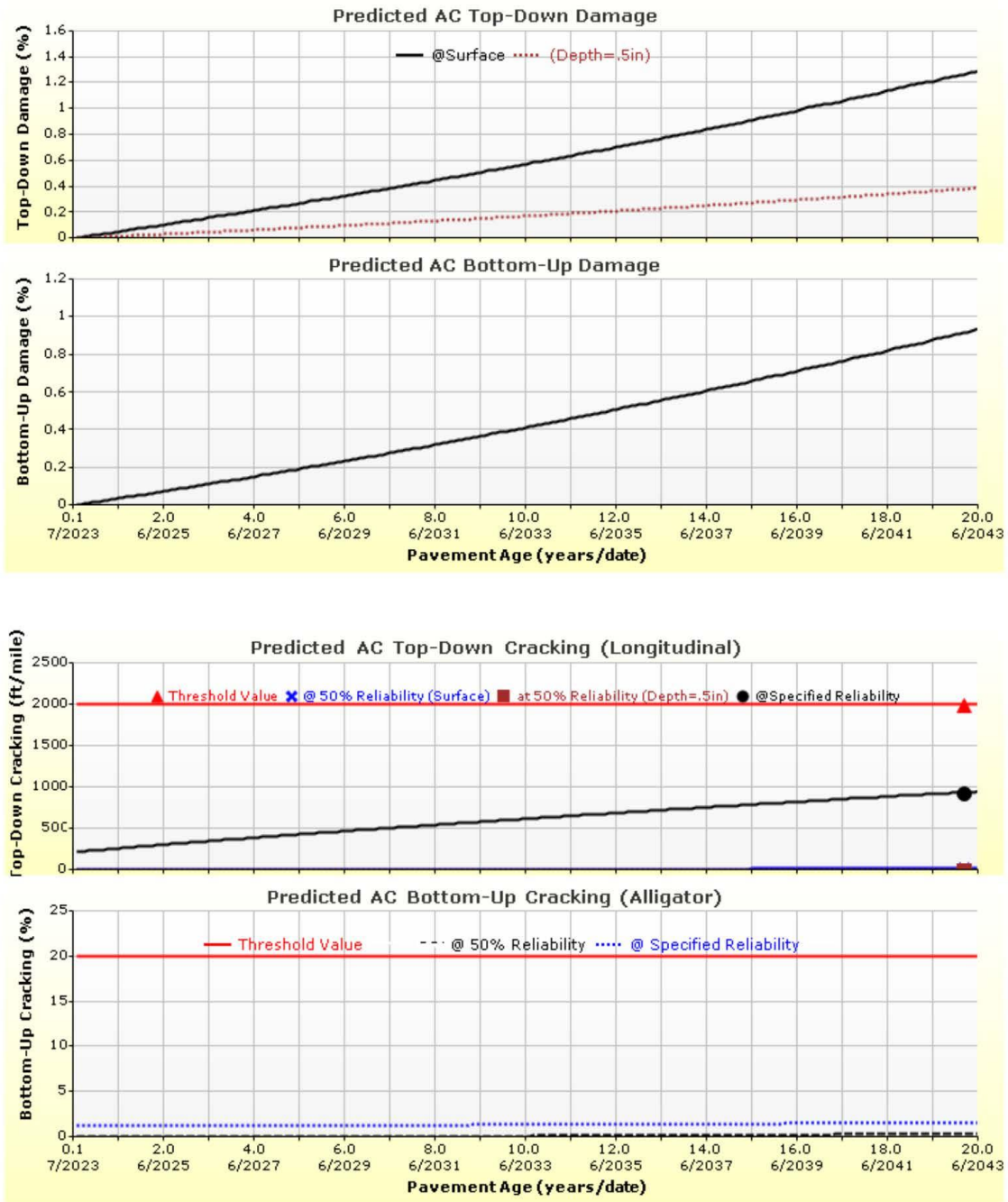


Imagen V.80: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Calzada -Soritor- Cusco

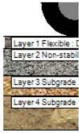
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Cusco.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.6             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 8.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 6.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-4                      | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 119                       |
| 2033 (10 years) | 239,599                   |
| 2043 (20 years) | 576,995                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 176.47    | 85.00           | 98.85    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.49      | 85.00           | 86.73    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 2.97      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1065.28   | 85.00           | 97.52    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.08      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

