



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

TESIS

**APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE
PAVIMENTO FLEXIBLE MECANÍSTICO
EMPÍRICO Y AASHTO 93 EN LA CARRETERA
MO-107 MOQUEGUA 2018**

PRESENTADO POR

ING. HENRY RONI SOSA AMANZO

ASESOR

MGR. MIGUEL EDUARDO CÓRDOVA CANO

PARA OPTAR GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN

INGENIERÍA CIVIL

CON MENCIÓN EN GEOTÉCNIA Y TRANSPORTES

MOQUEGUA – PERU

2020

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	
JURADOS.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO I.....	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Descripción de la Realidad del Problema.....	16
1.2. Definición del Problema.....	17
1.2.1. Problema Específicos	17
1.3. Objetivos de la Investigación	18
1.3.1. Objetivo General	18
1.3.2. Objetivos Específicos	18
1.4. Justificación.....	19
1.5. Variables de Operacionalización.....	21
1.6. Hipótesis	23
1.6.1. Hipótesis General	23
1.6.2. Hipótesis Específicas.....	23
CAPÍTULO II	25
MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Antecedentes de la Investigación	25

2.2.	Normatividad	30
2.3.	Bases Conceptuales	31
2.3.1.	Carretera	31
2.3.1.1	Definición	31
2.3.1.1	Clasificación de Carreteras	32
2.3.2.	Estudio de Tráfico	32
2.3.2.1	Clasificación de los vehículos.....	33
2.3.2.2	Estimación de la tasa de crecimiento	34
2.3.2.3	Factores destructivos.....	34
2.3.2.4	Proyección de tráfico	34
2.3.3.	Estudio de Suelos	35
2.3.4.	Pavimento.....	38
2.3.4.1	Definición	38
2.3.4.2	Tipos de Pavimentos	38
a)	Pavimento Flexible	39
b)	Pavimento Rígido	39
c)	Pavimento Semirrígido	40
2.3.5.	Factores a considerar en el diseño de pavimento	40
CAPÍTULO III		42
MÉTODO.....		42
3.1.	Tipo de investigación	42
3.2.	Diseño de investigación.....	42

3.3.	Población y Muestra	43
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	43
3.5.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	43
3.5.1.	Aspectos Generales	43
3.5.2.	Diseño por el Método AASHTO 93.....	45
3.5.2.1.	Confiabilidad (R)	46
3.5.2.2.	Servicialidad.....	47
3.5.2.3.	Periodo de diseño	48
3.5.2.4.	Drenaje (mi)	48
3.5.2.5.	Número estructural (SN).....	49
3.5.2.6.	Ecuaciones de diseño	51
3.5.2.7.	Selección del espesor de capa	52
3.5.3.	Diseño por el Método Mecánico Empírico AASHTO 2008	54
3.5.3.1.	Caracterización del Tráfico	54
3.5.3.2.	Caracterización Meteorológica	54
3.5.3.3.	Caracterización de los materiales.....	55
CAPÍTULO IV.....		57
PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		57
4.1.	Presentación de Resultados por Variables.....	57
4.1.1.	Geología y Geotecnia	57
4.1.2.	Estudio de Mecánica de Suelos	60
4.1.3.	Estudio de Tráfico Vial	68
4.1.4.	Diseño de Pavimento: AASHTO 93.....	78
4.1.5.	Diseño del pavimento: MEPDG.....	91

4.2. Contrastación de hipótesis	121
4.3. Discusión de Resultados	122
4.3.1. Geología y geotecnia	122
4.3.2. Estudio de mecánica de suelos	123
4.3.3. Estudio de tráfico.....	125
4.3.4. Diseño del pavimento	125
CAPÍTULO V	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130
5.1. CONCLUSIONES.....	130
5.2. RECOMENDACIONES	135
BIBLIOGRAFÍA	137
ANEXOS: MATRIZ DE CONSISTENCIA	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Variable de operacionalización del proyecto de estudio</i>	22
Tabla 2	<i>Clasificación de Carreteras</i>	32
Tabla 3	<i>Configuración vehicular según Reglamento Nacional de vehículos</i>	33
Tabla 4	<i>Número de calicatas para exploración de Suelos</i>	36
Tabla 5	<i>Clasificación de los Suelos según su tamaño</i>	37
Tabla 6	<i>Índice de IP</i>	37
Tabla 7	<i>Niveles de confiabilidad sugeridos (AASHTO 93)</i>	46
Tabla 8	<i>Desviación Estándar, ZR</i>	47
Tabla 9	<i>Niveles sugeridos de confiabilidad R</i>	48
Tabla 10	<i>Condiciones de drenaje</i>	49
Tabla 11	<i>Espesores mínimos recomendados (AASHTO 93)</i>	53
Tabla 12	<i>Ubicación y Coordenadas de Calicatas</i>	61
Tabla 13	<i>Resumen del Estudio de Mecánica de Suelos</i>	66
Tabla 14	<i>Factores de Corrección Estacional para determinación de IMD</i>	69
Tabla 15	<i>Tráfico Generado por el proyecto Quellaveco - índice medio diario anual</i>	69
Tabla 16	<i>Tráfico normal o existente: índice medio diario anual Sector 2, estación E2 Km 11+300</i>	70
Tabla 17	<i>Índice medio diario anual proyectado para el sector 2 de Tramo I</i>	71
Tabla 18	<i>Factores de ajuste para vehículos en Tramo I (Tráfico existente y generado</i>	74
Tabla 19	<i>Resumen ESALs acumulados proyectados para Tramo I</i>	75

Tabla 20 <i>Proyecciones de ESALs acumulados para Sector I: Km 0+000 – Km 5+500</i>	76
Tabla 21 <i>Proyecciones de ESALs acumulados para sector 2: Km 5+500 – Km 23+264,36</i>	77
Tabla 22 <i>CBR de las subrasantes de cada tramo</i>	79
Tabla 23 <i>Estructura del Pavimento obtenida por AASHTO 93</i>	126
Tabla 24 <i>Resultados provenientes del análisis MEPDG</i>	127
Tabla 25 <i>Estructura del Pavimento obtenida por MEPDG</i>	127
Tabla 26 <i>Resultados provenientes del segundo análisis MEPDG</i>	128
Tabla 27 <i>Estructura del Pavimento obtenida por los métodos AASHTO 93 y MEPDG</i>	128

ÍNDICE DE FIGURA

<i>Figura 1</i> Metodología para calcular espesor de pavimento Flexible – AASHTO 93.....	44
<i>Figura 2</i> Metodología para el diseño de pavimentos flexibles por el método empírico.....	45
<i>Figura 3</i> Abaco para hallar SN	50
<i>Figura 4</i> Ecuación AASHTO 93.	51
<i>Figura 5</i> Procedimiento Método AASHTO-1993 para determinación de los espesores de capa.	53
<i>Figura 6</i> Falla local en km 36+900.....	59
<i>Figura 7</i> Vista General del Tramo I Km 21+500 A Km 31+150	63
<i>Figura 8</i> Vista General del Tramo II KM 31+150 A KM 36+60	64
<i>Figura 9</i> Vista General del Tramo III Km 36+600 A Km 52+217.....	65
<i>Figura 10</i> Variación horaria del promedio de vehículos– Estación E2 Km 11+300	72
<i>Figura 11</i> Variación diaria total de vehículos– Estación E2 Km 11+300.....	72
<i>Figura 12</i> Conteo de vehículos– Estación E2 Km 11+300.....	73
<i>Figura 13</i> Clasificación vehicular promedio – Estación E2 Km 11+300Fuente: Elaboración propia.	73
<i>Figura 14</i> Distribución porcentual por tipo de vehículos – Estación E2 Km 11+300	74
<i>Figura 15</i> Abaco con parámetros para Sub Tramo I.....	80
<i>Figura 16</i> Calculo de los espesores del pavimento del tramo 1 por el programa AASHTO 93	81

<i>Figura 17</i> Espesores calculados del pavimento del tramo 1	82
<i>Figura 18</i> Espesores definitivos del pavimento del tramo 1.....	82
<i>Figura 19</i> Abaco con parámetros para Sub Tramo II	84
<i>Figura 20</i> Calculo de los espesores del pavimento del tramo 2 por el programa AASHTO 93	85
<i>Figura 21</i> Espesores calculados del pavimento del tramo 2.....	86
<i>Figura 22</i> Espesores definitivos del pavimento del tramo 2.....	86
<i>Figura 23</i> Abaco con parámetros para Sub Tramo III.....	88
<i>Figura 24</i> Calculo de los espesores del pavimento del tramo 3 por el programa AASHTO 93	89
<i>Figura 25</i> Espesores calculados del pavimento del tramo 3.....	90
<i>Figura 26</i> Espesores definitivos del pavimento del tramo 3.....	90
<i>Figura 27</i> Vista General del Proyecto en DISMEP	91
<i>Figura 28</i> Niveles de confiabilidad.....	92
<i>Figura 29</i> Modulo dinámico	93
<i>Figura 30</i> Propiedad del Ligante	93
<i>Figura 31</i> Curva Maestra	94
<i>Figura 32</i> Coeficiente de Poisson	94
<i>Figura 33</i> Resistencia a la Tracción	95
<i>Figura 34</i> Comportamiento a la fluencia	95
<i>Figura 35</i> Coeficiente de contracción térmica.....	96
<i>Figura 36</i> Modulo resiliente de la Base	96
<i>Figura 37</i> Coeficiente de Poisson de la Base	97
<i>Figura 38</i> Gravedad específica de la Base.....	97

<i>Figura 39</i> Contenido de humedad de la Base	98
<i>Figura 40</i> Densidad máxima seca de la Base	98
<i>Figura 41</i> Permeabilidad hidráulica saturada de la Base.....	99
<i>Figura 42</i> Curva Suelo – Agua de la Base.....	99
<i>Figura 43</i> Modulo Resiliente de la Subbase.....	100
<i>Figura 44</i> Coeficiente de Poisson de la Subbase	100
<i>Figura 45</i> Gravedad Específica de la Subbase	101
<i>Figura 46</i> Contenido óptimo de humedad de la Sub-base.....	101
<i>Figura 47</i> Densidad seca máxima de la Sub-base	102
<i>Figura 48</i> Permeabilidad hidráulica Saturada de la Subbase.....	102
<i>Figura 49</i> Curva Suelo – Agua de la Subbase	103
<i>Figura 50</i> Módulo resiliente de la Subrasante del Tramo I	103
<i>Figura 51</i> Coeficiente de Poisson de la Subrasante del Tramo I.....	104
<i>Figura 52</i> Gravedad Específica de la Subrasante del Tramo I	104
<i>Figura 53</i> Módulo resiliente de la Subrasante del Tramo II.....	105
<i>Figura 54</i> Coeficiente de Poisson de la Subrasante del Tramo II	105
<i>Figura 55</i> Gravedad Específica de la Subrasante del Tramo II.....	106
<i>Figura 56</i> Módulo resiliente de la Subrasante del Tramo III.....	106
<i>Figura 57</i> Coeficiente de Poisson de la Subrasante del Tramo III	107
<i>Figura 58</i> Gravedad Específica de la Subrasante del Tramo III.....	107
<i>Figura 59</i> Datos extraídos de la Estación Meteorológica Moquegua	108
<i>Figura 60</i> Datos Meteorológicos en DISMEP	108
<i>Figura 61</i> Volumen de tráfico e información general	109
<i>Figura 62</i> Ajustes de volumen de tráfico.....	109

<i>Figura 63</i> Distribución de cargas por eje (Eje Simple)	110
<i>Figura 64</i> Distribución de cargas por eje (Eje Tandem).....	110
<i>Figura 65</i> Distribución de cargas por eje (Eje Tridem).....	111
<i>Figura 66</i> Distribución de cargas por eje (Eje Quad).....	111
<i>Figura 67</i> Modelo de Predicción de Ahuellamiento.....	112
<i>Figura 68</i> Modelo de Predicción de Fisuramiento de Cocardillo.....	112
<i>Figura 69</i> Modelo de Predicción de Fisuramiento Longitudinal.....	113
<i>Figura 70</i> Modelo de Predicción de Fisuramiento Transversal.....	113
<i>Figura 71</i> Modelo de Predicción de Regularidad Superficial	114
<i>Figura 72</i> Modelo de Predicción de Ahuellamiento Total (Tramo I).....	114
<i>Figura 73</i> Modelo de Predicción de Regularidad Superficial (Tramo I).....	115
<i>Figura 74</i> Modelo de Predicción de Ahuellamiento Total (Tramo II)	115
<i>Figura 75</i> Modelo de Predicción de Regularidad Superficial (Tramo II)	116
<i>Figura 76</i> Modelo de Predicción de Ahuellamiento Total (Tramo III)	116
<i>Figura 77</i> Modelo de Predicción de Regularidad Superficial (Tramo III)	117
<i>Figura 78</i> Estructura Final del Pavimento (Tramo II)	118
<i>Figura 79</i> Modelo de Predicción de Ahuellamiento con Estructura Final (Tramo II).....	118
<i>Figura 80</i> Estructura Final del Pavimento (Tramo III).....	119
<i>Figura 81</i> Estructura Final del Pavimento (Tramo III)	119
<i>Figura 82</i> Estructura Final del Pavimento (Tramo I)	120
<i>Figura 83</i> Estructura Final del Pavimento (Tramo I)	120

RESUMEN

La presente investigación tiene como principal objetivo determinar un diseño de pavimento flexible para la carretera MO-107, del km. MO 107 21+500 al km 52+217, por los métodos Mecánico Empírico y AASHTO 93.

El método AASHTO 93 toma parámetros del estudio de tráfico para el cálculo del ESAL y parámetros del estudio de suelos, como lo es el CBR, mediante una correlación de sus valores y de otros parámetros como confiabilidad, desviación estándar, servicialidad y con el uso de ábacos, ecuación AASHTO 93 y/o software de este método podemos proyectar espesores de pavimento. Mientras que por el método empírico mecánico (MEPDG) tiene varias etapas de evaluación, donde encontramos a los parámetros de entrada para el diseño: clima, tráfico y materiales nuevos (como mezcla asfáltica en caliente) son sometidos a un modelo de respuesta del pavimento como cálculo de esfuerzos, deformaciones, deflexiones y evaluar el cálculo de daño incremental, si los resultados de estos modelamientos cumplen los criterios de diseño recién se toma como aceptables los valores de espesores de pavimento caso contrario se modifican las características del diseño o de los materiales hasta que puedan cumplir los criterios de diseño.

Se encontró en los diseños de pavimentos valores muy próximos, pero al tener un análisis más preciso por el MEPDG y evaluar las posibles fallas, costos operacionales y mantenimiento que se verán afectados significativamente en el tiempo se recomienda usar los espesores de pavimento obtenidos por el MEPDG.

Palabras claves: AASHTO 93, MEPDG, pavimento flexible.

ABSTRACT

The main objective of this research is to determine a flexible pavement design for the MO-107 highway, km. MO 107 21 + 500 to km 52 + 217, by the Empirical Mechanistic and AASHTO 93 methods.

The AASHTO 93 method takes parameters from the traffic study to calculate the ESAL and parameters from the soil study, such as the CBR, by correlating their values and other parameters such as reliability, standard deviation, serviceability and with use. of abacus, AASHTO 93 equation and / or software of this method we can project pavement thicknesses. While by the mechanistic empirical method (MEPDG) it has several stages of evaluation, where we find the input parameters for the design: climate, traffic and new materials (such as hot mix asphalt) are subjected to a pavement response model as calculation of stresses, deformations, deflections and evaluating the calculation of incremental damage, if the results of these modeling meet the design criteria, the pavement thickness values are only taken as acceptable, otherwise the design characteristics or materials are modified until that can meet the design criteria.

Very close values were found in the pavement designs, but when having a more precise analysis by the MEPDG and evaluating possible failures, operational costs and maintenance that will be significantly affected over time, it is recommended to use the pavement thicknesses obtained by the MEPDG.

Keywords: AASHTO 93, MEPDG, flexible pavement.

CAPÍTULO I PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción de la Realidad del Problema

La infraestructura vial en el Perú hasta hace unos 5 años atrás se caracterizaba por su clara deficiencia en cuanto a calidad y cantidad porque, como todos los peruanos sabemos, a simple vista y a expectativa de todas nuestras autoridades y responsables no se le daban la atención necesaria y este es el principal problema para el desarrollo del país, ya que si se construyeran redes viales optimas no solo daríamos comunicación a pueblos alejados si no también empleo, contribuyendo al desarrollo económico de todos los pueblo aledaños a las vías en óptimas condiciones.

De acuerdo al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016) “A julio del 2016 se logró pavimentar el 86,2% de la red vial nacional, porcentaje que a julio del 2011 era de 54,2%. Esta integración impactará directamente en el desarrollo local y nacional de nuestro país”.

Por otro lado, existen diversos métodos que son utilizados en el país para el diseño de pavimentos, como lo son el AASHTO 93, el Instituto del Asfalto, o, por ejemplo, para pavimentos rígidos el método de la PCA. Sin embargo, muchos de estos métodos presentaron deficiencias debido a

que no se consideran diversas variables como lo son el clima o el tráfico vehicular que permitan predecir el tiempo de vida útil del pavimento.

Bajo la premisa descrita anteriormente se hace necesario estudiar la posible aplicación del método mecanístico empírico y compararlo con el AASHTO 93 para considerar todas las variables posibles para predecir la falla de un pavimento, y aplicarlos al diseño de vías pavimentadas que beneficiaran directamente a poblados alejados generando un impacto positivo sobre el crecimiento económico y la distribución del ingreso.

1.2. Definición del Problema

¿Es posible la aplicación del método Mecanístico Empírico a comparación del AAHSTO 93 para mejorar el estado físico de la Carretera MO107 para un tránsito fluido, directo y masivo entre Moquegua y Toquepala?

1.2.1. Problema Específicos

- a) ¿Qué características particulares presenta la metodología, AASHTO 93 y Mecanístico Empírico, de diseño de pavimento flexible que se utilizara en la carreta MO 107?
- b) ¿Qué parámetros de estudio de suelos, características físico-mecánicas, se utilizarán para formular el diseño de pavimento flexible?
- c) ¿Qué parámetros de tráfico vial se utilizará?

- d) ¿Cómo influye el clima en la vida útil de un pavimento flexible?
- e) ¿Es un mejor método de diseño de pavimentos el mecanístico empírico a comparación del AASHTO 93 para mejorar el estado físico de la Carretera MO107 para un tránsito fluido, directo y masivo entre Moquegua y Toquepala?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Aplicar e implementar el método de diseño de pavimento flexible Mecanístico Empírico a comparación del AASHTO 93 que permita mejorar el estado físico de la Carretera MO107.

1.3.2. Objetivos Específicos

- a) Definir las características particulares de la metodología, AASHTO 93 y Mecanístico Empírico, del diseño de pavimento flexible para la carretera MO-107.
- b) Obtener los parámetros geotécnicos para el diseño de pavimento flexible.
- c) Identificar los parámetros de tráfico vial para el diseño de pavimento flexible.
- d) Establecer los parámetros meteorológicos de la zona de estudio para el diseño del pavimento flexible.
- e) Diseñar el pavimento flexible de la carretera MO-107 mediante los métodos AASHTO 93 y Mecanístico Empírico.

- f) Realizar un análisis comparativo entre el método AASHTO 93 y Mecanístico Empírico AASHTO 2008.

1.4. Justificación

Desde el punto de vista social tenemos:

En aras del objetivo principal del MTC, del gobierno de turno, para el 2021 de “dejar en el nivel de pavimentado el 100% de las vías nacionales, que suman actualmente 26 855 kilómetros. Ya están pavimentados 19 898; es decir, la meta es pavimentar en cinco años 6 956 kilómetros”, afirmó, en ese entonces el Ministro de Transportes y Comunicaciones, Martín Vizcarra Cornejo, actual presidente de la Republica.

El presente proyecto podrá servir de base para que, en mediano plazo, ya sea el gobierno regional o empresa privada, que requiera realizar el expediente técnico podrá contar con el estudio y cálculo del diseño de pavimento.