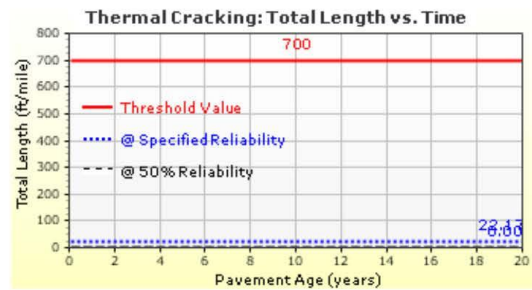
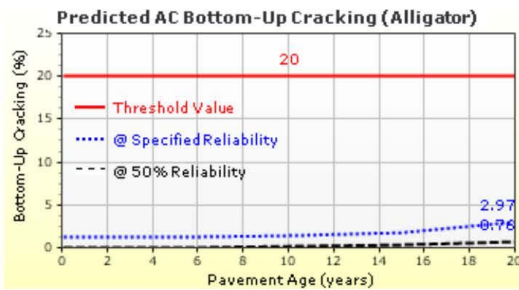
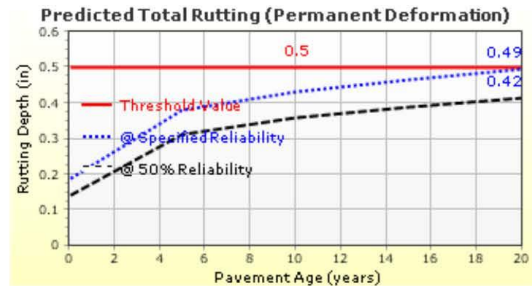
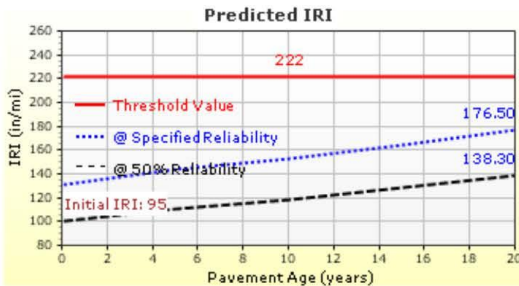


Imagen V.81: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Calzada -Soritor- Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Cusco.dgpx



## Analysis Output Charts

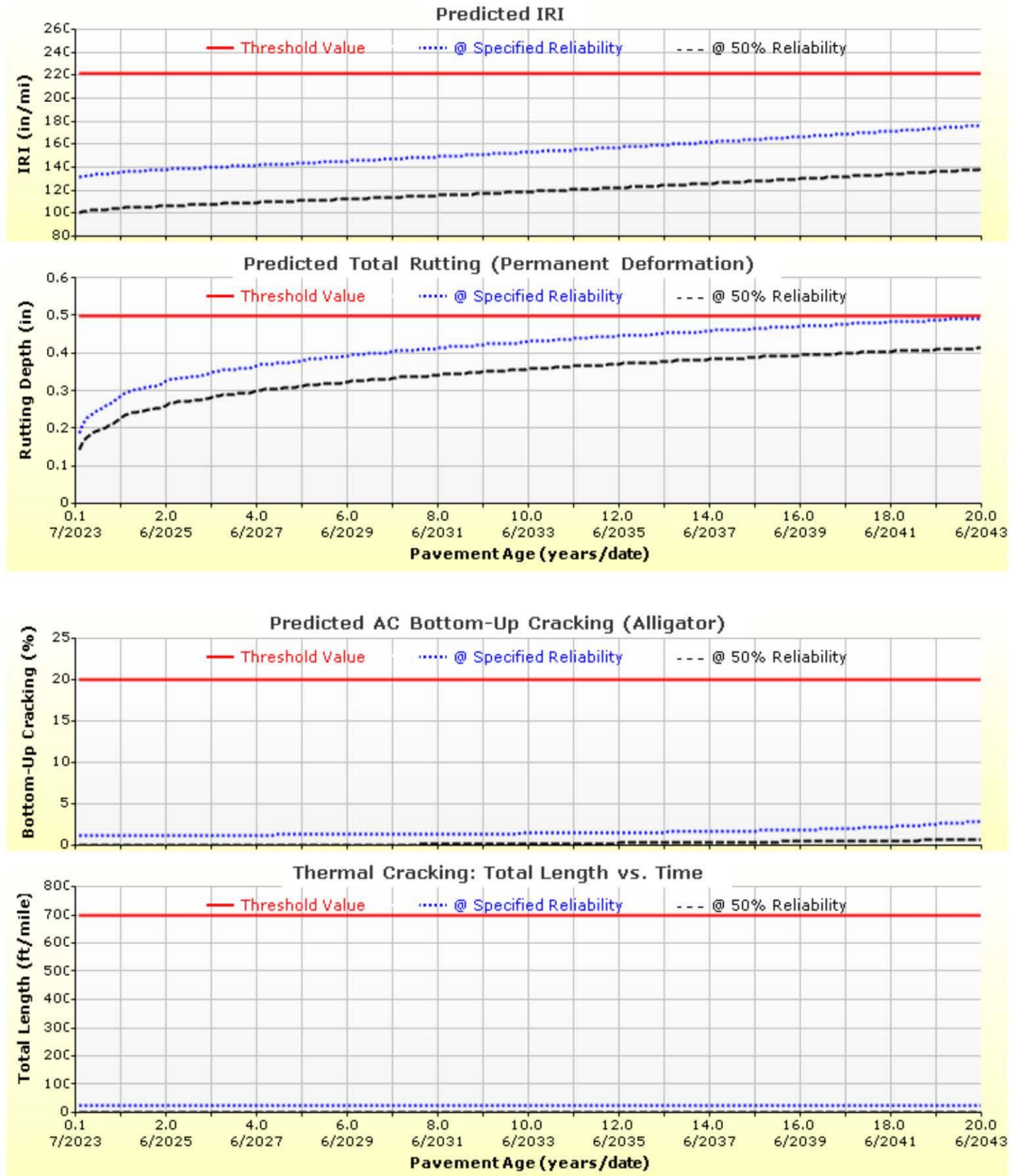


Imagen V.82: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Calzada -Soritor- Cusco

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Cusco.dgpx

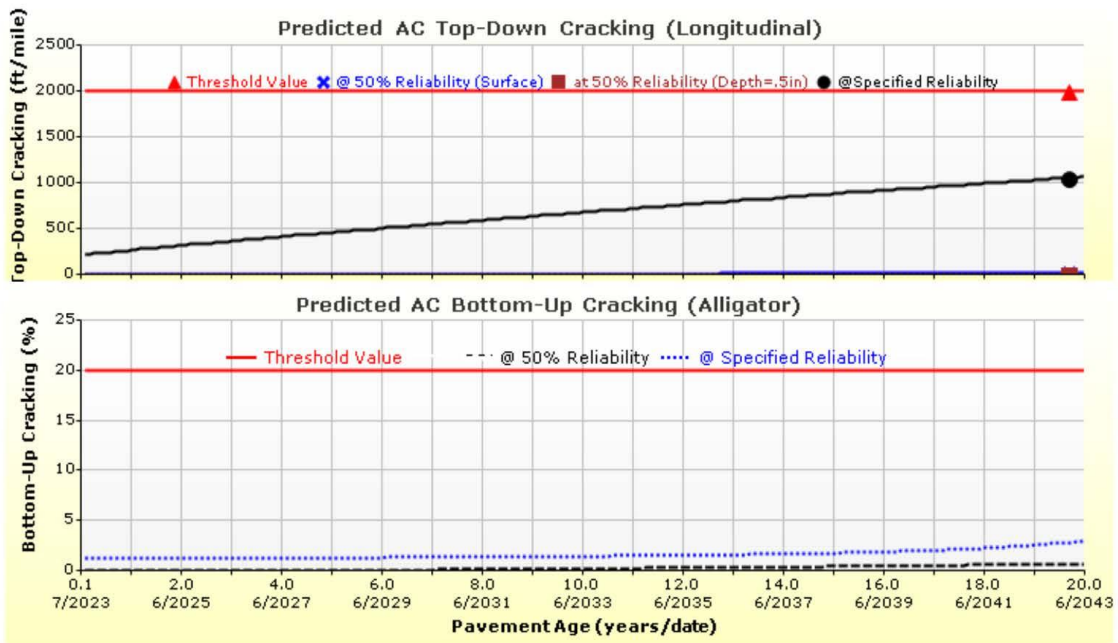
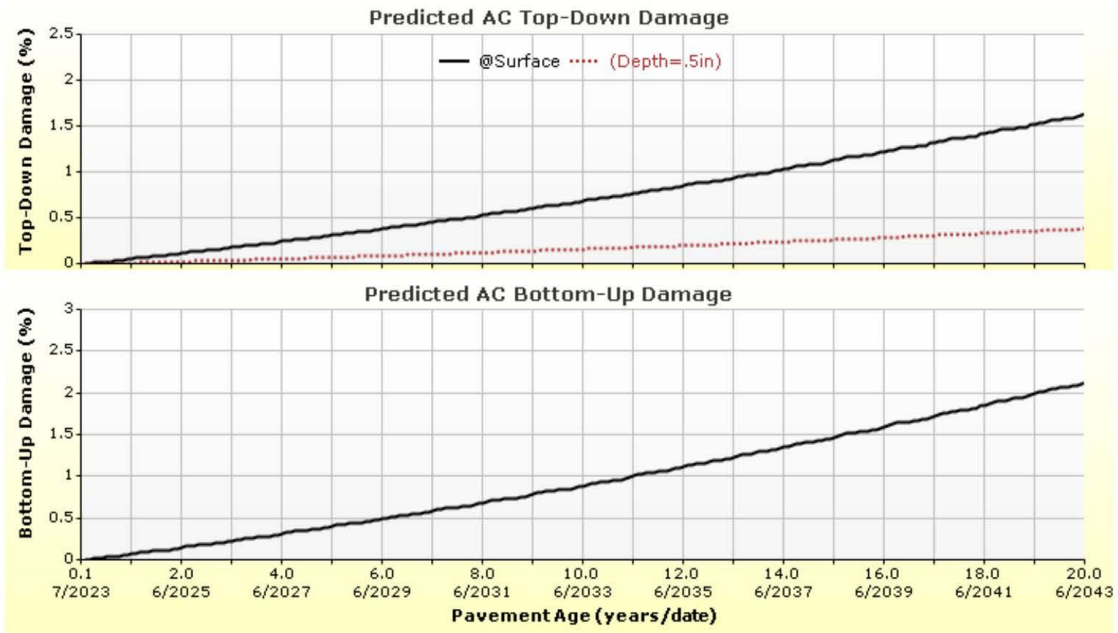