Con el presente proyecto se resalta la importancia de la Carretera MO 107 ya que podrá comunicar directamente Moquegua con Toquepala y evitar que todos los que actualmente se movilizan entre estos sectores eviten el traslado por la actual ruta: Moquegua – Camiara – Toquepala. Camiara se ubica en el Km 1213 de la Carretera Panamericana Sur, actualmente el viaje entre Moquegua – Toquepala es de 2hr pero si se realizase por la carretera MO-107 el viaje duraría 45 minutos como máximo.

En el Perú la pavimentación de las vías nacionales y departamentales es 99,9% del tipo flexible, siendo el método utilizado por

el MTC el AASHTO 93; resaltar que no es el único método existente para este tipo de pavimentos y lo que se pretende en esta tesis es demostrar porque se opta por el AASHTO 93 o en su defecto por método mecánico empírico.

Desde el punto de vista económico:

Al tener un menor tiempo de viaje por estar comunicada dicha vía, el dinero en los recursos para elaborar dicho viaje en un mayor tiempo puede ser ahorrado y utilizado en otras cosas que demanden gastos de la minera Toquepala y así mismo evitar contratiempos en su traslado a Moquegua.

Así mismo, un método u otro pueden prevenir riegos para dicha carretera y así disminuir costos en la etapa del proyecto al tener menores espesores en las capas de pavimento o mejor aún costos de mantenimiento o reparación durante la vida útil del proyecto.

Desde el punto de vista técnico y científico:

La comparación entre dos métodos, siendo uno de ellos el que es más utilizado en Perú y el otro que probablemente pueda implementarse puede significar un aporte a los profesionales que se dedican a esta rama de la ingeniería civil, debido a que el método mecánico empírico es más analítico en las variables que utiliza para prevenir las fallas en el pavimento y así tener un mayor tiempo de vida útil del pavimento.

Por las razones expuestas anteriormente, se busca la implementación del uso de método mecánico empírico, para ciertas condiciones de diseño, para tener carreteras como la MO 107 de Moquegua

con una mayor vida útil con el menor costo posible prediciendo las posibles fallas que se pudieran presentar.

1.5. Variables de Operacionalización

A continuación, se presenta el Tabla N° 01 en la que se detalla la variable operacional para el proyecto de diseño de pavimento flexible de la carretera MO 107:

Tabla 1

Variable de operacionalización del proyecto de estudio

VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO	ÍNDICE
Diseño del Pavimento Flexible mediante el método AASHTO 93 o Mecánico Empírico de la carretera MO-107 Moquegua 2018	Método AASHTO 93	Estudio de Suelos	Granulometría	Curva Granulométrica	%
			Límites de Atterberg	Registro de Porcentajes de Humedad	%
			California Bearing Ratio (C.B.R.)	Gráfico C.B.R.	%
		Tránsito de Diseño	Módulo Resiliente	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	J/m3
			Ejes Equivalentes	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	Tn
		Parámetros de Diseño	Confiabilidad	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	Global
			Indice de Servicio Inicial	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	Global
			Indice de Servicio Final	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	Global
			Capas Estructurales de Pavimento	Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotécnia y Pavimentos	Pulgadas
		Método Mecánico Empírico AASHTO 2008	Caracterización del Tráfico	Volumen de Tráfico Anual	Estudio de Tráfico
	Promedio Anual de Tráfico Diario de Camiones			Estudio de Tráfico	Cantidad
	Ajustes de Volumen de Tráfico			Clasificación MTC	%
	Factores de Ajuste Mensual			Estudio de Tráfico	%
	Número de Carriles en la Dirección del Diseño			Estudio de Tráfico	Cantidad
	Porcentaje de Camiones en la Dirección del Diseño			Estudio de Tráfico	%
	Porcentajes de Camiones en el Carril de Diseño			Estudio de Tráfico	%
	Velocidad Operacional del Vehículo			Clasificación MTC	Km/hr
	Factor de Distribución Horaria			Gráfico de Distribución Horaria	%
	Crecimiento del Tráfico			Censos	%
	Clasificación y Volumen de Tráfico			Clasificación MTC	Cantidad
	Distribución de la Carga por Eje			Clasificación MTC	%
	Espectros de Carga			Gráfico Carga vs Frecuencia	Kips
	Dimensiones de Neumáticos y Presiones de Inflado		Guía MEPDG NCHRP 2004	Psi	
	Análisis del Clima		Temperatura	Registro Meteorológico	Grados Celsius
			Porcentaje de Radiación Solar	Radiómetro	w/m2 - %
			Viento	Registro de Velocidades del Viento	m/s
			Humedad	Registro Meteorológico	%
	Análisis de los Materiales		Mezcla Asfáltica en Caliente	Clasificación AASHTO	Global
			Bases Granulares	Clasificación AASHTO	Global
			Terraplen y Suelos	Clasificación AASHTO	Global
	Modelo de Respuesta del Pavimento		Cálculo de Esfuerzos	Programa MEPDG	kg/cm2
			Cálculo de Deformaciones	Programa MEPDG	cm
Cálculo de Deflexiones		Programa MEPDG	cm		

Fuente: Elaboración Propia.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

La aplicación del método Mecanístico Empírico a comparación del AASHTO 93 mejorará el estado físico de la Carretera MO107 para un tránsito fluido, directo y masivo entre Moquegua y Toquepala.

1.6.2. Hipótesis Específicas

- a) Las características particulares de la metodología, AASHTO 93 y Mecanístico Empírico, del diseño de pavimento flexible para la carretera MO-107, serán muy diferentes y así mismas determinantes para la comparación de resultados.
- b) Los parámetros geotécnicos y geológicos determinarán las formaciones y los tipos de suelo presentes a lo largo de la vía.
- c) Las identificaciones de parámetros de tráfico permitirán conocer el ESAL, utilizado para el diseño de pavimentos.
- d) Los datos meteorológicos obtenidos de la data de SENAMHI arrojarán los parámetros del clima, humedad y precipitación más críticos en la zona de estudio.
- e) El diseño del pavimento flexible de la carretera MO-107 mediante los métodos AASHTO 93 y Mecanístico Empírico nos dará espesores de pavimento adecuados para las condiciones climáticas, de tránsito y geotécnicas del camino.

- f) El método Mecánico Empírico AASHTO 2008 arrojará espesores de pavimento más seguros que los calculados mediante la metodología AASHTO 93.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

De acuerdo al MTC a junio del 2011 se tenía sólo el 54% de carreteras pavimentadas a nivel nacional, se priorizo las vías nacionales y departamentales, ante ello las vías locales o vecinales debían esperar para poder ponerlo en óptimas condiciones de transitabilidad, así hace referencia la tesis de: Humpiri, P. (2015). “Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la” región de puno (tesis de maestría). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú. En la que menciona que “en estos últimos años en el país, las vías de conexiones departamentales y locales no reciben mantenimientos preventivos, siendo estas las conexiones de las ciudades y poblados; la solución para la mayoría estas vías de conexión es el pavimento flexible”.

Martín Vizcarra, presidente del Perú, cuando asumió el cargo de Ministro de Transportes y Comunicaciones, en su primer pronunciamiento al país indico que la meta al 2021 era pavimentar al 100% las vías del país,

eso incluía las nacionales, departamentales y locales, a ello indicaba que las vías influían directamente en la economía de los pueblos aledaños a estas vías; así también se plasmó en la tesis de: Gómez, S. (2014). Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del óvalo Grau (Tesis de pregrado). Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.

Donde indicaba que “el transporte es influyente en la economía de zonas urbanas y rurales; siendo las carreteras las que contribuye al desarrollo socio económico de los sectores de la población a las que interconecta. Presenta una estructura vial, ovalo, como una solución de mejorar el tránsito y su conexión entre las poblaciones aledañas, y tras un estudio general de suelos, transito, clima y otros factores, se determina que la mejor opción es el de un pavimento flexible”.

Los sociólogos indican que el desarrollo de las vías no sólo trae desarrollo económico a los pueblos, ciudades y al país, sino que permite a los habitantes de estos poblados se integren y se identifiquen con el país; es de esta manera como se enfoca en la tesis de Jiménez (2009). Diseño de pavimento flexible: método del instituto de ingeniería de la UNAM (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, México. En la que menciona a las vías de comunicación terrestre no sólo son importantes para impulsar la economía de poblados, ciudades y la de un país sino también lo de favorecer la integración de la cultura y la identidad nacional.

Un problema detectado en algunas vías hace poco tiempo recién habilitadas o construidas ya empiezan a presentar problemas o fallas y hace

suponer que no cumplirá con su tiempo de vida útil, este punto se hace mención en la tesis de Lara, M. (2016). Diseño de la estructura del pavimento flexible desde el cruce la indiana hasta el recinto “luz de américa” en el Canton Naranjal, provincia del Guayas (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. En la que indica que el deterioro de las vías de comunicación en zonas rurales es debido a mantenimientos inadecuados lo cual genera que estas vías sean de difícil acceso y por ende el dificulta el traslado de mercancías y artículos de primera necesidad; recomienda la necesidad de aplicar el conocimientos y experiencia para realizar el estudio y diseño de vías.

Los estudios inadecuados, el no considerar ciertos parámetros, como los ambientales, al momento del diseño de la vía generara falsas expectativas con la servicialidad o tiempo de vida útil, así como lo menciona Gutiérrez, J. (2007). Modelación geotécnica de pavimentos flexibles con fines de análisis y diseño en el Perú (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Indica en su tesis que la servicialidad de los pavimentos, en carreteras mantenidas y rehabilitadas, no cumple para la etapa de vida prevista. Concluye que las causas son estudios de tráfico inadecuados, mal estudio de suelos, condiciones ambientales no consideradas, entre otros.

Ante esto se hace necesario recurrir a un estudio minucioso, poseer el conocimiento necesario y experiencia para diseñar y proyectar vías que cumplan con su tiempo de vida útil, evitando sobrecostos y gastos innecesarios en mantenimientos.

Aquino, D., Castillo, A., & Mejía, J. (2013). Estudio comparativo del desempeño estructural y funcional post construcción de los pavimentos flexibles reciclados con cemento en El Salvador (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, Santa Ana, El Salvador. Menciona que actualmente la conservación de la red vial a todo nivel, ya sea para nuestro enfoque nacional como es: local, departamental y nacional; no se le da la debida importancia por el hecho de los recursos que moviliza. Tanto los problemas medio ambientales, legales y presupuestario que se deriva de ello, justifican firmemente la innovación y búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costos de todo tipo.

López Cutipa, A., & Cantero Rodríguez, S. (2017). Aplicación de la metodología de diseño de pavimento afirmado por el método mecanístico - empírico en la vía Ancoto Mahuaypampa. Cusco: Universidad Nacional De San Antonio de Abad del Cusco. En el presente informe de tesis, se aplica el método mecanístico empírico a vías no pavimentadas en la región de Cusco. Nos dice que la calibración del tráfico para el diseño de pavimentos mediante este método establecerá para la región antes mencionada las siguientes ventajas: Comparada con los procesos empíricos, que se basan en experiencias, esta metodología tendría un fundamento mecánicamente más realista. Se consideran los efectos del tipo de eje y carga. Así mismo, se predecirá con mayor precisión lo que ocurre durante la vida de diseño. (López Cutipa & Cantero Rodríguez, 2017)

Loyola García, J., & Navarro Ríos, L. (2017). Estudio comparativo de los métodos AASHTO 1993 y mecanístico - empírico MEPDG AAHSTO

2008 en el diseño del pavimento flexible del Jr. Libertad en el P.J. Miramar Alto - Chimbote. Chimbote: Universidad Nacional del Santa. El presente estudio investiga la problemática de las obras de pavimentación que no cumplen con su tiempo de vida útil en el distrito de Chimbote, debido a un deficiente diseño. El problema de los espesores diseñados se subsanó mediante la aplicación del método mecanístico empírico MEPDG AASHTO 2008, teniendo finalmente unos espesores rectificadas de CA = 4", Base 12" y sub base de 16", la cual nos garantiza su tiempo de vida útil y responde de una mejor manera a las exigencias climáticas y del tráfico vehicular (Loyola García & Navarro Ríos, 2017).

Matallana Burga, C., & Blas Iparraguirre, V. (2017). Diseño de pavimento flexible mediante la aplicación del método mecanístico empírico MEDPG - AASHTO 2008. Chimbote: Universidad Nacional del Santa. En la presente investigación se pretende implementar el uso del método mecanístico empírico MEPDG AASHTO 2008 para el diseño de pavimentos flexibles. Este método fue optimizado en la investigación mediante el uso de software de pavimentos. Esta investigación da origen a guía de diseño de pavimentos mecanístico – empírico AASHTO 2008, la cual es una de las alternativas para el análisis y diseño de pavimentos aplicando las bondades del software, en comparación con el método AASHTO 93. Esta investigación será una de las guías para nuestro proyecto, al momento de aplicar el método mecanístico - empírico en el diseño de la carretera MO 107 (Matallana Burga & Blas Iparraguirre, 2017).

Soles Reyes, D., & Vásquez Guaylupo, K. (2018). Evaluación estructural de la carretera Puente Virú - Virú, utilizando el método mecanístico. Chimbote: Universidad Nacional del Santa. En la siguiente investigación se evalúa la calidad estructural de la vida desde el Centro Poblado Puente Virú hasta Virú, utilizando el método mecanístico empírico, debido a que este método trabaja en base a esfuerzos y deformaciones que harán que el diseño sea más adecuado, económico y efectivo. En la vía a analizar se planteó predecir la vida útil del pavimento flexible, teniendo en cuenta parámetros de diseño como el tráfico, geotecnia, hidráulica, clima y entre otros factores (Soles Reyes & Vásquez Guaylupo, 2018).

En 2016, se publicó una tesis titulada “Implementación de la Guía de Diseño Mecanístico Empírico AASHTO 2008 en la Región Piura, la cual describe los pasos que se tienen que seguir para poder implementar esta metodología en la Región Piura. Es un antecedente directo a nuestra investigación y se diferencia debido a las condiciones del lugar como lo son tráfico, clima y suelo. En este caso, en la investigación presente se tendrá por conclusión cuál de los dos métodos (mecanístico empírico o AASHTO 2008) es el más adecuado para aplicarlo en la carretera MO-107 de Moquegua (Jaña - Arellano, 2016).

2.2. Normatividad

Las siguientes instituciones están involucradas en el diseño de pavimentos:

- AASHTO: Asociación Americana de Autopista y Transporte.
- ASTM: Asociación Americana de Ensayos de Materiales.
- NTP: Norma Técnica Peruana.

- MTC: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- RNV: Reglamento Nacional de Vehículos.

Luego de ver las principales entidades y normas vigentes para realizar un diseño de pavimento flexible, tenemos que según la Resolución Directoral N°10-2014-MTC/14 en el Manual de Carreteras; suelos, geología, geotécnica y pavimentos: Sección suelos y Pavimentos se encuentran los siguientes métodos:

- AASHTO 93: Asociación Americana de Autopista y Transporte.
- Análisis de la Performance o Comportamiento del Pavimento durante el periodo de diseño.

2.3. Bases Conceptuales

2.3.1. Carretera

2.3.1.1 Definición

Es una infraestructura de transporte, ya sea un acceso, trocha o vía asfaltada, que es de uso público y vehicular.

Así mismo, según el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (2018) define a la carretera como el camino donde transitan los vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas como lo son la pendiente transversal y longitudinal, las superficies de rodadura, cumplen con los requerimientos mínimos según el MTC.

Dependiendo del volumen vehicular, geografía en la que se encuentra o zonas que comunica tienen una serie de clasificaciones;

el cual debe ser tomado muy en cuenta a la hora de proyectar un diseño de pavimento porque de ello dependerá la magnitud de la obra y obviamente el costo (Rico Castillo & Del Castillo, 2010).

2.3.1.1 Clasificación de Carreteras

De acuerdo al Manual de carreteras DG – 2018, clasifica a las

Carreteras en:

Tabla 2
Clasificación de Carreteras

Tipo de Clasificación	Sub Clasificación
Por Demanda	Autopista de Primera Clase
	Autopista de Segunda Clase
	Carretera de Primera Clase
	Carretera de Segunda Clase
	Carretera de Tercera Clase
Por Orografía	Trochas Carrozables
	Terreno plano (Tipo 1)
	Terreno ondulado (Tipo 2)
	Terreno accidentado (Tipo 3)
	Terreno escarpado (Tipo 4)

Fuente: Manual de Diseño Geométrico para Carreteras (2018)

2.3.2. Estudio de Tráfico

En el estudio de tráfico se tiene que conocer los tipos y volumen de unidades que transitaran para poder proyectar adecuadamente los espesores o capas del pavimento a diseñar y para ello la finalidad es de cuantificar y clasificar a las unidades que transitan por la vía de diseño (Rico Castillo & Del Castillo, 2010).

Así mismo, el Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2014), nos indica que la demanda del tráfico es un aspecto esencial que el ingeniero debe conocer con mucha precisión para poder

planificar y diseñar muchos aspectos de la viabilidad, entre ellos el tema principal de esta investigación como lo es el diseño de pavimentos.

2.3.2.1 Clasificación de los vehículos

De acuerdo al RNV, los vehículos según el Tabla N° 3.

Tabla 3

Configuración vehicular según Reglamento Nacional de vehículos

Tipo de Vehículo	Descripción
Vehículos livianos	Automóvil, camioneta, camionetas rurales (combi), pick up, SUV 4x4 y microbuses
Buses	Buses de 2, 3 y 4 ejes (B2, B3 y B4)
C2	Camión de 2 ejes (2 ejes simples)
C3	Camión de 3 ejes (1 eje simple y 1 eje doble)
C4	Camión de 4 ejes (1 eje simple y un eje triple)
T2S1 (2S1)	Semi-tráiler (3 ejes simples)
T2S2 (2S2)	Semi-tráiler (3 ejes, 2 simple y doble)
T2S3 (2S3)	Semi-tráiler (3 ejes, 2 simple y triple)
T3S2 (3S2)	Semi-tráiler (3 ejes, 1 simple y 2 dobles)
T3S3 (3S3)	Semi-tráiler (3 ejes, 1 simple, 1 dobles y 1 triple)
C3R2 (3T2)	Tráiler (Camión C2 + Carreta de 2 ejes simples)
C3R3 (3T3)	Tráiler (Camión C2 + Carreta de 2 ejes, uno simple y otro doble)
C4R2 (4T2)	Tráiler (Camión C4 + Carreta de 2 ejes simples)
E7	Vehículos especiales con 7 ejes (biarticulados o doble semirremolque)

Fuente: MTC – Decreto Supremo 058-2003

2.3.2.2 Estimación de la tasa de crecimiento

La metodología aceptada por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) para determinar la tasa de crecimiento consiste en emplear la información de series históricas del crecimiento del PBI de la región en evaluación, durante un período de 10 años, afectada por la Elasticidad de la Demanda de Transportes y aplicar un modelo de regresión de tipo exponencial (MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, 2014).

2.3.2.3 Factores destructivos

Consiste en uniformizar a un vehículo estándar todas las unidades que circulan por la vía de estudio, de ello se podrá recién determinar el número de ejes equivalentes en el tramo de estudio (Rico Castillo & Del Castillo, 2010).

2.3.2.4 Proyección de tráfico

Para este fin se requiere determinar la tasa de crecimiento del tráfico normal. A ello también se requiere obtener el tránsito medio diario anual (AADT) de la zona y los factores de carga equivalente para cada eje en cada vehículo, con estos datos se proceden a establecer los parámetros de diseño y estos son (Rico Castillo & Del Castillo, 2010):

Factor de distribución direccional (D)

Factor de distribución de carril (L)

Período de diseño (Y)

Factor de crecimiento (G)

2.3.3. Estudio de Suelos

Es necesario determinar las características de los estratos o suelos donde se proyecta asentar el pavimento.

Una vez identificadas y conocidas sus características se podrán clasificarlos adecuadamente y con ello tendremos la certeza de realizar un buen diseño de pavimento (MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, 2014).

Las características y propiedades de los suelos a lo largo del alineamiento, eje, propuesto condicionan la elección del tipo de pavimento a colocar e influyen en la composición de la estructura del mismo, para lo cual se efectuara el reconocimiento in situ de los suelos identificando los suelos predominantes y proceder a su sectorización a lo largo del eje proyectado (MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, 2014).