Imagen V.83: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Calzada -Soritor- Ica

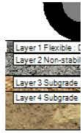
File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Ica.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 3.2             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 6.0             | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 4.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-4                      | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 119                       |
| 2033 (10 years) | 239,599                   |
| 2043 (20 years) | 576,995                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 159.81    | 85.00           | 99.78    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.46      | 85.00           | 94.29    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 2.61      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 1293.14   | 85.00           | 94.73    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.09      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |

### Distress Charts

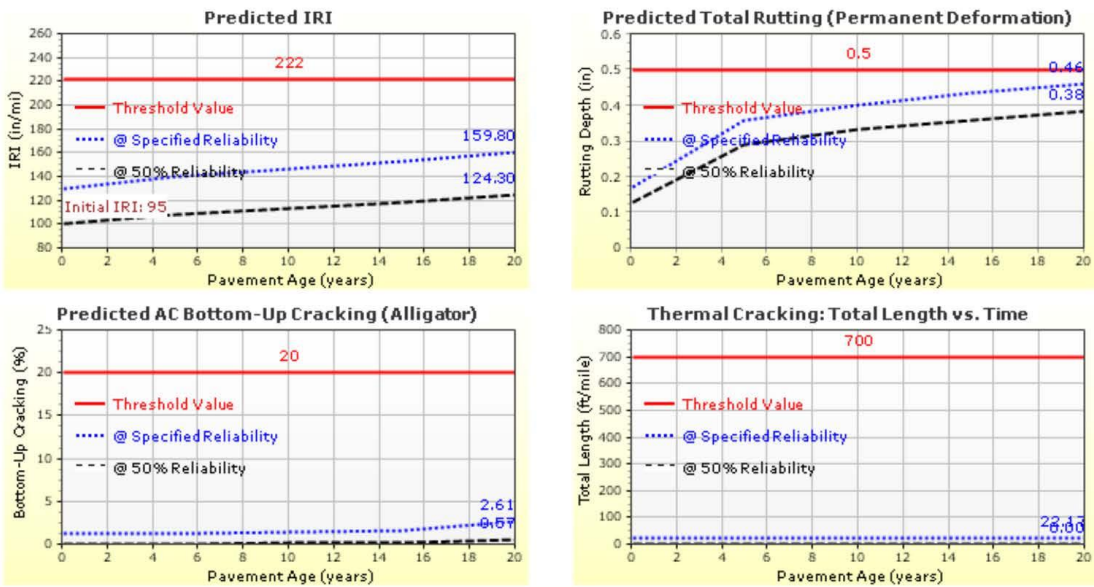


Imagen V.84: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Calzada -Soritor- Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Ica.dgpx



## Analysis Output Charts

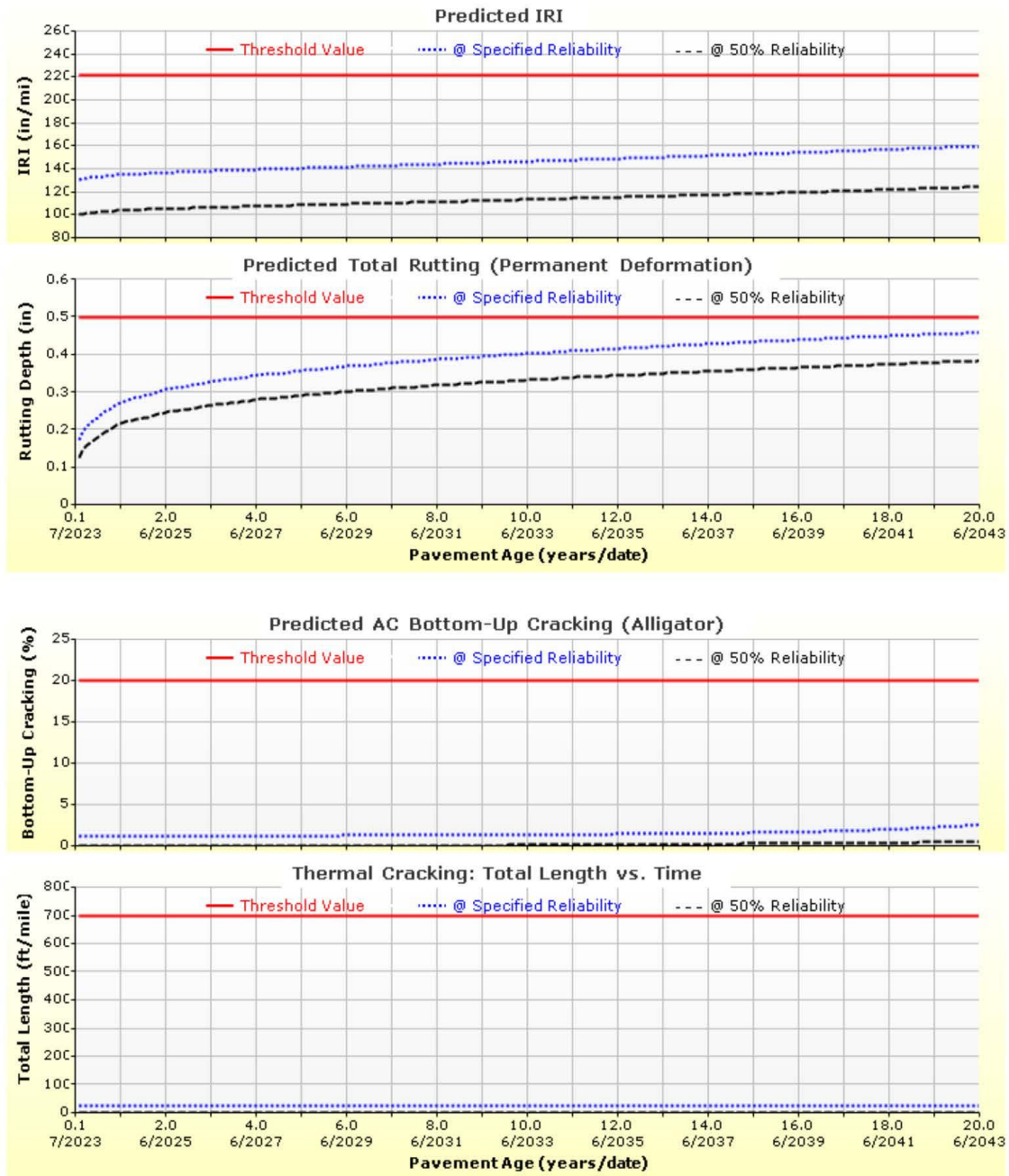


Imagen V.85: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Calzada -Soritor- Ica