La exploración de suelos se realizará de acuerdo al Manual del MTC 2014, con calicatas de 1.50 m de profundidad, cada 500 metros, Tabla N° 04, efectuando el registro del perfil del suelo y tomando muestras representativas para analizarlas en laboratorio y obtener la correspondiente clasificación de suelos, se procederán a efectuar los ensayos de granulometría y límites de consistencia que permitan la clasificación de suelos por los métodos AASHTO y Sistema Unificado (SUCS).

Tabla 4

Número de calicatas para exploración de Suelos

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carretera de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido	
Carretera de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	4 Calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	3 Calicatas x km	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	2 Calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	1 Calicatas x km	

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

De acuerdo al MTC (2014), en el estudio de suelos se debe comprender los siguientes ensayos de laboratorio:

Ensayo de Granulométrica (Ensayo MTC E 107)

Límite de Atterberg

Ensayo de compactación Proctor Modificado (Método C – MTC E 115)

Ensayo de valor de soporte de California o CBR.

Tabla 5
Clasificación de los Suelos según su tamaño

Tipo de Material		Tamaño de partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm
		Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm
		Arena fina: 0.425 - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos 2014.

Tabla 6
Índice de IP

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20	Media	Suelos arcillosos
IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos 2014.

2.3.4. Pavimento

2.3.4.1 Definición

Es una serie de capas que se encuentran asentadas sobre una fundación que recibe el nombre de subrasante.

La estructura como tal permite una superficie de rodamiento que a la vez permita un, como menciona (Castillo, 2010) “tráfico seguro y confortable, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática” (p. 99).

El pavimento debe ser resistente, que, por sus características propias, están sometidas al desgaste debido a la abrasión producida por las llantas y garantizar el tiempo de vida útil con unas adecuadas condiciones de drenaje.

Como toda obra de infraestructura los “factores de costo y de vida útil son muy importantes” (UMSS, 2004). También se considera que el pavimento debe ser durable y económico.

Existe, históricamente, dos tipos de pavimentos, flexibles y rígidos, a ello dependiendo del uso, tiempo de vida, las condiciones climatológicas se llegan a combinar estos tipos, teniendo una tercera clase, los pavimentos semirrígidos.

2.3.4.2 Tipos de Pavimentos

Los pavimentos se dividen en:

Pavimentos Flexibles.

Pavimentos Rígidos.

Pavimentos Semirrígidos

a) Pavimento Flexible

Estructura que se caracteriza que, en la capa superior, la capa que se encuentra sobre la base o la que estará en contacto con los neumáticos, tenga un revestimiento asfáltico (Rico Castillo & Del Castillo, 2010).

Así mismo, el Manual de Carreteras: Suelos, geología, geotecnia y Pavimentos (2014), define al pavimento flexible como una estructura cuya composición se basa en capas granulares (base y subbase) y una capa de rodadura la cual tiene materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y algunas ocasiones, aditivos.

b) Pavimento Rígido

A diferencia del pavimento flexible el pavimento rígido se caracteriza por tener una capa superficial muy rígida que es una losa de concreto hidráulico.

Esta capa de concreto permite a través de toda su superficie “distribuir las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores” (Miranda, 2010, p. 9). Esta capa se caracteriza porque distribuyen las cargas verticales, de los neumáticos, sobre un área grande y con presiones muy reducidas (Rico Castillo & Del Castillo, 2010)

Está compuesta principalmente por una subbase o base granular, y la capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y algunos casos aditivos. Existen 3 categorías: Pavimento de concreto simple con juntas, con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas y con refuerzo continuo (MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, 2014).

c) Pavimento Semirrígido

Este tipo de pavimento se caracteriza porque combina el pavimento flexible y el pavimento rígido (Rico Castillo & Del Castillo, 2010).

2.3.5. Factores a considerar en el diseño de pavimento

De acuerdo al método de AASHTO 93 son necesarios los siguientes factores para el diseño del pavimento (MTC, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos, 2014):

Estudios de tráfico

Estudios de mecánica de suelos

El clima

De acuerdo al método mecanístico empírico tenemos:

Este método se desarrolla principalmente a base de iteraciones mediante el análisis de los indicadores del deterioro del pavimento durante un periodo de diseño dado y no de los espesores de las capas del pavimento (Loyola García & Navarro Ríos , 2017).

Para el diseño de pavimentos nuevos, mediante la metodología MEPDG, se basa principalmente en 3 etapas: evaluación, análisis y estrategia. En la evaluación empezaremos por los datos de entrada para el diseño, los cuales son el análisis del clima y medio ambiente (temperatura y humedad), análisis de materiales nuevos (para esta investigación específicamente la mezcla asfáltica) y el análisis de tráfico (clasificación y volumen del camión, distribución de la carga por eje y proyecciones). Para el diseño y análisis de pavimentos nuevos, haremos investigaciones locales como lo son los sondeos, ensayos de campo, ensayos de suelos, cambio de volumen y levantamiento por heladas de ser el caso. Luego se seleccionarán las estrategias de diseño de prueba de pavimento a través de un modelo de respuesta del pavimento, en el cual se calcularán los esfuerzos, deformaciones y deflexiones. En base a esto, calcularemos el daño incremental y las funciones de transferencia de falla (helamiento, escalonamiento, fisuración relacionado o no relacionado con la carga, etc.), para después evaluar la rugosidad y el IRI y verificar si se cumplieron los criterios de diseño, de lo contrario se modificarían las características de diseño y de los materiales (Maximiliano Velasquez, 2016).

Finalmente, se elige una alternativa de diseño viable, la cual tiene que tener en cuenta el análisis de ingeniería y contractibilidad y el análisis de costo de vida (Maximiliano Velasquez, 2016).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

De acuerdo a Landeau R. (2007), este proyecto se orienta a la investigación del tipo aplicada porque aplica conocimientos de los métodos ya establecidos, también es descriptivo porque utiliza métodos como la observación, estudios correlacionales, de desarrollo, etc., es cuantitativo porque se centra fundamentalmente en los aspectos observables y susceptibles de cuantificación de los fenómenos.

3.2. Diseño de investigación

De acuerdo a Hernández R., Fernández C. & Baptista Pilar (2010), esta investigación sería del tipo no experimental, transeccional y descriptivo, porque se busca estudiar los métodos AASHTO 93 y Mecánico Empírico, para establecer cuál de los dos se ajusta más a la realidad de la carretera MO – 107 de Moquegua, para ser utilizado en ella.

3.3. Población y Muestra

Población:

Carreteras con pavimentos flexibles, cuyo lugar tiene características similares (clima, tráfico, suelo) a la de la carretera MO – 107.

Muestra:

31.0 Km. de la carretera MO-107. (Tramo sin asfaltar). Los primeros 21 km será pavimentado por la minera Quellaveco por el motivo que le permitirá retirar su mineral hasta la Panamericana Sur y desde aquí hasta el puerto de Ilo; del km 21 al km 52 se encuentra a nivel de afirmado y los último 32.6 km se encuentra asfaltado y es parte de la vía de Toquepala – Camiara.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el estudio de suelos se utilizará la técnica de calicatas por km de acuerdo a lo establecido por el MTC, las mismas que permitirán obtener una muestra de suelo y a través del ensayo en laboratorio (instrumento) se analizará la muestra obteniendo los diferentes parámetros.

Estudio de Tráfico: Se realizará un conteo in situ en puntos establecidos de entrada y salida de la vía, siendo mínimamente una semana. Se clasificarán los datos de acuerdo al tipo de unidades registradas en el conteo.

3.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.5.1. Aspectos Generales

Para hallar los espesores del pavimento se requiere conocer los:

Serviciabilidad Inicial (Po) y Final (Pt)

Confiabilidad de diseño: Niveles de confiabilidad

Desviación Standard: Condiciones de diseño

Módulo Resiliente de la Subrasante

Coefficiente de Drenaje: Calidad de drenaje

Numero estructural: Coeficientes estructurales.

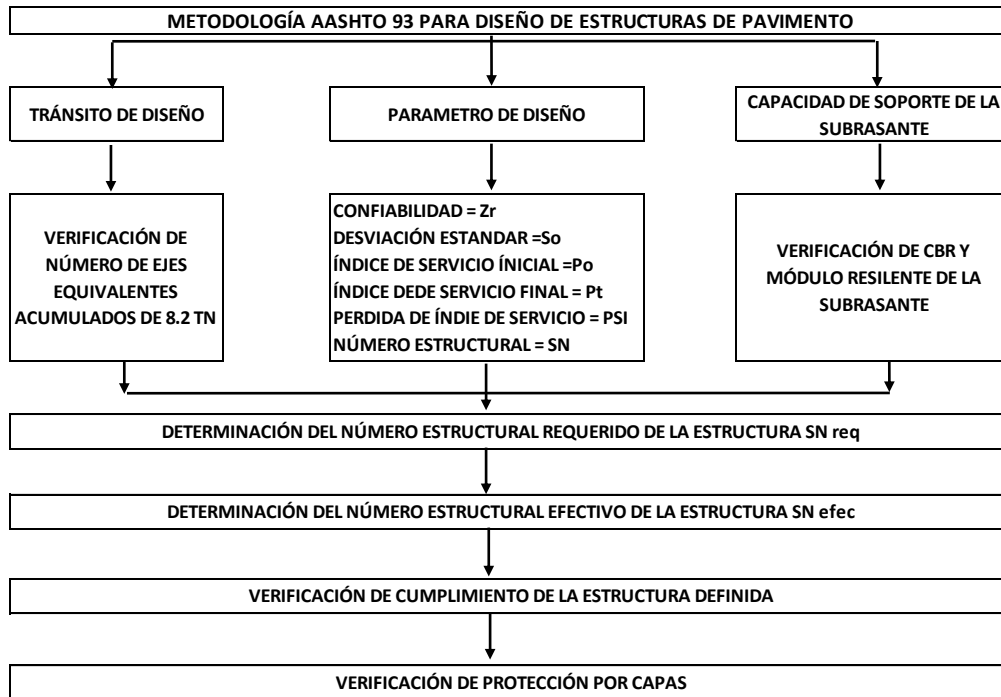


Figura 1 Metodología para calcular espesor de pavimento Flexible – AASHTO 93

Fuente: Diseño de la estructura de Pavimento Flexible (Salamanca, 2016)

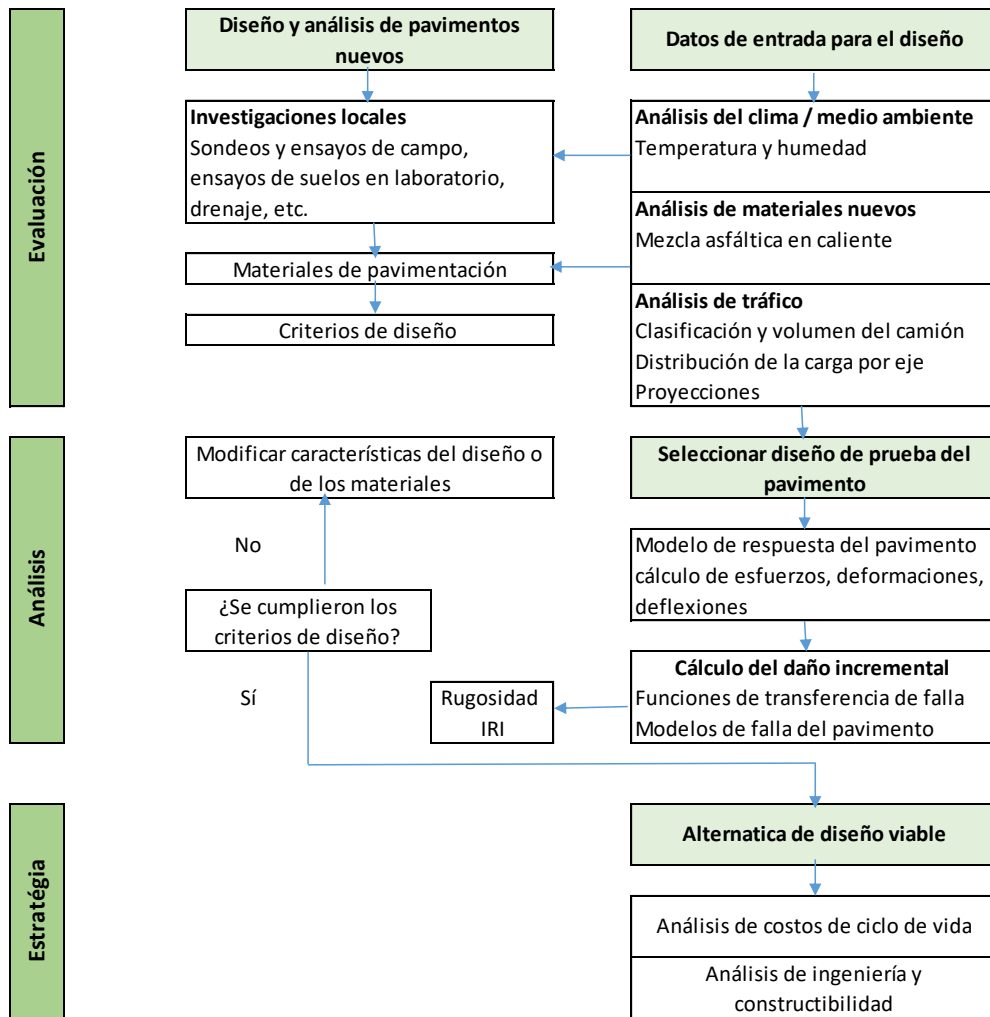


Figura 2 Metodología para el diseño de pavimentos flexibles por el método empírico mecánico AASHTO 2008

Fuente: Chang, 2011

A continuación, se presentará todo el procedimiento para el diseño de pavimentos flexibles para ambos métodos, esto en función a su guía respectiva.

3.5.2. Diseño por el Método AASHTO 93

Para realizar un adecuado diseño, sin dejar de lado la pericia y la objetividad de proyectista, evaluara los siguientes parámetros de diseño (AASHTO 93):

- Confiabilidad (R)
- Servicialidad
- Análisis de tráfico
- Periodo de diseño
- Drenaje (*m*)
- Número Estructural (SN)

3.5.2.1. Confiabilidad (R)

Se establece como la probabilidad de que un pavimento desarrolle su vida útil en condiciones adecuadas para su operación.

Este factor indica que de acuerdo al tráfico de diseño estará garantizada un nivel de garantía en el que las secciones de la “estructura del pavimento no fallaran durante el período considerado para el diseño” (Montejo, 2002).

De acuerdo a la guía de diseño AASHTO 93 establece una serie de niveles de confiabilidad para diferentes tipos de vías en función a su uso o afluencia de tráfico estimada:

Tabla 7
Niveles de confiabilidad sugeridos (AASHTO 93)

Clasificación	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Carretera Interestatal	85% - 99%	80% - 99%
Arterias Principales	80% - 99%	75% - 95%
Colectores	80% - 95%	75% - 95%
Local	50% - 80%	50% - 80%

Fuente: Manual AASHTO 93

3.5.2.2. Servicialidad

No es otra cosa que la calidad de servicio del pavimento.

Su índice varía en un rango entre 0 (carretera en muy mal estado, imposible de transitar) y 5 (carreteras en perfectas condiciones).

La servicialidad inicial vendría hacer el Índice de Servicialidad Presente (PSI), que se obtienen “midiendo la rugosidad y daño en un tiempo particular durante la vida de servicio” (Coronado, 2002).

Otro parámetro que se genera de la confiabilidad es la Desviación Estándar Normal (Z_R), en el Tabla N° 8 se muestran diferentes niveles de confiabilidad y sus respectivas desviaciones estándar.

Tabla 8
Desviación Estándar, Z_R

Confiabilidad R, %	Desviación Estándar Normal, Z_R
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guía AASHTO 93

Los valores de servicialidad recomendados son:

Serviciabilidad inicial.

Po= 4,2 para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final

Pt= 2,5 o más para caminos principales.

Pt= 2,0 para caminos de tránsito menor

3.5.2.3. Periodo de diseño

Se define al periodo de diseño al tiempo que la estructura estará en servicio hasta antes de entrar a su primer mantenimiento o rehabilitación.

Tabla 9

Niveles sugeridos de confiabilidad R

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectores	80 - 95	75 - 95
Local	50 - 80	50 - 80

Fuente: Diseño Moderno de Pavimentos (Minaya, 2006)

3.5.2.4. Drenaje (mi)

Es un factor muy importante a la hora de realizar las evaluaciones de los parámetros en el diseño de pavimento, es un

factor determinante en su comportamiento de la estructura del pavimento.

De acuerdo al manual de AASHTO 93 presenta una serie de definiciones generales correspondientes a los diferentes niveles de drenaje.

Tabla 10
Condiciones de drenaje

Calidad de drenaje	Retiro de agua dentro de:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	el agua no drena

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.5. Número estructural (SN)

Está definido como el valor de resistencia de la estructura de un pavimento.

El método de llevar el número estructural (SN) a espesores por capa se da a través de la siguiente ecuación:

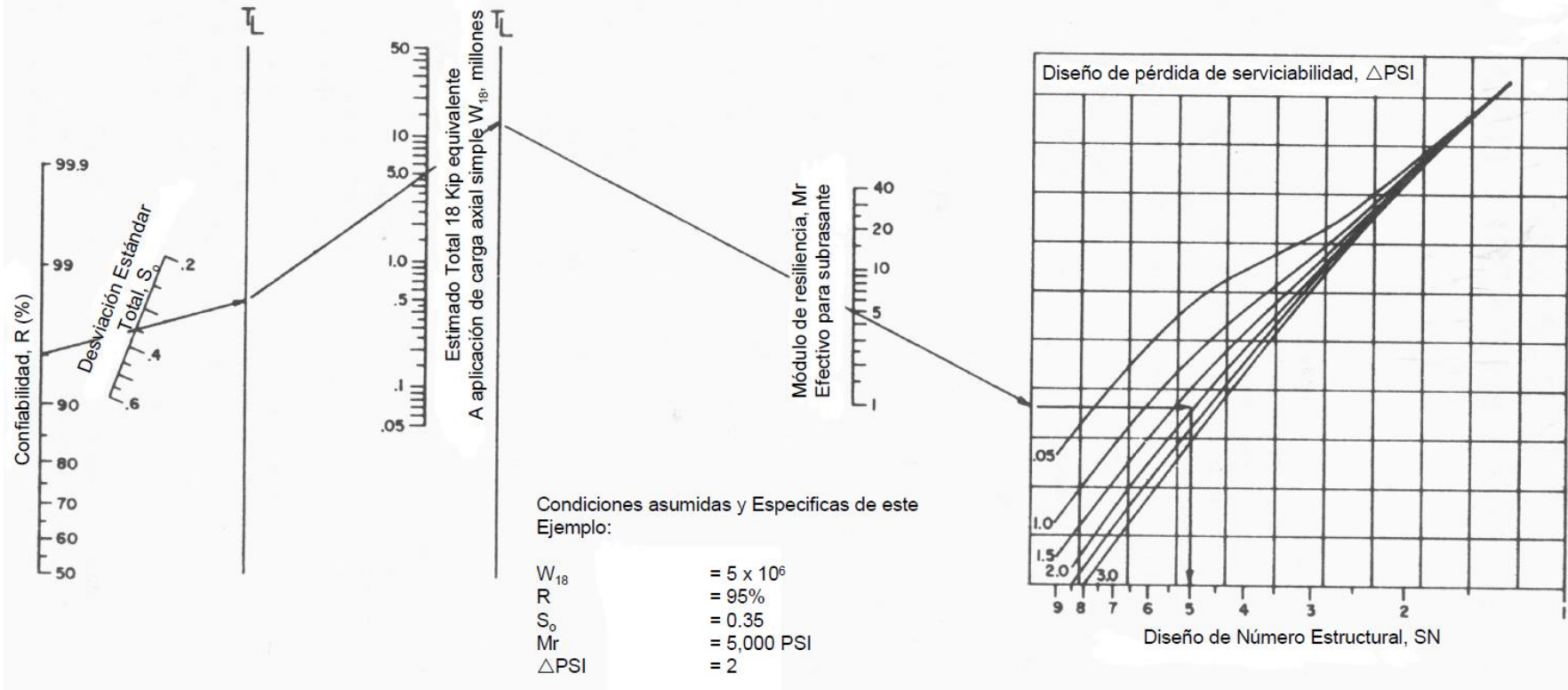
$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3 D_3m_3$$

Ecuación 01

El SN también se puede obtener a través un nomograma propuesto por la guía de diseño AASHTO 93.

Para un prediseño de la estructura se puede inferir o asumir un valor de $SN = 5$.

Diseño de Número Estructural



Solución:

SN = 5.0

Figura 3 Abaco para hallar SN

Fuente: Guía para diseño de pavimento flexible – AASHTO 93

3.5.2.6. Ecuaciones de diseño

Para poder determinar el espesor de la carpeta asfáltica necesaria para soportar las solicitaciones a las que será sometido el pavimento, la AASHTO desarrolló la siguiente ecuación, la cual se resuelve con ayuda de nomogramas presentados en su guía

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Figura 4 Ecuación AASHTO 93.
Fuente: Guía de diseño de AASHTO

Donde:

SN = Número estructural requerido por la sección de carretera

W18 = número de ejes equivalentes de 80 kN (18,000 lb), en el período de diseño.

ZR = desviación estándar normal (depende de la confiabilidad, R, de diseño)

So = error estándar por efecto del tráfico y comportamiento

ΔPSI = variación del índice de serviciabilidad.

MR = módulo resiliente de la subrasante medido en psi.

El número estructural requerido por el proyecto, SN, se convierte en espesores de carpeta asfáltica, base y sub base, mediante

coeficientes de capa que representan la resistencia relativa de los materiales de cada capa. La ecuación de diseño es la siguiente:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3 \quad \dots \text{Ecuación 01}$$

Donde:

a_i = coeficiente de la capa i (1/pulg.)

D_i = espesor de la capa i (pulg.)

m_i = coeficiente de drenaje de la capa i (adimensional)

Los subíndices 1, 2 y 3 se refieren a las capas de carpeta asfáltica, base y sub base (si se aplica) respectivamente. Los coeficientes de capa dependen del módulo resiliente del suelo (MR), se determinan empleando los conceptos esfuerzo-deformación de un sistema multicapa.

3.5.2.7. Selección del espesor de capa

El espesor de capa se procede después que se obtenga número estructural SN (generalmente 5 para prediseño), con ello se puede determinar los espesores de cada una de las capas del pavimento como son: sub base, base y asfalto, los cuales en conjunto la estructura de pavimento podrá soportar la carga que se le imponga.

La ecuación $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$ es la fórmula para poder convertir los SN en espesores de capa asfáltica, base y sub-base.

La guía AASHTO 93 para pavimentos también presenta una tabla con los espesores mínimos:

Tabla 11
 Espesores mínimos recomendados (AASHTO 93)

ESPESORES MINIMOS SEGÚN AASHTO 93 (mm)		
Tráfico, ESAL	Capa Asfáltica	Base granula
50000	25	100
50000-150000	50	100
150000-500000	62,5	100
500000-2000000	75	120
2000000-7000000	87,5	120
más de 7000000	100	120

Fuente: Elaboración propia

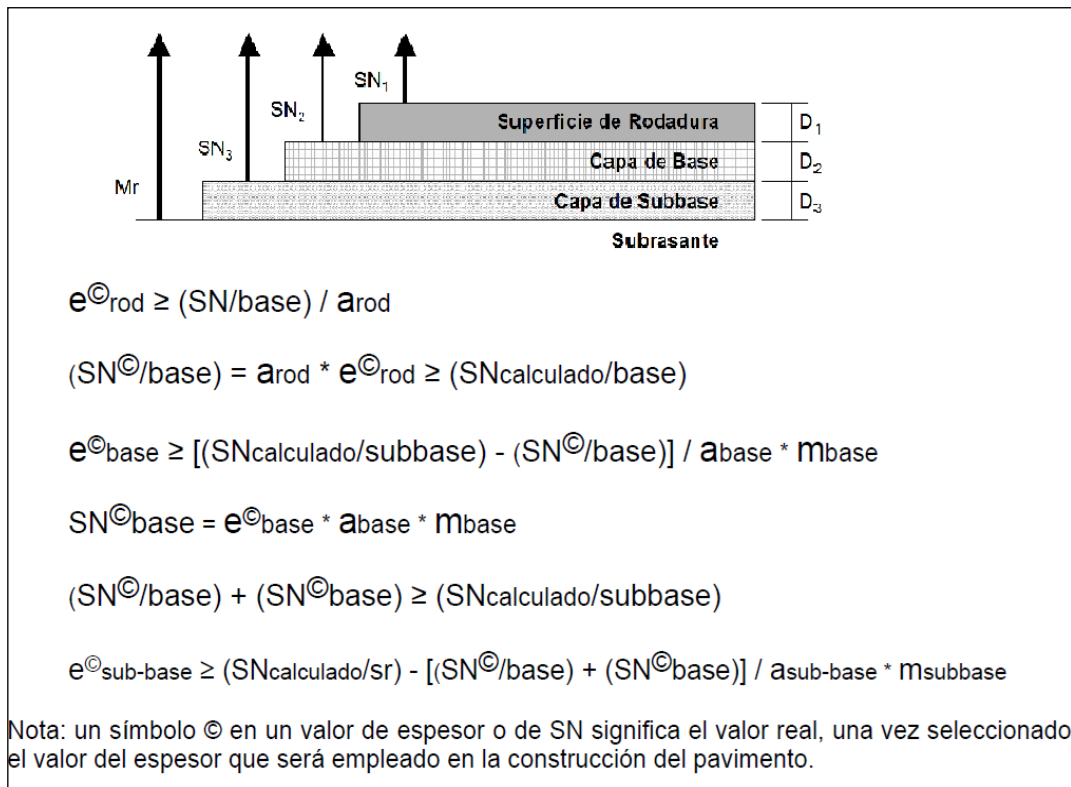


Figura 5 Procedimiento Método AASHTO-1993 para determinación de los espesores de capa.

Fuente: Guía para diseño de estructura de pavimento, AASHTO, 1993.

3.5.3. Diseño por el Método Mecanístico Empírico AASHTO 2008

Para el diseño del pavimento mediante este método, tenemos que establecer las variables que necesitaremos para poder desarrollarlo.

3.5.3.1. Caracterización del Tráfico

Para este diseño, necesitaremos caracterizar el tráfico, para lo cual tendremos que establecer los siguientes puntos (Jaña - Arellano, 2016):

- a) El volumen de tráfico, en base a un año de información.
- b) Los factores de ajuste de volumen de Tráfico:
 - El ajuste mensual.
 - Distribución por clase de vehículo.
 - Distribución de camiones por hora.
 - Factores de crecimiento de tráfico.
- c) Factores de distribución por eje de carga.
- d) Entradas generales de tráfico.
- e) Número de ejes/ camiones.
- f) Distancia entre ejes.

3.5.3.2. Caracterización Meteorológica

Para esta caracterización, necesitaremos la siguiente información:

Análisis del clima:

Para este punto, utilizaremos el modelo EICM (Enhanced Integrated Climatic Model), el cual realiza un análisis mecanicista en una dimensión utilizando variables como el calor, el flujo de humedad, y simula estos cambios en el comportamiento del pavimento (Jaña - Arellano, 2016).

a) Temperatura: Uno de los principales factores climáticos que afectan al rendimiento de la estructura del pavimento.

b) Viento.

c) Humedad: Los pavimentos flexibles son pocos susceptibles a la humedad, por lo que la consideración de este factor es discutible.

d) Nivel freático: Influye directamente en el módulo resiliente de las capas no ligadas del pavimento.

3.5.3.3. Caracterización de los materiales

En este punto, la investigación se centrará específicamente en los materiales bituminosos utilizado en la carpeta asfáltica del pavimento flexible y en las capas de estructura de subbase y base (Jaña - Arellano, 2016).

Luego de definir estas variables, tenemos que saber que existen dos métodos en pavimento flexibles para el diseño mecanístico empírico: Pueden ser tratados como teoría elástica lineal y multicapa (MLET) que se utilizan para establecer la respuesta del pavimento.

Un método con mucho análisis, teoría y velocidad computacional de análisis lineal de pavimentos. Por otro lado, tenemos un análisis no lineal, mediante el código del código de elementos finitos (Jaña - Arellano, 2016). En este proyecto utilizaremos el software MEPDG AASHTO 2008.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Presentación de Resultados por Variables

4.1.1. Geología y Geotecnia

Esta parte de la presentación de resultados corresponde al Marco Geológico, Estructural y Estudios Geológicos de la carretera MO 107 – TRAMO km 21+500 al km 52+217, el cual incluye el análisis de la información geológica y geomorfológica realizada en el área de estudio y se complementa con la información sectorizada de campo. Así mismo, se describen en el contexto Geológico local y regional, las condiciones litológicas, estructurales y tectónicas, de influencia en el corredor del proyecto, para proporcionar los elementos de diseño que garanticen la pavimentación.

En esta parte de la investigación, se pretende caracterizar a nivel sectorial las condiciones geológicas y estructurales de cada uno de los sectores de corte de la vía, como insumo para la definición del diseño de los pavimentos.

Como resultado de la evaluación geológica y geomorfológica del corredor, se realiza una sectorización en tramos homogéneos del corredor

de la vía teniendo en cuenta los siguientes criterios: Condiciones litológicas, estratigráficas a nivel de los cortes de excavación del proyecto Km 21+500 a 21+800: Sector comprendido entre la quebrada Calacaja que está compuesto de material cuaternario recientes, compuesto de bloques de rocas, gravas, arenas sueltas con matriz limosa.

- **Km 21+800 a 24+500:** Sector de corte comprendido de materiales de conglomerados, arenas semiconsolidados en forma de estratos, secuencias de gravas y arenas.
- **Km 24+500 a 26+600:** Sector conformado superficialmente de tobas volcánicas y conglomeradas con bloques estratificados de la formación millo.
- **Km 26+600 a 30+100:** Sector compuesto de material reciente cuaternario, de materiales grava suelta, bloques, arenas y limos de diferentes tamaños subredondeados.
- **Km 30+100 a 36+900:** Sector conformado de conglomerados sedimentarios de bloques y arenas de materiales cuaternarios, también superficialmente compuesto de tobas volcánicas de color pardo rojizo con cenizas volcánicas.
- **Km 36+900 a 37+800:** Sector conformado de materiales recientes constituido de gravas, bloques, arenas y limos de sectores de acumulaciones recientes.
- **Km 37+800 a 40+200:** Sector de materiales de secuencias de estratificación sedimentarias de conglomerados, arenas y limos semiconsolidados.

- **Km 40+200 a 45+200:** Sector compuesto de tobas volcánicas con intercalaciones de conglomerados que se superponen. Esto comprende a la formación millo.
- **Km 45+200 a 52+217:** Sector compuesto de materiales sedimentarias como conglomerados, gravas, limos arcillas semiconsolidadas. Los materiales son depósitos cuaternarios.

En lo que respecta a la parte estructural y tectónica, en el km 36+900 se encuentra una falla local que interceptan los tubos volcánicos y los conglomerados y gravas:

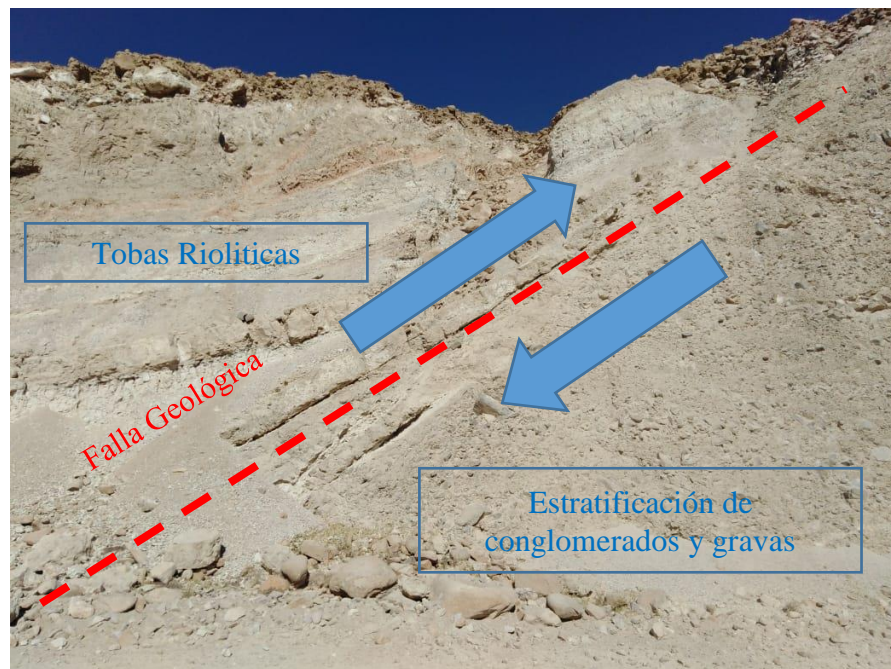


Figura 6 Falla local en km 36+900
Fuente: Elaboración Propia.

Debido a que esta es la presentación de los resultados, el informe completo se encuentra en Anexos: Marco Geológico y Estudio Geológico De La Carretera Mo – 107 Moquegua.

4.1.2. Estudio de Mecánica de Suelos

El presente estudio tiene como finalidad la determinación de las características físicas y mecánicas del estrato que conforman el suelo de la carretera comprendida entre las progresiva 21+500 (desvío Quellaveco) hasta la progresiva 52+217 (empalme con carretera Toquepala), teniendo una longitud total de 30 717 km.

Los objetivos del presente estudio son:

- Determinar la naturaleza y propiedades físicas y mecánicas de los estratos conformantes del terreno de fundación.
- Determinar las columnas estratigráficas de las calicatas.
- Determinar las características de carga del suelo con fines de cimentación.
- Sectorizar el tramo de la vía por características similares con mayor relevancia la capacidad de soporte.

Las Fases del estudio fueron:

- Fase 1: Ubicación de Calicatas.
- Fase 2: Apertura de Calicatas.
- Fase 3: Trabajo de campo y recolección de muestras.
- Fase 4: Ensayos de laboratorio.
- Fase 5: Trabajo en gabinete.
- Fase 6: Elaboración del Informe técnico.

Se ejecutaron un total de 30 calicatas a cielo abierto, las cuales fueron realizadas con herramientas manuales a una profundidad promedio de 0.35 m.

Tabla 12
Ubicación y Coordenadas de Calicatas

CUADRO DE UBICACIÓN Y COORDENADAS DE CALICATAS						
TRAMO	CALICATA	KM	TRAMOS		COORDENADAS	
		MUESTRA	INICIO	FIN	INICIO	FIN
I	C-1	21+760	21+500	22+150	8096313.446	306564.887
	C-2	22+730	22+150	22+950	8095711.493	306594.765
	C-3	23+450	22+950	24+050	8095662.396	306975.018
	C-4	24+800	24+050	25+100	8095516.736	307421.809
	C-5	25+530	25+100	26+200	8094947.014	307443.215
	C-6	26+350	26+200	27+980	8094615.251	307939.875
	C-7	28+330	27+980	29+020	8093514.779	308293.500
	C-8	29+750	29+020	30+050	8093465.698	309555.288
	C-9	30+770	30+050	31+150	8093081.118	309946.019
	C-10	31+460	31+150	32+300	8093474.901	310495.854
II	C-11	32+700	32+300	33+010	8093363.087	311040.829
	C-12	33+820	33+010	34+100	8092729.754	311574.113
	C-13	34+470	34+100	35+060	8092075.466	311689.765
	C-14	35+920	35+060	36+600	8090788.858	312153.005
	C-15	36+990	36+600	37+210	8090914.061	312330.736
	C-16	37+660	37+210	37+890	8090641.613	312868.729
	C-17	38+330	37+890	38+990	8090128.684	313087.557
	C-18	39+100	38+990	40+030	8089870.508	313227.905
	C-19	40+620	40+030	41+100	8089677.565	313769.179
	C-20	41+660	41+100	42+080	8088928.760	314215.835
III	C-21	42+520	42+080	43+100	8088212.871	314534.579
	C-22	43+650	43+100	43+900	8087151.005	314242.765
	C-23	44+410	43+900	45+060	8086415.666	314404.049
	C-24	45+820	45+060	46+030	8086536.310	314898.310
	C-25	46+390	46+030	47+120	8087063.335	315070.351
	C-26	47+770	47+120	48+350	8087111.481	315260.819
	C-27	48+950	48+350	49+110	8086380.393	316417.229
	C-28	49+480	49+110	50+010	8086437.506	316839.022
	C-29	50+830	50+010	51+040	8086195.636	317336.692
	C-30	51+880	51+040	52+217	8086056.166	318002.279

Fuente: Elaboración Propia.

Los ensayos de laboratorio que se realizaron fueron:

- Granulometría por tamizado - ASTM-D422
- Clasificación de suelos - ASTM-D2487

- Humedad Natural - ASTM-D2216-92
- Límites de Atterberg - ASTM-D423 – D424
- Relación humedad / Densidad - ASTM – 1557
- Peso específico de sólidos - ASTM-C-127
- Corrección de peso unitarios - ASTM-D-4718
- Densidad in situ - ASTM-D-1556
- Materia Orgánica - ASTM- C-40
- Capacidad de soporte CBR - ASTM-D-1883
- Corte Directo - ASTM-D3080
- Coeficientes de empuje de suelo

Así mismo, la conformación del suelo se obtuvo mediante el análisis de la estratigrafía vista en las calicatas, las cuales se presentan a continuación:

- **TRAMO I KM 21+500 A KM 31+150**
 - ✓ Color: Marrón claro
 - ✓ Humedad: 3,5% Promedio
 - ✓ Nivel freático: No encontrado
 - ✓ Plasticidad: No presenta
 - ✓ TM: 3”
 - ✓ Bolonería: No presenta
 - ✓ Materia Org. : No presenta
 - ✓ CBR: 55 % promedio
 - ✓ Partícula: Angular
 - ✓ Tipo: Grava pobremente gradadas.

- ✓ Espesor: 0,35 m

Este sector se mantiene en mejores condiciones, la capa evaluada es rígida con una compactación media superior al 90%.



Figura 7 Vista General del Tramo I Km 21+500 A Km 31+150

Fuente: Elaboración Propia.

- **TRAMO II KM 31+150 A KM 36+60**

- ✓ Color: Gris claro
- ✓ Humedad: 5,5% Promedio
- ✓ Nivel freático: No encontrado
- ✓ Plasticidad: Baja plasticidad
- ✓ TM: 3 1/2"
- ✓ Bolonería: No presenta
- ✓ Materia Org. : No presenta
- ✓ CBR: 45 % promedio
- ✓ Partícula: Angular y sub angular

- ✓ Tipo: Grava limosas
- ✓ Espesor: 0,35 m

Este sector se mantiene en mejores condiciones, la capa evaluada es rígida con una compacidad media superior al 90%



Figura 8 Vista General del Tramo II KM 31+150 A KM 36+60

Fuente: Elaboración Propia.

- **TRAMO III KM 36+600 A KM 52+217**

- ✓ Color: Marrón claro
- ✓ Humedad: 4,5% Promedio
- ✓ Nivel freático: No encontrado
- ✓ Plasticidad: No presenta
- ✓ TM: 3”
- ✓ Bolonería: No presenta
- ✓ Materia Org.: No presenta
- ✓ CBR: 65 % promedio

- ✓ Partícula: Angular
- ✓ Tipo: Grava pobremente gradadas con limo.
- ✓ Espesor: 0,35 m

Este sector se mantiene en mejores condiciones, la capa evaluada es rígida con una compactación media superior al 90%.



Figura 9 Vista General del Tramo III Km 36+600 A Km 52+217

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación, se mostrará un Tabla resumen de las calicatas, en el que podemos apreciar la clasificación AASHTO, SUCS, y el CBR obtenido en los ensayos de laboratorio.