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Ica.dgpx

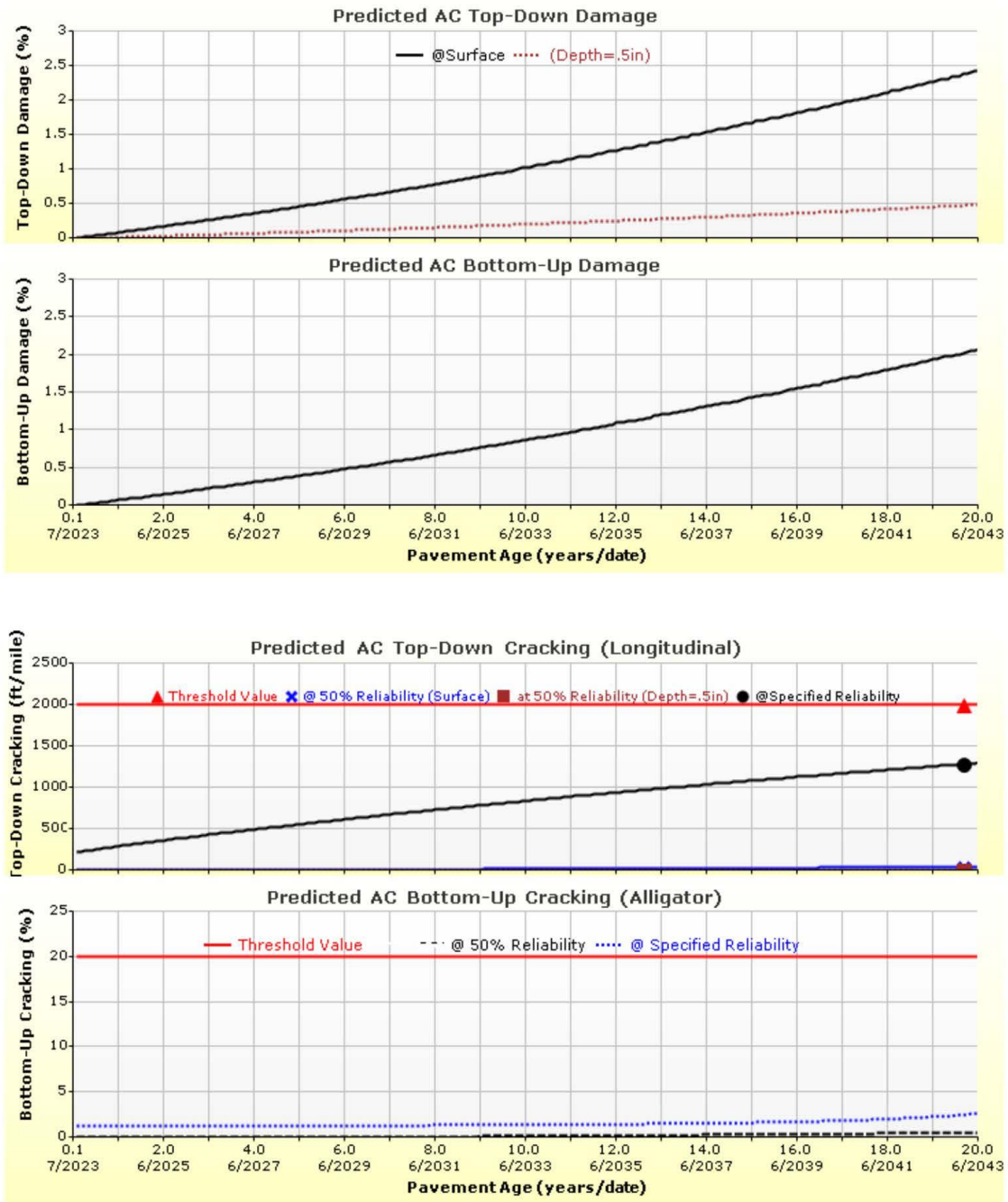


Imagen V.86: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.





# Calzada -Soritor- Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Pucallpa.dgpx



## Design Inputs

Design Life: 20 years      Base construction: May, 2018      Climate Data Sources (Lat/Lon)  
 Design Type: Flexible Pavement      Pavement construction: June, 2021  
 Traffic opening: July, 2023

## Design Structure



| Layer type    | Material Type            | Thickness (in.) | Volumetric at Construction:  |     |
|---------------|--------------------------|-----------------|------------------------------|-----|
| Flexible      | Default asphalt concrete | 4.8             | Effective binder content (%) | 6.3 |
| NonStabilized | A-1-a                    | 10.0            | Air voids (%)                | 3.0 |
| Subgrade      | A-2-6                    | 6.0             |                              |     |
| Subgrade      | A-4                      | Semi-infinite   |                              |     |

## Traffic

| Age (year)      | Heavy Trucks (cumulative) |
|-----------------|---------------------------|
| 2023 (initial)  | 113                       |
| 2033 (10 years) | 227,519                   |
| 2043 (20 years) | 547,902                   |

## Design Outputs

### Distress Prediction Summary

| Distress Type                                | Distress @ Specified Reliability |           | Reliability (%) |          | Criterion Satisfied? |
|--|----------------------------------|-----------|-----------------|----------|----------------------|
|  | Target                           | Predicted | Target          | Achieved |                      |
| Terminal IRI (in./mile)                      | 222.00                           | 174.15    | 85.00           | 99.06    | Pass                 |
| Permanent deformation - total pavement (in.) | 0.50                             | 0.50      | 85.00           | 86.29    | Pass                 |
| AC bottom-up fatigue cracking (percent)      | 20.00                            | 1.61      | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC thermal cracking (ft/mile)                | 700.00                           | 22.17     | 85.00           | 100.00   | Pass                 |
| AC top-down fatigue cracking (ft/mile)       | 2000.00                          | 633.80    | 85.00           | 99.95    | Pass                 |
| Permanent deformation - AC only (in.)        | 0.25                             | 0.17      | 85.00           | 99.81    | Pass                 |