Tabla 13

Resumen del Estudio de Mecánica de Suelos

Calicata	Clasificación		C.B.R.			
	AASHTO	SUCS	0.1"		0.2"	
			C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)	C.B.R. al 100% de M.D.S. (%)	C.B.R. al 95% de M.D.S. (%)
C-01	A-1-a (0)	GP-GM	97,20	67,50	103,10	72,80
C-02	A-1-a (0)	GP-GM	77,40	52,70	83,50	57,60
C-03	A-1-a (0)	GP-GM	73,60	50,10	79,30	54,80
C-04	A-1-a (0)	GP-GM	74,90	51,00	80,80	55,80
C-05	A-1-a (0)	GP-GM	75,70	51,50	81,60	56,40
C-06	A-1-a (0)	GP-GM	79,40	54,10	85,60	59,20
C-07	A-1-a (0)	GP-GM	76,30	52,00	82,20	56,80
C-08	A-1-a (0)	GP-GM	77,80	51,90	83,90	56,80
C-09	A-1-a (0)	GP-GM	87,40	58,30	94,20	63,80
C-10	A-2-4 (0)	GM	67,40	45,10	72,60	49,30
C-11	A-2-4 (0)	GM	64,10	42,90	69,00	46,80
C-12	A-2-6 (0)	GM	64,70	43,30	69,70	47,30
C-13	A-2-6 (0)	GM	66,30	44,30	71,50	48,40
C-14	A-2-4 (0)	GM	65,70	43,90	70,70	48,00
C-15	A-2-4 (0)	GM	103,20	68,80	111,40	75,40
C-16	A-2-4 (0)	GM	94,90	63,30	102,40	69,30
C-17	A-2-4 (0)	GM	95,10	63,50	102,60	69,50
C-18	A-2-4 (0)	GM	96,40	64,30	104,00	70,40
C-19	A-2-4 (0)	GM	97,60	65,10	105,20	71,20
C-20	A-1-a (0)	GM	92,00	61,30	99,20	67,10
C-21	A-2-4 (0)	GM	90,10	60,10	97,20	65,80
C-22	A-2-4 (0)	GM	99,10	66,10	106,90	72,30
C-23	A-2-4 (0)	GM	102,00	68,00	110,00	74,50
C-24	A-2-4 (0)	GM	96,90	64,70	104,60	70,80
C-25	A-2-4 (0)	GM	92,10	61,50	99,40	67,30

Fuente: Elaboración propia.

Luego de presentar los resultados, tenemos algunas conclusiones y recomendaciones en lo que respecta al estudio de suelos en general:

- En las calicatas de los tramos I, II y II; no se ha encontrado la capa freática, se debe tener en cuenta la caracterización climatológica de la

zona y un análisis adicional de permeabilidad en caso de usar dicha capa expuesta a tráfico.

- El suelo de los tramos I, II y III tiene una capacidad de soporte reducida entre 4 a 4,5 kg/cm² (promedio), el diseñador es libre de tomar la carga última y reducirla según su necesidad.
- Se ha realizado 30 calicatas a cielo abierto con una profundidad de 0,35 m, esto en relación a un área y longitud de liberación del terreno de aproximadamente 30 km, las calicatas fueron distribuidas dentro de sus áreas tributarias representativas.
- La finalidad de construcción de obras de pavimentación u obras de artes de control de aguas u sostenimiento queda a responsabilidad del contratante del servicio del Estudio de Mecánica de Suelos (EMS).
- El suelo en mención está como un suelo trabajado o suelo artificial, la capa de estudio ha sido procesada como una superficie provisional de tráfico, con materiales de cantera.
- Se recomienda fundar sobre terreno firme (natural), pues las consideraciones de diseño se hicieron considerando la densidad natural del terreno.
- Por la existencia de humedad natural en el terreno de fundación se recomienda tomar las previsiones del caso en la producción del concreto, utilizar aditivos especiales, impermeabilizantes, aditivos para inhibir la corrosión del acero de refuerzo en el concreto expuesto a constante humedad, y a la protección del mismo concreto ante ataques químicos. Se recomienda el empleo de cemento Tipo IP, para la elaboración de

concreto, solamente para estructuras enterradas, estructuras al aire libre se podrá emplear cemento Tipo I (ASTM C150) o IP (ASTM C595).

- En la ejecución de la obra se debe contar con un técnico laboratorista en el tiempo que dure la obra, para garantizar la calidad de agregados y materiales y un adecuado control de calidad. 9. Las conclusiones y recomendaciones del presente EMS, son solo aplicables al área establecida según el alcance del estudio.

4.1.3. Estudio de Tráfico Vial

El estudio de tráfico vial tiene como objetivo general proyectar el flujo de tráfico entre los km. 21+500 a Km. 52+217 en función al estudio ya realizado por la minera Quellaveco en los primeros 23,5 km. Debido a la proximidad al área de estudio, toda la información será extraída de la estación E2.

Los objetivos del presente estudio son:

- Determinar la composición y características del flujo vehicular.
- Determinar los factores destructivos del censo de carga.
- Determinar la demanda o volumen de tráfico (IMD) en términos de ejes equivalentes (EE) para un periodo de 25 años.

A continuación, se mostrarán los valores obtenidos por la estación E2, los cuales serán utilizados para proyectar el tráfico existente en los Km. 21+500 a Km 52+217.

Tabla 14

Factores de Corrección Estacional para determinación de IMD

Estaciones de Conteo	Factor de Corrección Estacional*		Referencia*
E1 Km 1+500 E2 Km 11 +300	Vehículos Ligeros	0,868989	Peaje de Puente Montalvo, Mes de Diciembre
	Vehículos Pesados	0,880087	

Fuente: OGP – MEF.

Tabla 15

Tráfico Generado por el proyecto Quellaveco - índice medio diario anual

Tipo de Vehículo		IMD 2014
Vehículos ligeros	Pick up	94
Buses	B2	16
Camiones	C2E	1
	C3E	1
Articulados	3S3	208
IMDA		320

Fuente: Informe Técnico “Estimación vehículos/día camino Moquegua –Papujune Tramo II. MQ07-RE-000-CE003_RC

Tabla 16

Tráfico normal o existente: índice medio diario anual Sector 2, estación E2 Km 11+300

Tipo de vehículo		IMD Diciembre 2011
Vehículos Ligeros	Autos	4
	Pick up	11
	C.R.	0
	Micros	0
Buses	B2E	0
	B3E	0
	B4E	0
Camiones	C2E	1
	C3E	0
	C4E	0
Articulados	2S2	0
	2S3	0
	3S2	0
	3S3	0
Acoplados	2T2	0
	2T3	0
	3T2	0
	3T3	0
	E7	0
IMD existente		16

Fuente: Elaboración propia.

El tráfico proyectado (IMDA) para estimar los ejes equivalentes corresponde a la suma del tráfico generado por el proyecto Quellaveco Tabla N°15 y el tráfico normal o existente Tabla N°16 en el sector 2. El IMDA proyectado para el sector 2 del Tramo I es de 336 veh/día cuya configuración se concentra en vehículos livianos, buses 2E, camiones C2E y C3E y articulados 3S3 y 3S2. El Tabla N°17 presenta el IMDA para el sector 2 (Km 5+500 – Km 23+264,36).

Tabla 17

Índice medio diario anual proyectado para el sector 2 de Tramo I

Tipo de vehículo		Estimaciones de vehículos
Vehículos Ligeros	Autos	
	Pick up	105
	C.R.	-
	Micros	-
Buses	B2E	16
	B3E	-
	B4E	-
	C2E	2
	C3E	1
	C4E	-
	2S2	-
	2S3	-
	3S2	-
	3S3	208
	2T2	-
	2T3	-
	3T2	-
	3T3	-
	E7	-
IMD proyectado		336

Fuente: Elaboración propia.

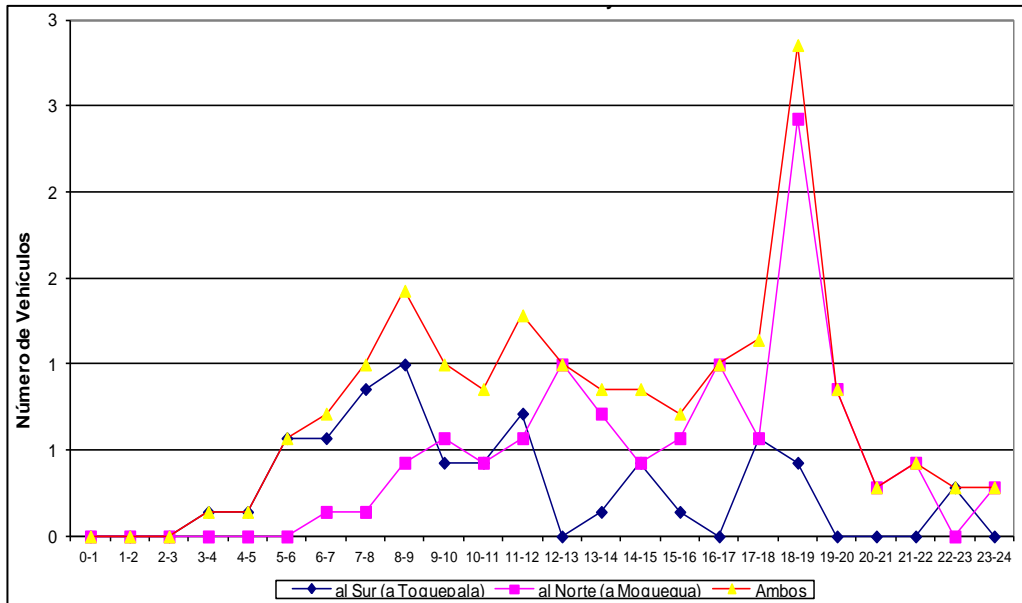


Figura 10 Variación horaria del promedio de vehículos– Estación E2 Km 11+300
Fuente: Elaboración propia.

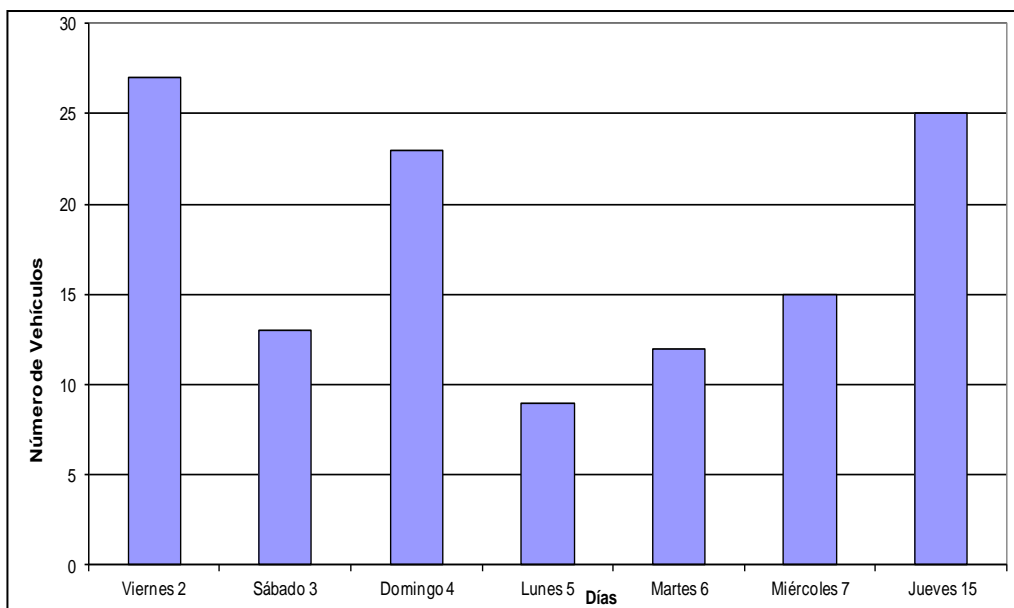


Figura 11 Variación diaria total de vehículos– Estación E2 Km 11+300
Fuente: Elaboración propia.

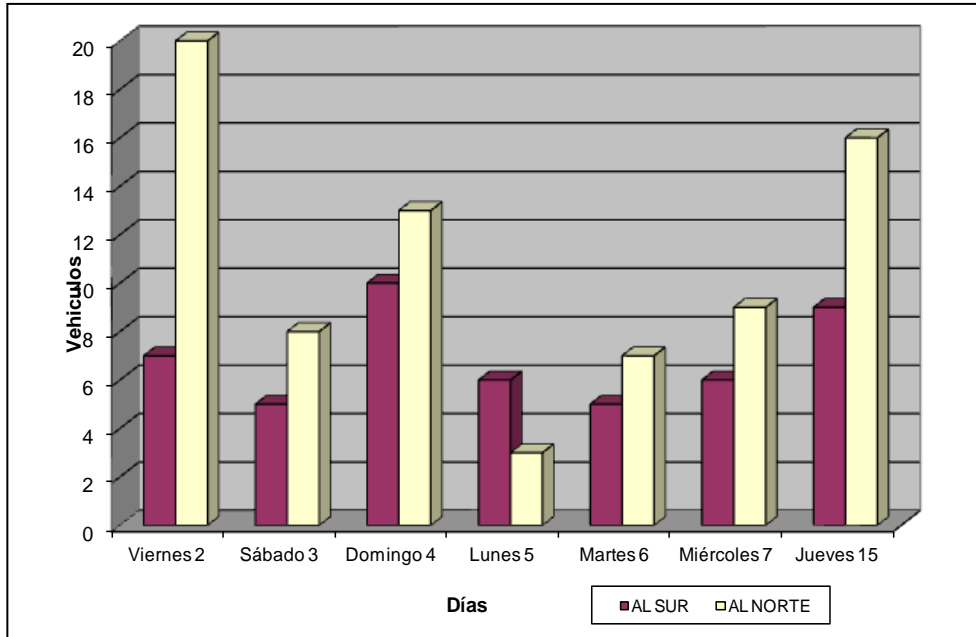


Figura 12 Conteo de vehículos– Estación E2 Km 11+300

Fuente: Elaboración propia.

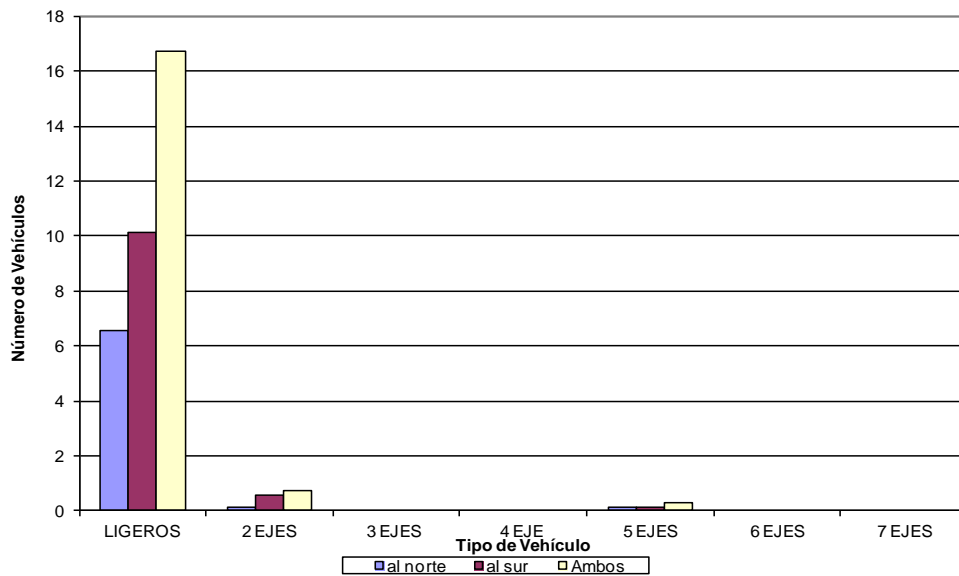


Figura 13 Clasificación vehicular promedio – Estación E2 Km 11+300Fuente: Elaboración propia.

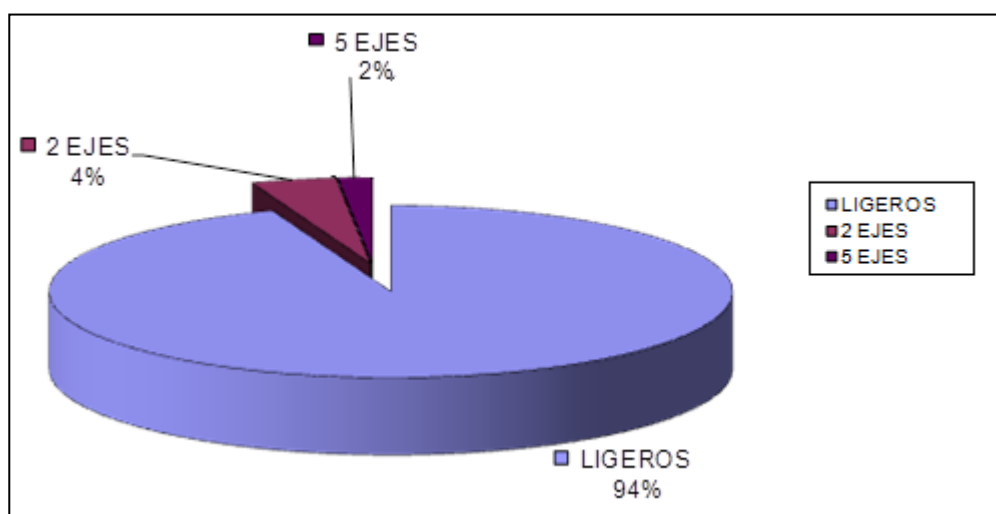


Figura 14 Distribución porcentual por tipo de vehículos – Estación E2 Km 11+300

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18

Factores de ajuste para vehículos en Tramo I (Tráfico existente y generado)

Tipo de vehículo	Tráfico existente	Tráfico generado por la mina
Bus 2Ea	1,85	1,85
C2E	0,19	2,75
C3E	1,014	2
Articulado 3S2	1,994	-
Articulado 3S3	3,26	6,281

Fuente: Elaboración propia.

Las encuestas origen – destino realizadas, confirman que el Tramo I presenta dos sectores homogéneos, el primero del Km 0+000 al Km 5+500 con un flujo de vehículos pesados representativo, y el segundo sector desde el Km 5+500 a Km 23+264,36 con un flujo de vehículos livianos principalmente.

El Cliente ha estudiado el tráfico generado en el Tramo I para la operación del proyecto Quellaveco, debido a la naturaleza minera del proyecto, ha determinado que no habrá un crecimiento del tráfico generado durante un período de diseño de 25 años. Por lo anterior, no se aplica tasa de crecimiento para este tramo.

ESTIMACIONES DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS Y PROYECCIÓN

Para la estimación de ejes equivalentes de 8,2 t se considera la construcción del pavimento durante el año 2013 por lo que el año 1 corresponde al 2014, a partir del cual se acumulan los ejes equivalentes culminando en el año 25 (2038). Adicionalmente, se contempla el inicio del tráfico minero a partir del año 2017.

En dicha estimación se requiere el volumen y la clasificación de tráfico, el número de camiones y buses y su composición de ejes y el crecimiento del tráfico (existente y generado) definido por las tasas de crecimiento de los vehículos pesados.

Tabla 19
Resumen ESALs acumulados proyectados para Tramo I

Año de proyección	ESALs Sector 1: Km 0+000 – Km 5+500	ESALs Sector 2: Km 5+500 – Km 23+264,36
2014 (año 1)	1,33E+04	0,00E+01
2018 (año 5)	5,23E+05	4,89E+05
2023 (año 10)	1,78E+06	1,71E+06
2028 (año 15)	3,04E+06	2,94E+06
2033 (año 20)	4,30E+06	4,16E+06
2038 (año 25)	5,58E+06	5,38E+06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Proyecciones de ESALs acumulados para Sector I: Km 0+000 – Km 5+500

CÁLCULO DEL N° DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES (8.2 Tn)

		Omnibus				Camiones					Semi Traylor					Traylor					Total	Acumulado	Total
		2E	2E mina ¹	3E	4E	2E	2E mina ¹	3E	3E mina ¹	4E	2S1/S2	2S3	3S1/S2	3S3	3S3 mina ²	2T2	2T3	3T2	3T3	E7			
Índice Medio Diario Anual ^a	2012	3	16	0	0	19	1	12	1	0	0	0	1	0	208	0	0	0	0	0	261		
Fc x Fp		1.8500	1.8500	0.0000	0.0000	0.1910	2.7500	1.0140	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.9940	3.2600	6.2810	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Tasa crecimiento ³ = R		3.87	0.00	3.87	3.87	3.87	0.00	3.87	0.00	0.00	3.87	3.87	3.87	3.87	0.00	3.87	3.87	3.87	3.87	3.87			
R/100 = r		0.039	0.000	0.039	0.039	0.039	0.000	0.039	0.000	0.000	0.039	0.039	0.039	0.039	0.000	0.039	0.039	0.039	0.039	0.039			
Factor de Crecimient		1.039	1.000	1.039	1.039	1.039	1.000	1.039	1.000	1.000	1.039	1.039	1.039	1.039	1.000	1.039	1.039	1.039	1.039	1.039			
Días del año		365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365			
IMDa x Fc x Fp x 365 / 2	2012	1,013	0	0	0	662	0	2,221	0	0	0	0	364	0	0	0	0	0	0	0	4,260	4,260	4.26E+03
	2013	1,052	0	0	0	688	0	2,307	0	0	0	0	378	0	0	0	0	0	0	0	4,425	8,684	8.68E+03
	2014	1,093	0	0	0	715	0	2,396	0	0	0	0	393	0	0	0	0	0	0	0	4,596	13,280	1.33E+04
	2015	1,135	0	0	0	742	0	2,489	0	0	0	0	408	0	0	0	0	0	0	0	4,774	18,054	1.81E+04
	2016	1,179	0	0	0	771	0	2,585	0	0	0	0	424	0	0	0	0	0	0	0	4,958	23,012	2.30E+04
	2017	1,225	5,402	0	0	801	502	2,685	365	0	0	0	440	0	238,427	0	0	0	0	0	249,846	272,858	2.73E+05
	2018	1,272	5,402	0	0	832	502	2,789	365	0	0	0	457	0	238,427	0	0	0	0	0	250,045	522,903	5.23E+05
	2019	1,321	5,402	0	0	864	502	2,897	365	0	0	0	475	0	238,427	0	0	0	0	0	250,252	773,156	7.73E+05
	2020	1,372	5,402	0	0	897	502	3,009	365	0	0	0	493	0	238,427	0	0	0	0	0	250,467	1,023,623	1.02E+06
	2021	1,425	5,402	0	0	932	502	3,125	365	0	0	0	512	0	238,427	0	0	0	0	0	250,691	1,274,314	1.27E+06
	2022	1,481	5,402	0	0	968	502	3,246	365	0	0	0	532	0	238,427	0	0	0	0	0	250,923	1,525,236	1.53E+06
	2023	1,538	5,402	0	0	1,006	502	3,372	365	0	0	0	553	0	238,427	0	0	0	0	0	251,164	1,776,400	1.78E+06
	2024	1,597	5,402	0	0	1,045	502	3,502	365	0	0	0	574	0	238,427	0	0	0	0	0	251,414	2,027,814	2.03E+06
	2025	1,659	5,402	0	0	1,085	502	3,638	365	0	0	0	596	0	238,427	0	0	0	0	0	251,674	2,279,488	2.28E+06
	2026	1,724	5,402	0	0	1,127	502	3,779	365	0	0	0	619	0	238,427	0	0	0	0	0	251,944	2,531,432	2.53E+06
	2027	1,790	5,402	0	0	1,171	502	3,925	365	0	0	0	643	0	238,427	0	0	0	0	0	252,225	2,783,657	2.78E+06
	2028	1,860	5,402	0	0	1,216	502	4,077	365	0	0	0	668	0	238,427	0	0	0	0	0	252,516	3,036,173	3.04E+06
	2029	1,931	5,402	0	0	1,263	502	4,235	365	0	0	0	694	0	238,427	0	0	0	0	0	252,819	3,288,991	3.29E+06
	2030	2,006	5,402	0	0	1,312	502	4,398	365	0	0	0	721	0	238,427	0	0	0	0	0	253,133	3,542,124	3.54E+06
	2031	2,084	5,402	0	0	1,363	502	4,569	365	0	0	0	749	0	238,427	0	0	0	0	0	253,459	3,795,584	3.80E+06
	2032	2,165	5,402	0	0	1,415	502	4,746	365	0	0	0	778	0	238,427	0	0	0	0	0	253,799	4,049,382	4.05E+06
	2033	2,248	5,402	0	0	1,470	502	4,929	365	0	0	0	808	0	238,427	0	0	0	0	0	254,151	4,303,533	4.30E+06
	2034	2,335	5,402	0	0	1,527	502	5,120	365	0	0	0	839	0	238,427	0	0	0	0	0	254,517	4,558,050	4.56E+06
	2035	2,426	5,402	0	0	1,586	502	5,318	365	0	0	0	871	0	238,427	0	0	0	0	0	254,897	4,812,947	4.81E+06
	2036	2,520	5,402	0	0	1,647	502	5,524	365	0	0	0	905	0	238,427	0	0	0	0	0	255,292	5,068,239	5.07E+06
	2037	2,617	5,402	0	0	1,711	502	5,738	365	0	0	0	940	0	238,427	0	0	0	0	0	255,702	5,323,941	5.32E+06
	2038	2,718	5,402	0	0	1,777	502	5,960	365	0	0	0	977	0	238,427	0	0	0	0	0	256,128	5,580,068	5.58E+06

^a = Vehículos Pesados

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Proyecciones de ESALs acumulados para sector 2: Km 5+500 – Km 23+264,36

CÁLCULO DEL N° DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES (8.2 Tn)

		Omnibus		Camiones				Semi Traylor					Traylor					Total	Acumulado	Total	
		2E mina ¹	3E	2E	2E mina ¹	3E	3E mina ¹	4E	2S1/S2	2S3	3S1/S2	3S3	3S3 mina ²	2T2	2T3	3T2	3T3				E7
Índice Medio Diario Anual ^a	2012	16	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	208	0	0	0	0	0	227		
Fc x Fp		1.8500	0.0000	0.1910	2.7500	1.0140	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.9940	3.2600	6.2810	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000			
Tasa crecimiento ³ = R		0.00	0.00	3.87	0.00	3.87	0.00	0.00	3.87	3.87	3.87	3.87	0.00	3.87	3.87	3.87	3.87	0.00			
R/100 = r		0.000	0.000	0.039	0.000	0.039	0.000	0.000	0.039	0.039	0.039	0.039	0.000	0.039	0.039	0.039	0.039	0.000			
Factor de Crecimiento		1.000	1.000	1.039	1.000	1.039	1.000	1.000	1.039	1.039	1.039	1.039	1.000	1.039	1.039	1.039	1.039	1.000			
Días del año		365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365	365			
IMDa x Fc x Fp x 365 / 2	2012	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00
	2013	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00
	2014	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00
	2015	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00
	2016	0	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00E+00
	2017	5,402	0	35	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,730	244,730	2.45E+05
	2018	5,402	0	36	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,732	489,462	4.89E+05
	2019	5,402	0	38	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,733	734,196	7.34E+05
	2020	5,402	0	39	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,735	978,930	9.79E+05
	2021	5,402	0	41	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,736	1,223,666	1.22E+06
	2022	5,402	0	42	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,738	1,468,404	1.47E+06
	2023	5,402	0	44	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,739	1,713,144	1.71E+06
	2024	5,402	0	45	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,741	1,957,885	1.96E+06
	2025	5,402	0	47	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,743	2,202,628	2.20E+06
	2026	5,402	0	49	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,745	2,447,372	2.45E+06
	2027	5,402	0	51	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,747	2,692,119	2.69E+06
	2028	5,402	0	53	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,749	2,936,867	2.94E+06
	2029	5,402	0	55	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,751	3,181,618	3.18E+06
	2030	5,402	0	57	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,753	3,426,371	3.43E+06
	2031	5,402	0	59	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,755	3,671,126	3.67E+06
	2032	5,402	0	62	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,757	3,915,883	3.92E+06
	2033	5,402	0	64	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,760	4,160,643	4.16E+06
	2034	5,402	0	66	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,762	4,405,405	4.41E+06
	2035	5,402	0	69	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,765	4,650,169	4.65E+06
	2036	5,402	0	72	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,767	4,894,937	4.89E+06
	2037	5,402	0	74	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,770	5,139,707	5.14E+06
	2038	5,402	0	74	502	0	365	0	0	0	0	0	238,427	0	0	0	0	0	244,770	5,384,477	5.38E+06

^a = Vehículos Pesados

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Diseño de Pavimento: AASHTO 93

- En función al estudio de volumen de tránsito determinar los parámetros necesarios para calcular el ESAL DE DISEÑO.
- Analizar los diferentes parámetros, del punto anterior, si se ajustan o no a valores indicados para hallar un ESAL
- Hallar los diferentes parámetros para determinar el SNr.
- Determinar los coeficientes: an y mn, en función a los CBR y el tipo de drenaje.
- Determinar los espesores de pavimento.
- Determinar los espesores mínimos en función al ESAL de Diseño.
- Formular espesores de pavimento en función a los dos últimos puntos anteriores.

Para este estudio Los valores de Ejes Equivalentes proyectados para el diseño del pavimento, de acuerdo al estudio realizado por el proyecto Quellaveco, considera para el año 2018 (año 10): 2,61E+06 Ejes Equivalentes Acumulados, la cual será el dato considerado para el diseño de pavimento del presente estudio.

De acuerdo al estudio de suelos se consideró 3 sub tramos:

Sub Tramo I Km 21+500 a Km 31+150

Sub Tramo II Km 31+150 A Km 36+600

Sub Tramo III Km 36+600 A Km 52+217

Los CBR para cada uno de estos sub tramos se obtuvo:

Tabla 22
CBR de las subrasantes de cada tramo

	SUB TRAMO	CBR
I	Km 21+500 a Km 31+150	54,3%
II	Km 31+150 A Km 36+600	43,9%
III	Km 36+600 A Km 52+217	65,1%

Fuente: Elaboración propia

**SUB TRAMO I: DETERMINACIÓN DEL N° ESTRUCTURAL Y
 ESPEORES DEL PAVIMENTO.**

Datos:

- Periodo de diseño: 10 años
- W_{18} : 2,94E+06
- R : 96%
- Z_r : -1,751
- S_o : 0,45
- P_o : 4,0
- P_f : 2,5
- **CBR_{sub Rasante} : 54,3%**

Usando la carta para determinar los coeficientes estructurales:

$$a_1 = 0,425$$

$$a_2 = 0,128$$

$$a_3 = 0,12$$

“Considerando el drenaje bueno y menos del 5% del tiempo total el pavimento estará expuesto a condiciones de humedad cercano a la saturación corresponde según la tabla del método AASHTO el valor de 1,15”

$$m_2 = 1,15$$

$$m_3 = 1,15$$

Determinado el M_r :

Por el ábaco (de la figura 1) tenemos:

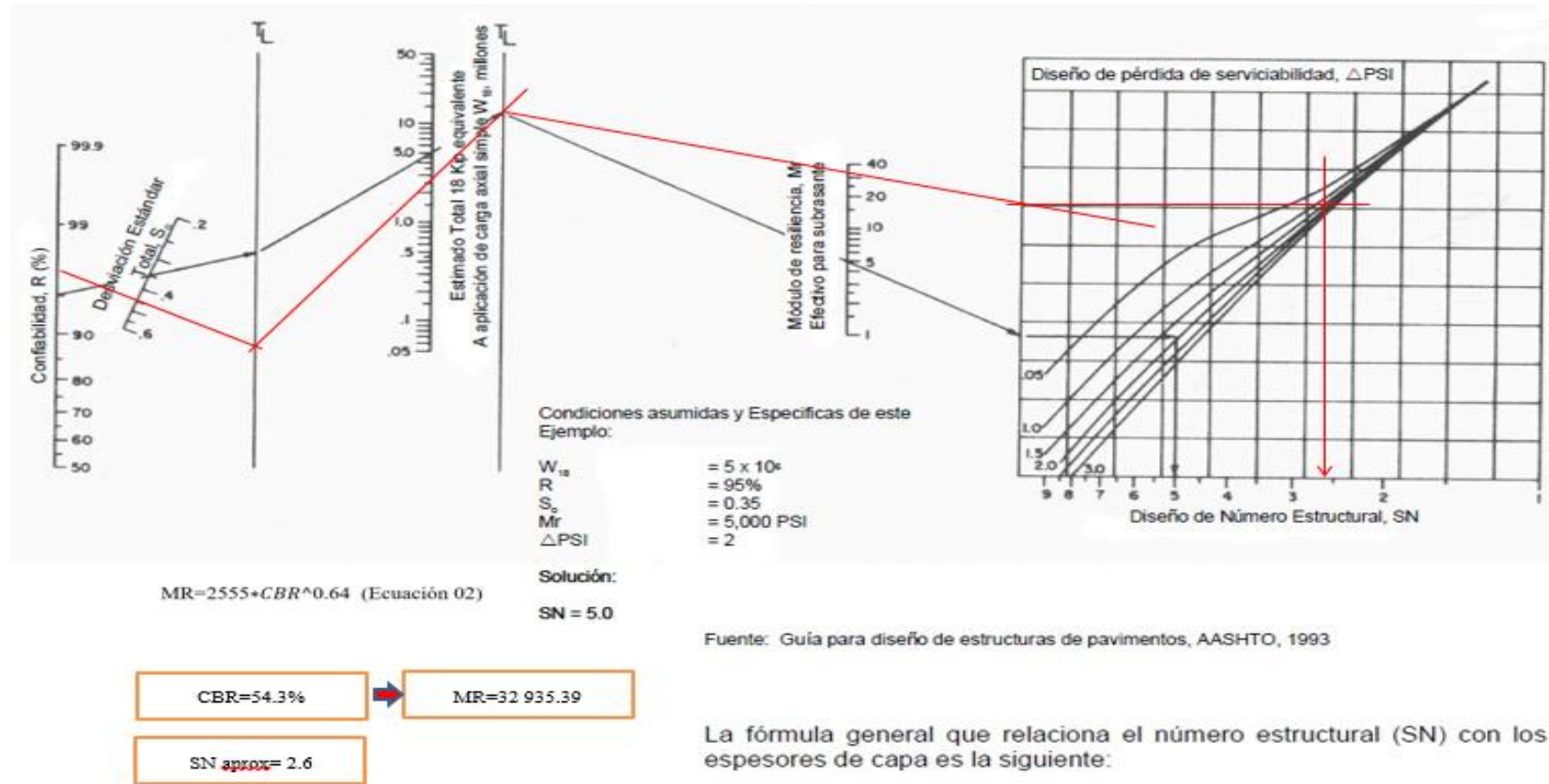


Figura 15 Abaco con parámetros para Sub Tramo I
Fuente: Propia

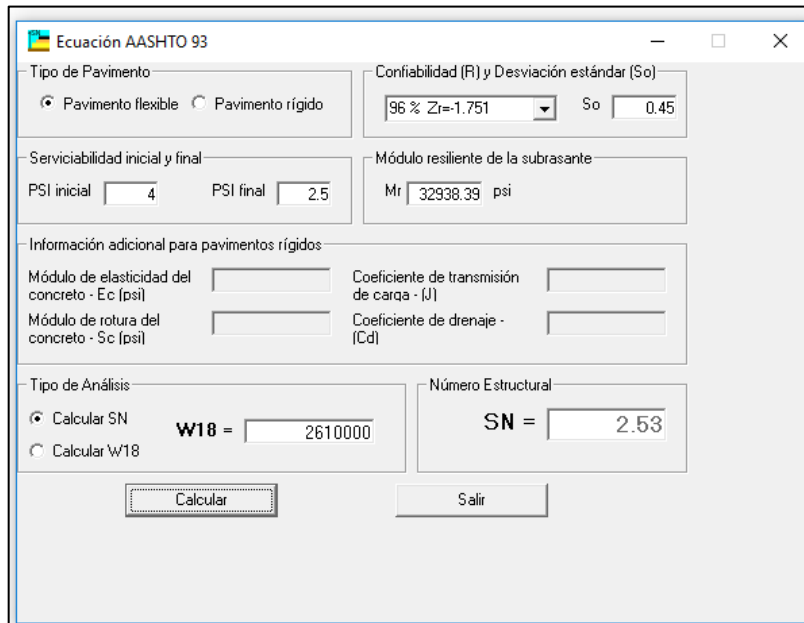


Figura 16 Cálculo de los espesores del pavimento del tramo 1 por el programa AASHTO 93
 Fuente: Elaboración propia.

D1=3,5 pulg. Espesor de carpeta asfáltica

D2=6,0 pulg. Espesor de base granular

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

Usando Software AASHTO 93 podemos obtener el SN requerido:

$SN \text{ requerido} = 2,53$

Entonces tenemos:

$$2,53 = (0,425) * 3,5 + (0,128) * (6) * (1,15) + (0,12) * D_3 * (1,15)$$

$$2,53 = 1,4875 + 0,8832 + 0,138 D_3$$

$$2,53 = 2,3707 + 0,138 D_3$$

$$D_3 = 1,15$$

Los espesores obtenidos son:

$$D1 = 3,5 \text{ Pulg.} = 9 \text{ cm}$$

$$D2 = 6,0 \text{ Pulg.} = 15 \text{ cm}$$

$$D3 = 1,15 \text{ Pulg.} = 2,92 \text{ cm}$$

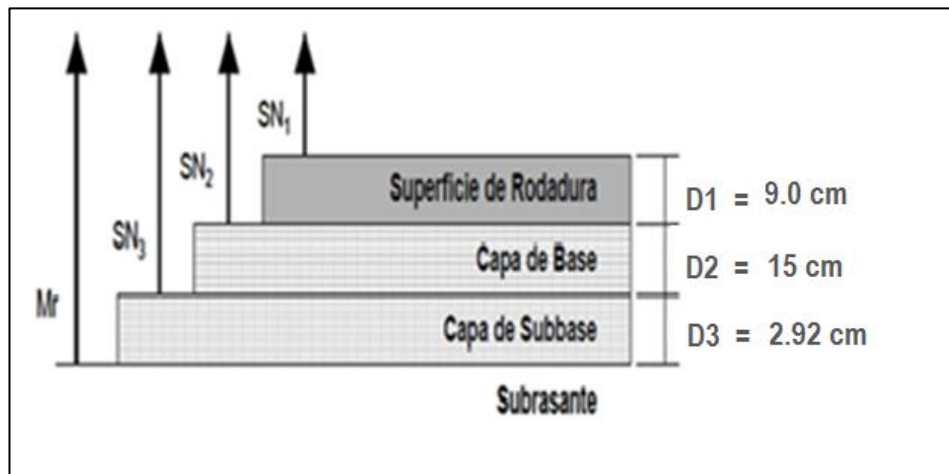


Figura 17 Espesores calculados del pavimento del tramo 1
Fuente: Elaboración propia.

Constructivamente conformar una capa de 2,92 cm no es posible, y la EG2013 tiene como tamaño máximo en la granulometría de subbase de 2", lo que te obliga a tener capas de mínimo 15 cm de espesor en esta capa.

Por lo tanto, tendríamos capas de:

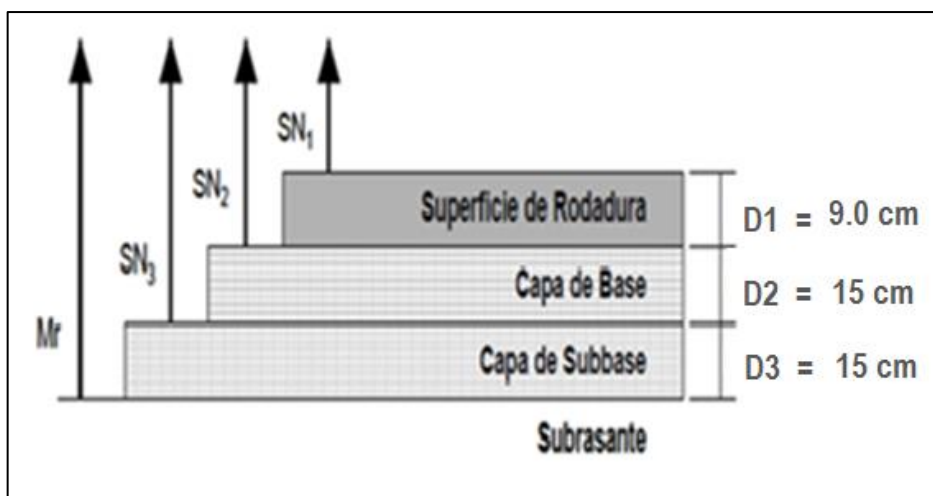


Figura 18 Espesores definitivos del pavimento del tramo 1
Fuente: Elaboración propia.