### Distress Charts

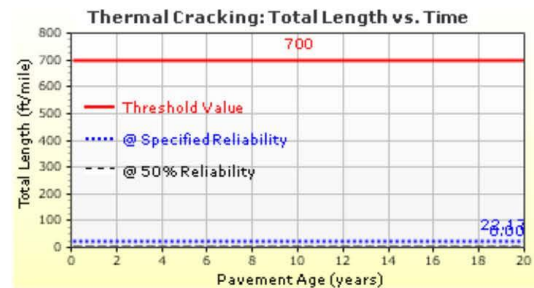
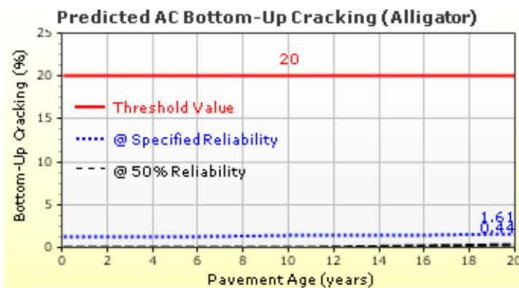
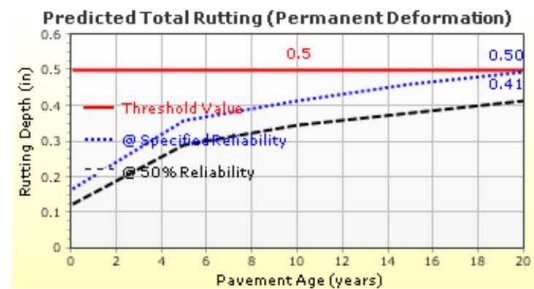
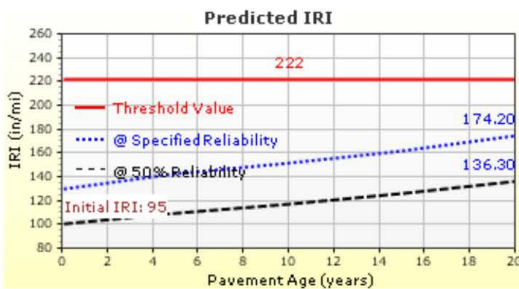


Imagen V.87: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



# Calzada -Soritor- Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Pucallpa.dgpx



## Analysis Output Charts

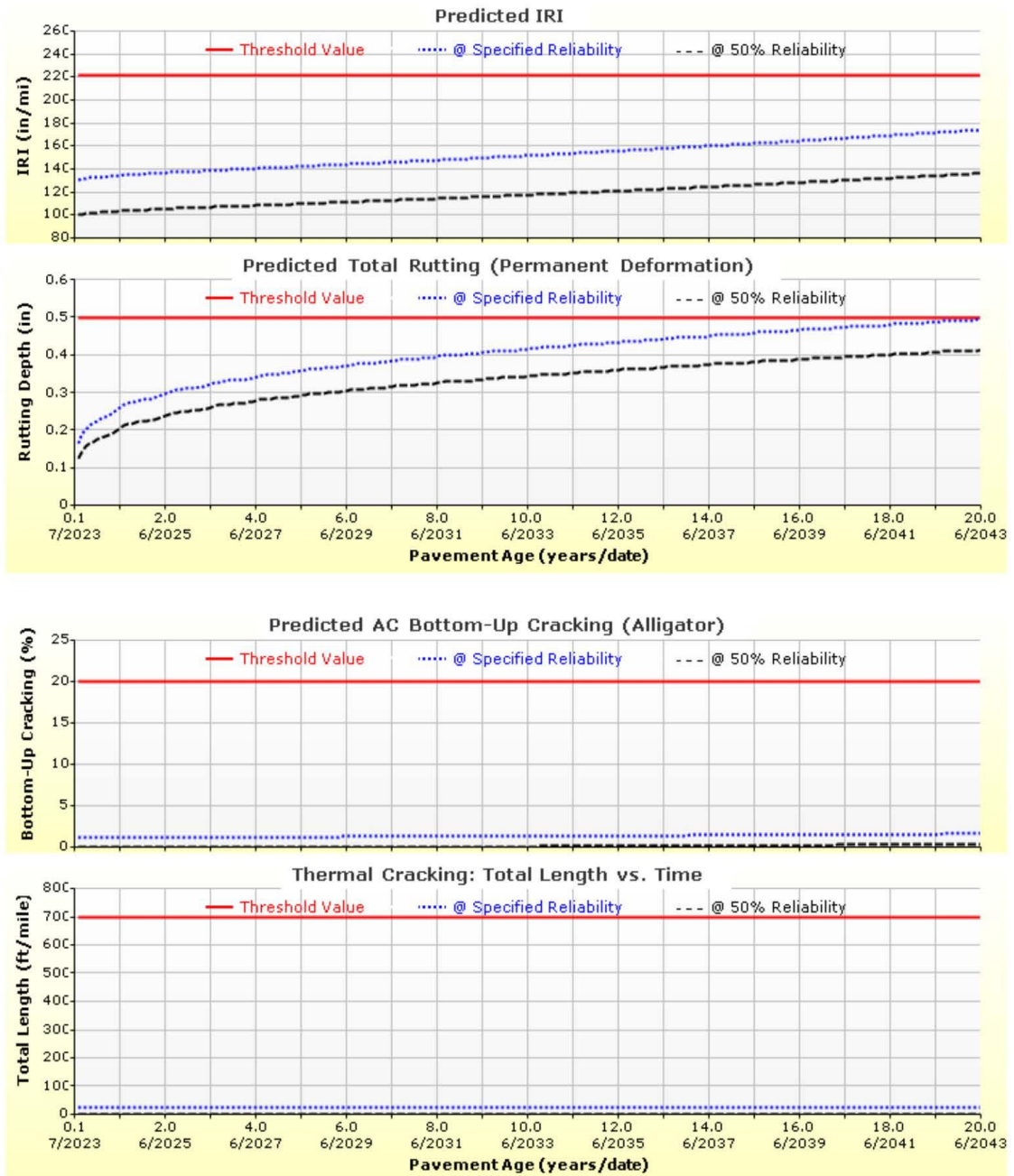


Imagen V.88: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.