SUB TRAMO II: DETERMINACIÓN DEL N° ESTRUCTURAL Y ESPEORES DEL PAVIMENTO.

Datos:

- Periodo de diseño : 10 años
- W_{18} : 2,94E+06
- R : 96%
- Zr : -1,751
- So : 0,45
- Po : 4,0
- Pf : 2,5
- CBR_{sub Rasante} : 43,9%

Usando la carta para determinar los coeficientes estructurales:

$$a_1 = 0,425$$

$$a_2 = 0,128$$

$$a_3 = 0,12$$

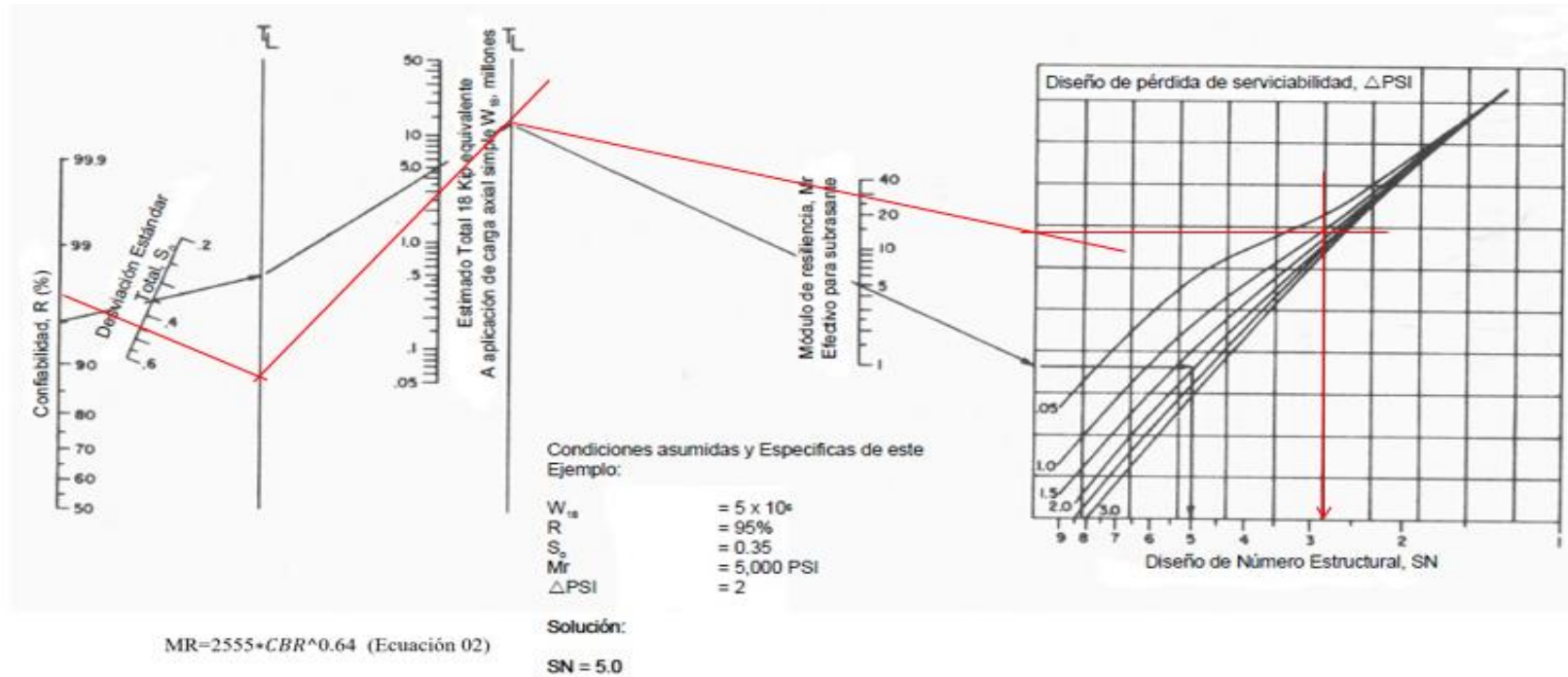
“Considerando el drenaje bueno y menos del 5% del tiempo total el pavimento estará expuesto a condiciones de humedad cercano a la saturación corresponde según la tabla del método AASHTO el valor de 1,15”

$$m_2 = 1,15$$

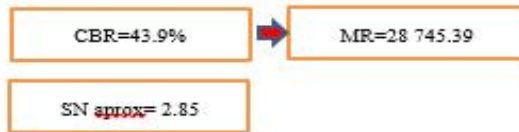
$$m_3 = 1,15$$

Determinado el Mr.:

Por el ábaco (de la figura 1) tenemos:



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993



La fórmula general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

Figura 19 Abaco con parámetros para Sub Tramo II

Fuente: Propia

Figura 20 Cálculo de los espesores del pavimento del tramo 2 por el programa AASHTO 93
Fuente: Elaboración propia.

Por espesores mínimos tenemos:

D1=3,5 pulg. Espesor de carpeta asfáltica

D2=6,0 pulg. Espesor de base granular

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

Usando Software AASHTO 93 podemos obtener el SN requerido:

$$SN \text{ requerido} = 2,67$$

Entonces tenemos:

$$2,67 = (0,425) * 3,5 + (0,128) * (6) * (1,15) + (0,12) * D_3 * (1,15)$$

$$2,67 = 1,4875 + 0,8832 + 0,138 D_3$$

$$2,67 = 2,3707 + 0,138 D_3$$

$$D_3 = 2,17$$

Los espesores obtenidos son:

$$D_1 = 3,5 \text{ Pulg.} = 9 \text{ cm}$$

$D_2 = 6,0 \text{ Pulg.} = 15 \text{ cm}$

$D_3 = 2,17 \text{ Pulg.} = 5,5 \text{ cm}$

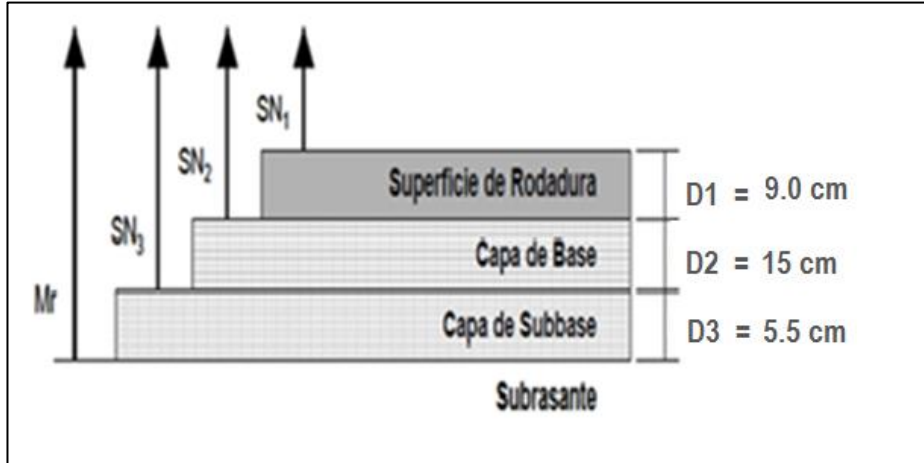


Figura 21 Espesores calculados del pavimento del tramo 2
Fuente: Elaboración propia.

Constructivamente conformar una capa de 5,5 cm no es posible, y la EG2013 tiene como tamaño máximo en la granulometría de subbase de 2", lo que te obliga a tener capas de mínimo 15 cm de espesor en esta capa.

Por lo tanto, tendríamos capas de:

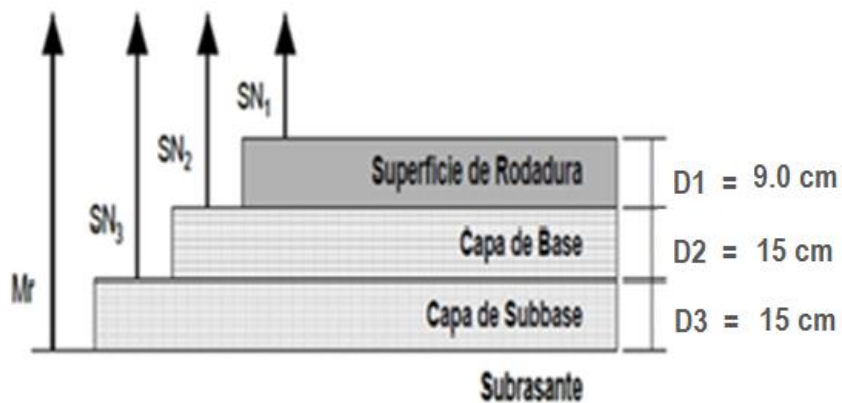


Figura 22 Espesores definitivos del pavimento del tramo 2
Fuente: Elaboración propia.

SUB TRAMO III: DETERMINACIÓN DEL N° ESTRUCTURAL Y ESPEORES DEL PAVIMENTO.

Datos:

- Periodo de diseño : 10 años
- W_{18} : 2,94E+06
- R : 96%
- Zr : -1,751
- So : 0,45
- Po : 4,0
- Pf : 2,5
- CBR sub Rasante : 65,1%

Usando la carta para determinar los coeficientes estructurales:

$$a_1 = 0,425$$

$$a_2 = 0,128$$

$$a_3 = 0,12$$

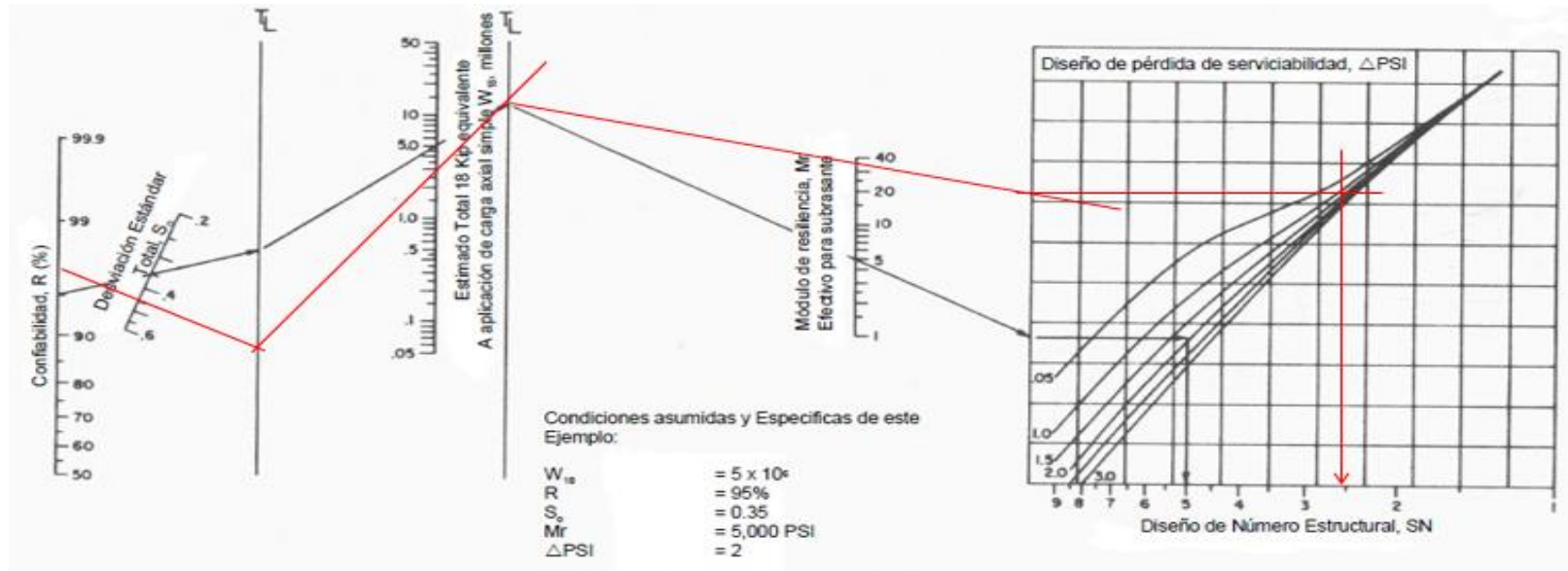
“Considerando el drenaje bueno y menos del 5% del tiempo total el pavimento estará expuesto a condiciones de humedad cercano a la saturación corresponde según la tabla del método AASHTO el valor de 1,15”

$$m_2 = 1,15$$

$$m_3 = 1,15$$

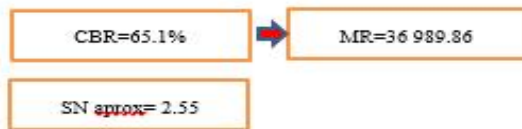
Determinado el Mr.:

Por el ábaco (de la figura 1) tenemos:



$MR=2555 \cdot CBR^{0.64}$ (Ecuación 02)

Solución:
SN = 5.0



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

La fórmula general que relaciona el número estructural (SN) con los espesores de capa es la siguiente:

Figura 23 Abaco con parámetros para Sub Tramo III
Fuente: Propia

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confianza (R) y Desviación estándar (So): 96 % Zr=-1.751 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 4 PSI final 2.5

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 36989.86 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi) Coeficiente de transmisión de carga - (J)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi) Coeficiente de drenaje - (Cd)

Tipo de Análisis: Calcular SN Calcular W18

W18 = 2610000

Número Estructural: SN = 2.42

Calcular Salir

Figura 24 Cálculo de los espesores del pavimento del tramo 3 por el programa AASHTO 93
Fuente: Elaboración propia.

Por espesores mínimos tenemos:

D1=3,5 pulg. Espesor de carpeta asfáltica

D2=6,0 pulg. Espesor de base granular

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

Usando Software AASHTO 93 podemos obtener el SN requerido:

$SN \text{ requerido} = 2,42$

Entonces tenemos:

$$2,42 = (0,425) * 3,5 + (0,128) * (6) * (1,15) + (0,12) * D_3 * (1,15)$$

$$2,42 = 1,4875 + 0,8832 + 0,138 D_3$$

$$2,42 = 2,3707 + 0,138 D_3$$

$$D_3 = 0,357$$

Los espesores obtenidos son:

$$D1 = 3,5 \text{ Pulg.} = 9 \text{ cm}$$

$$D2 = 6,0 \text{ Pulg.} = 15 \text{ cm}$$

$$D3 = 0,35 \text{ Pulg.} = 0,9 \text{ cm}$$

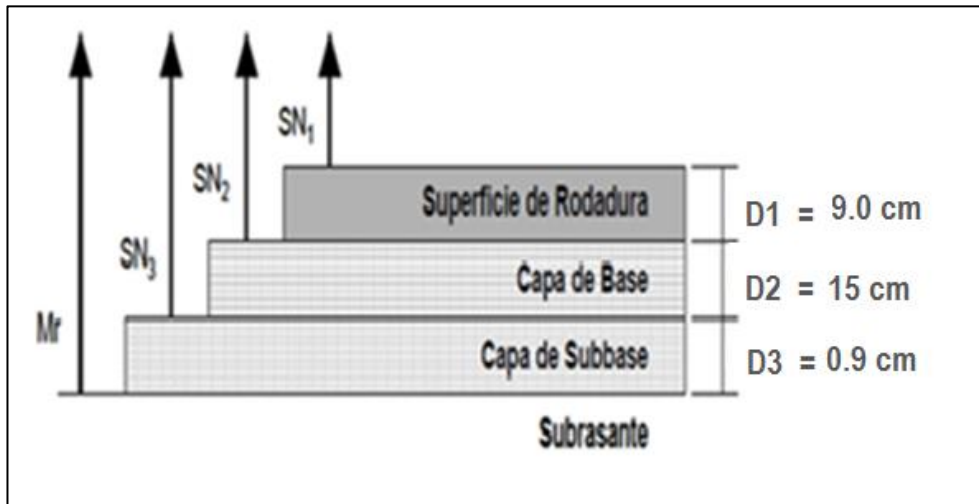


Figura 25 Espesores calculados del pavimento del tramo 3
Fuente: Elaboración propia.

Constructivamente conformar una capa de 0,9 cm no es posible, y la EG2013 tiene como tamaño máximo en la granulometría de subbase de 2", lo que te obliga a tener capas de mínimo 15 cm de espesor en esta capa.

Por lo tanto, tendríamos capas de:

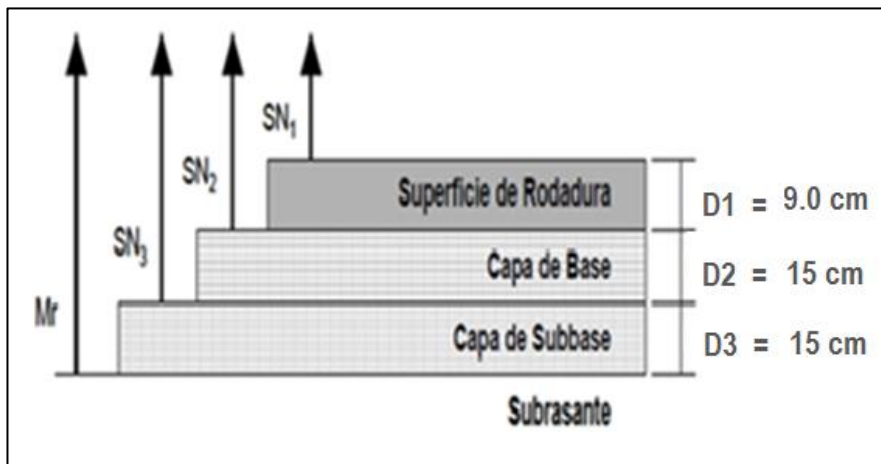


Figura 26 Espesores definitivos del pavimento del tramo 3
Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Diseño del pavimento: MEPDG

Para el diseño mediante el Método Mecánico Empírico AASHTO, nos apoyaremos del software DISMEP, desarrollado por el Ing. Moisés Micha Bueno en su tesis “Desarrollo De Software Para El Diseño De Pavimentos Por El Método Mecánico – Empírico (MEPDG) AASHTO”, en la Universidad Nacional de Cajamarca (Micha Bueno, 2019).

Tenemos la vista general del proyecto, con la información y generalidades del proyecto. Así mismo, en las características de la sección colocaremos los resultados provenientes del diseño por la metodología AASHTO 93.

The screenshot displays the DISMEP software interface with the following sections:

- Configuración** (Configuration)
- Materiales** (Materials)
- Clima** (Climate)
- Tránsito** (Traffic)
- Análisis** (Analysis)
- Resultados** (Results)

Datos del Proyecto (Project Data):

- Ubicación: Carretera MO-107 - Moquegua
- Proyecto: Aplicación de los métodos de diseño de pavimento flexible Mecánico Empírico y AASHTO 93 en la Carretera MO-107 M
- Organización: Universidad José Carlos Mariátegui
- Responsable: Ing. Henry Roni Sosa Amanzo
- Fecha: lunes, 2 de diciembre de 2019

Descripción del Proyecto:

Tesis de maestría: Aplicación de los métodos de diseño de pavimento flexible Mecánico Empírico y AASHTO 93 en la Carretera MO-107 Moquegua 2018.

Características del Proyecto (Project Characteristics):

- Velocidad Operacional: 40 km/h
- Ancho de Carril: 3 m
- Período de Diseño: 10 años

Criteria de Diseño y Niveles de Confiabilidad:

Características de la Sección (Section Characteristics):

Capas	Espesor de capa
Carpeta Asfáltica	9 cm
Base	15 cm
Subbase	15 cm
Subrasante	Capa semi-infinita

Figura 27 Vista General del Proyecto en DISMEP

Fuente: Elaboración propia.