### Calzada -Soritor- Pucallpa

File Name: C:\Users\Shessira\Downloads\Calzada -Soritor- Pucallpa.dgpx

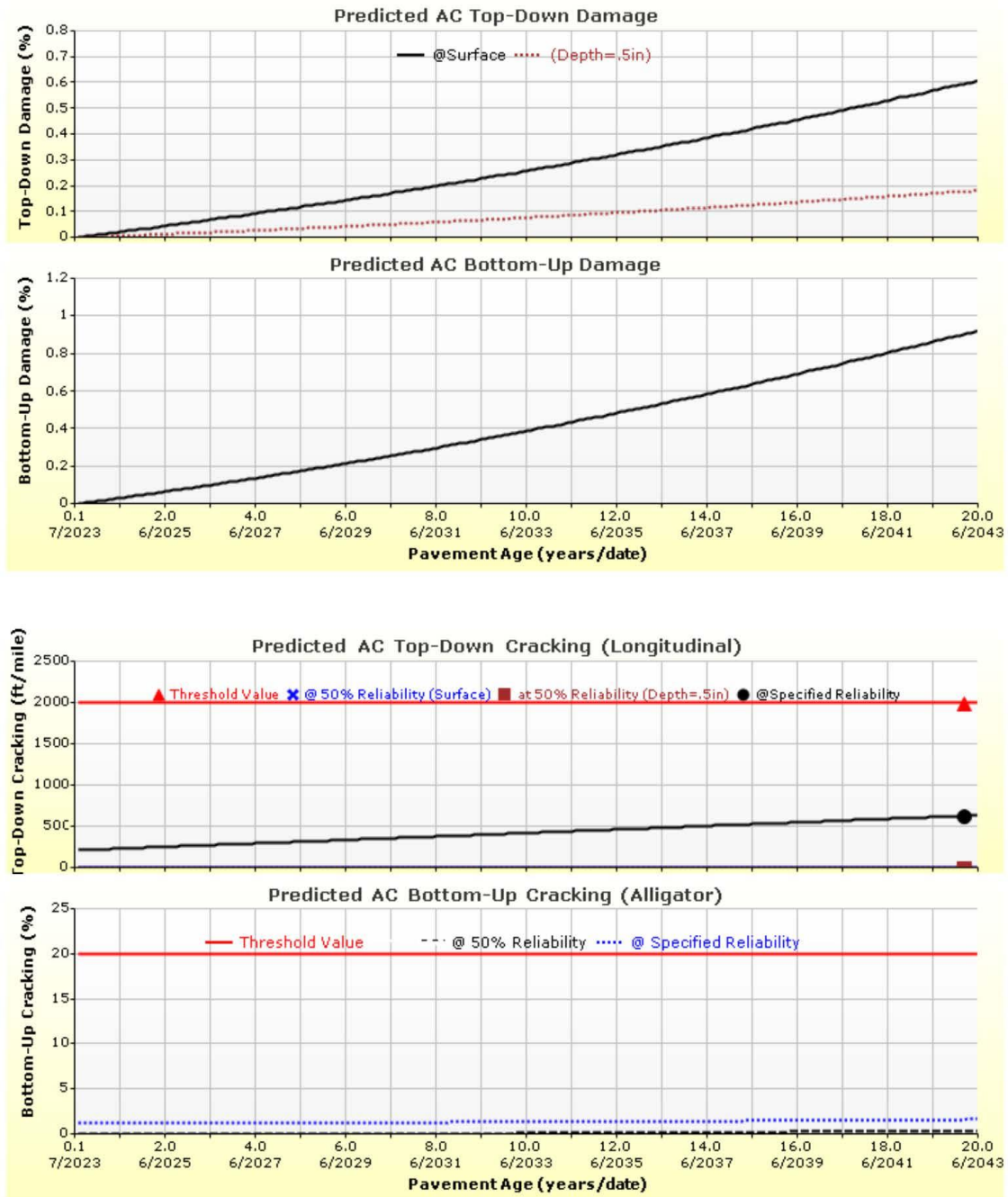


Imagen V.89: Calculo de espesores con el método AASHTO 2015

Fuente: Software AASHTOWARE Pavement ME Design.