Criterios de Diseño

Criterios de Diseño y Nivel de Confiabilidad para Pavimentos Flexibles

	<u>Valor Umbral</u>	<u>Confiabilidad</u>
> Profundidad de Ahuellamiento :	1.905 cm	85 %
> Fisuramiento tipo "Piel de cocodrilo" :	25 %	85 %
> Fisuramiento Longitudinal :	189.4 m/km	85 %
> Fisuramiento Transversal :	189.4 m/km	85 %
> Regularidad Superficial (IRI) :	250.15 cm/km	85 %

Aceptar

Figura 28 Niveles de confiabilidad

Fuente: Elaboración propia.

Los materiales los dividiremos en carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante.

Con la carpeta asfáltica tenemos:

En la interfaz de Módulo Dinámico:

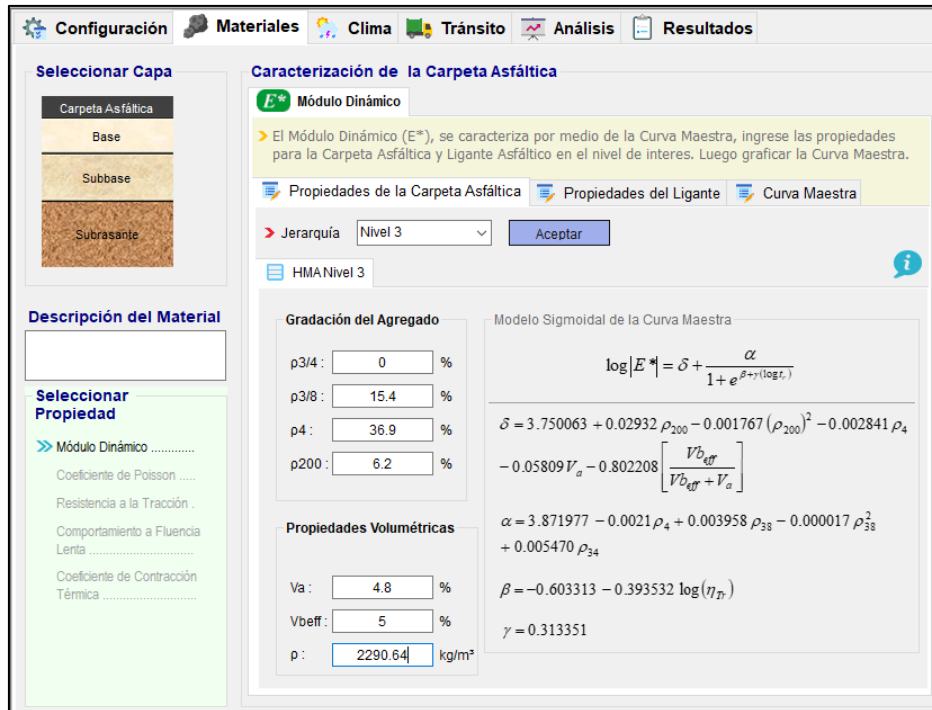


Figura 29 Modulo dinámico
 Fuente: Elaboración propia.

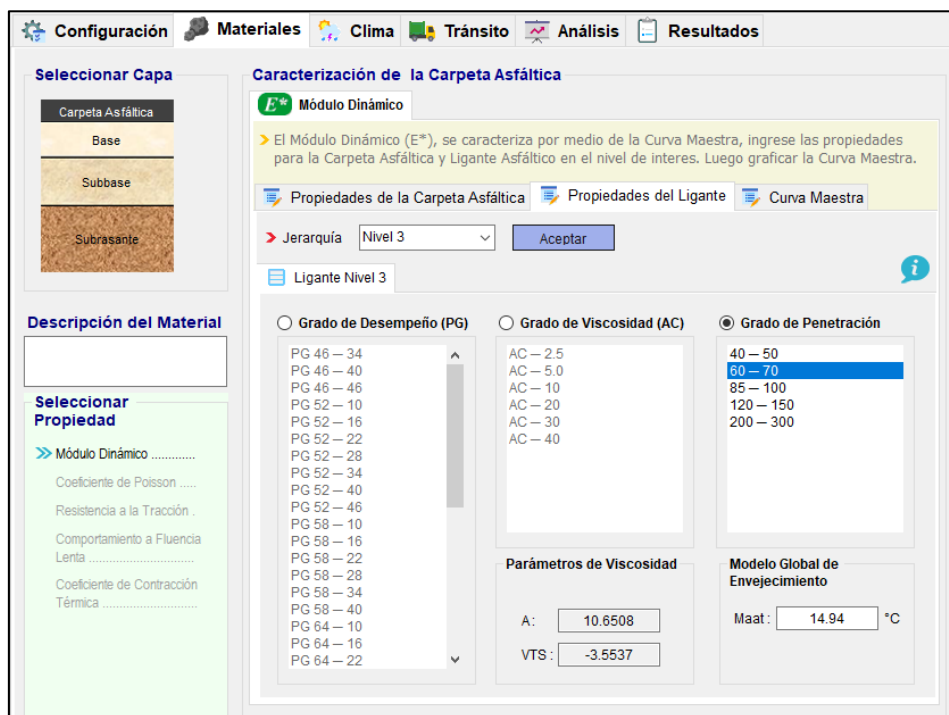


Figura 30 Propiedad del Ligante
 Fuente: Elaboración propia.

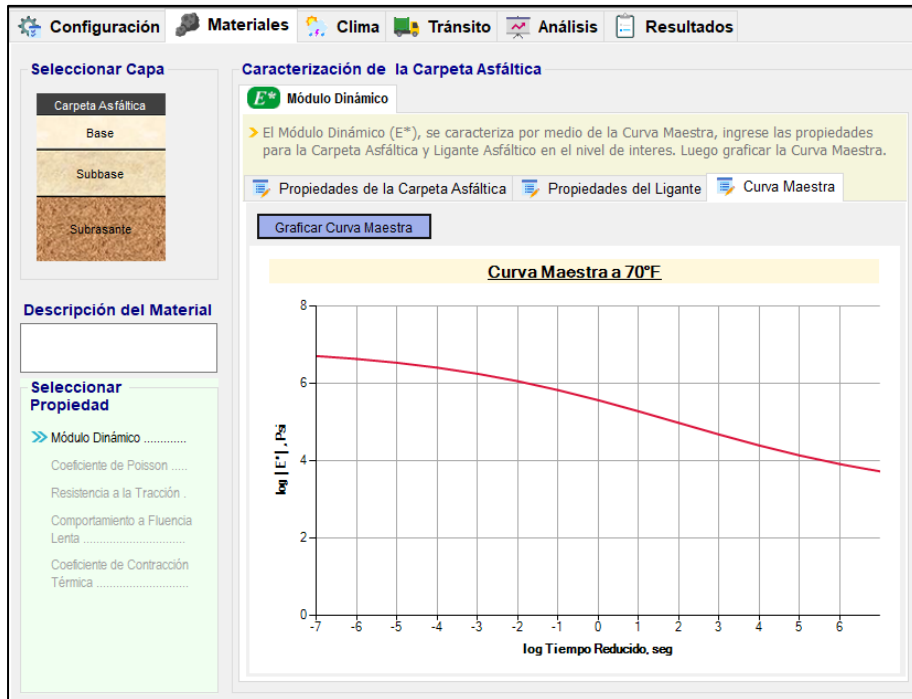


Figura 31 Curva Maestra
Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz de Coeficiente de Poisson:

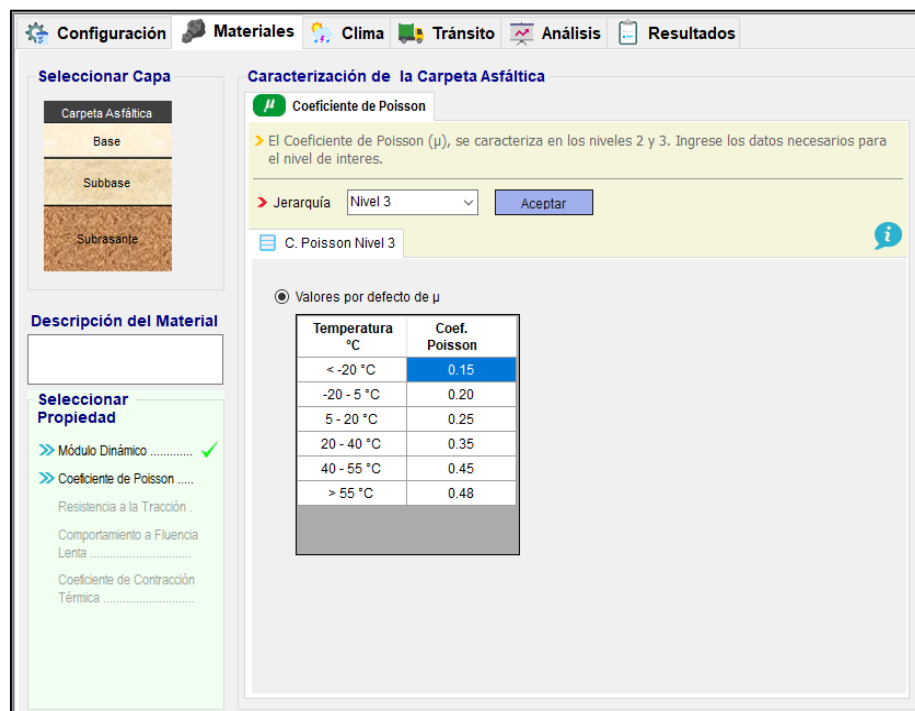


Figura 32 Coeficiente de Poisson
Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz de resistencia a la tracción:

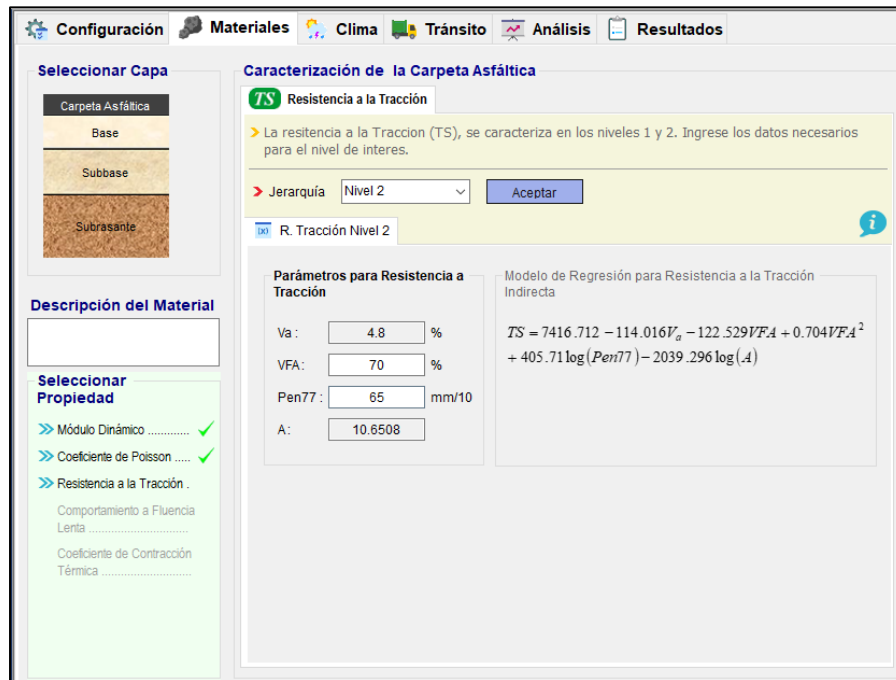


Figura 33 Resistencia a la Tracción

Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz de comportamiento a la fluencia:

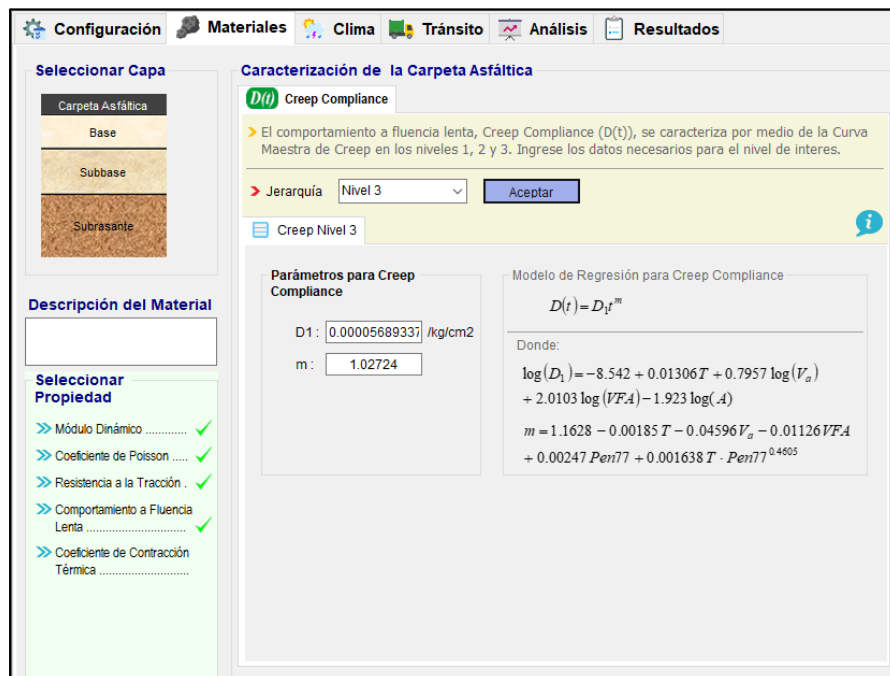


Figura 34 Comportamiento a la fluencia

Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz de coeficiente de contracción térmica:

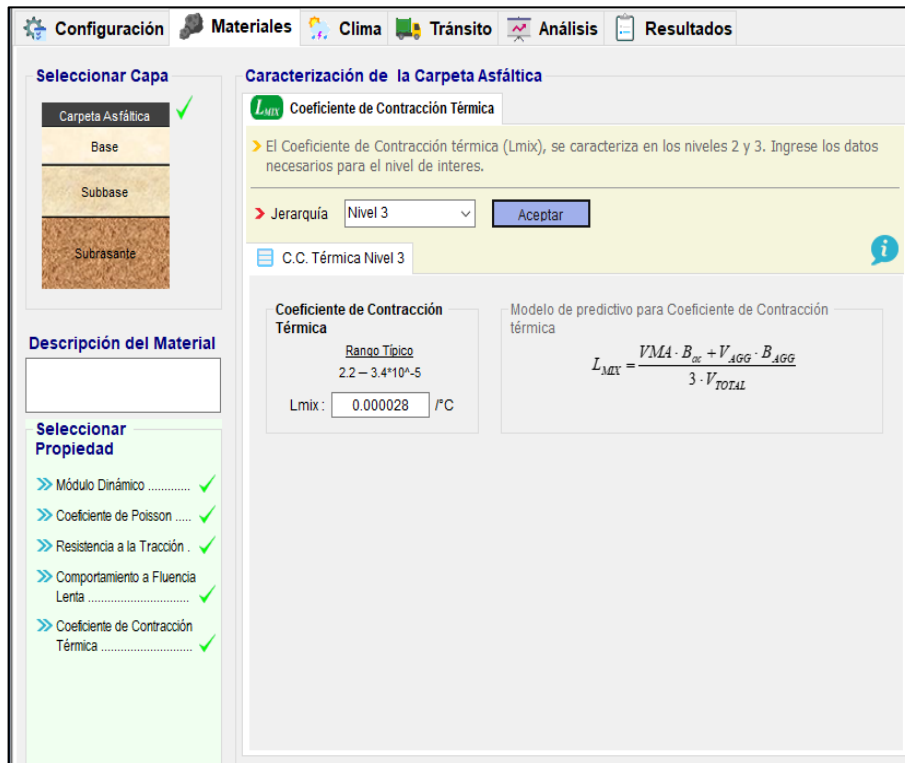


Figura 35 Coeficiente de contracción térmica

Fuente: Elaboración propia.

En la base tenemos lo siguiente:

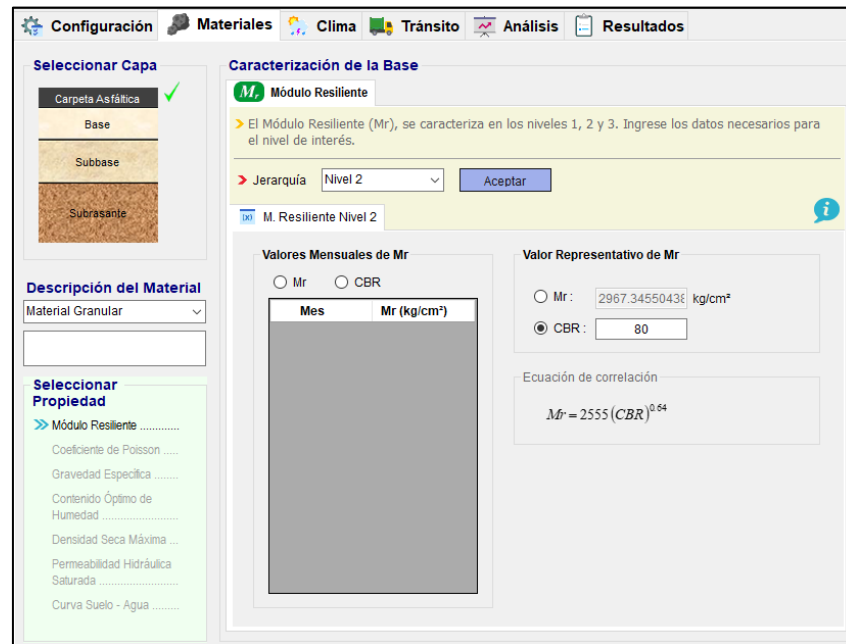


Figura 36 Modulo resiliente de la Base

Fuente: Elaboración propia.

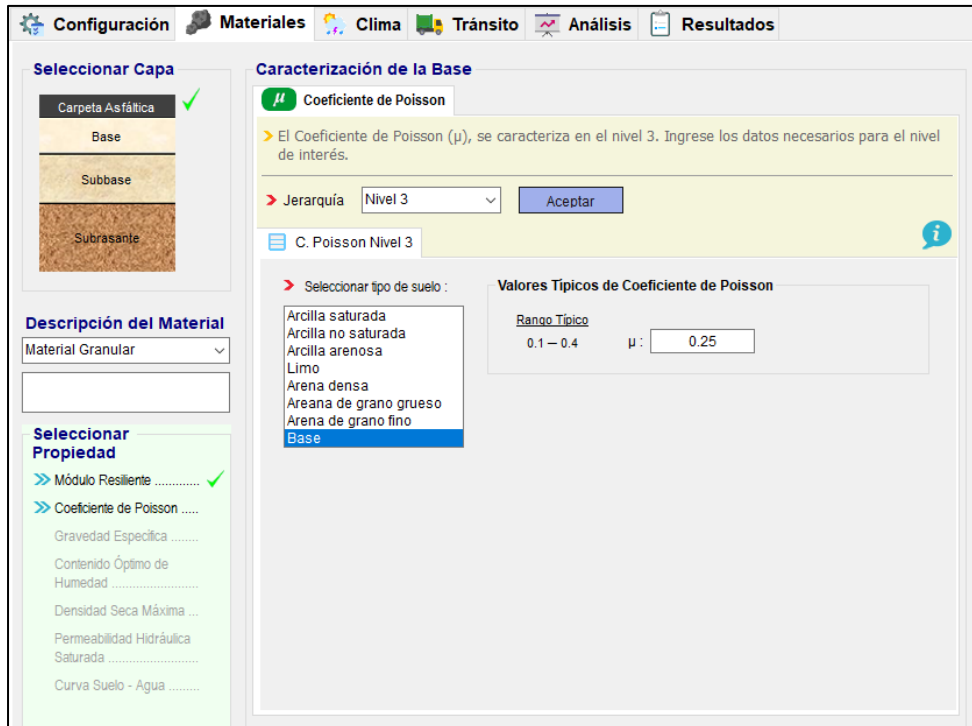


Figura 37 Coeficiente de Poisson de la Base
Fuente: Elaboración propia.



Figura 38 Gravedad específica de la Base
Fuente: Elaboración propia.

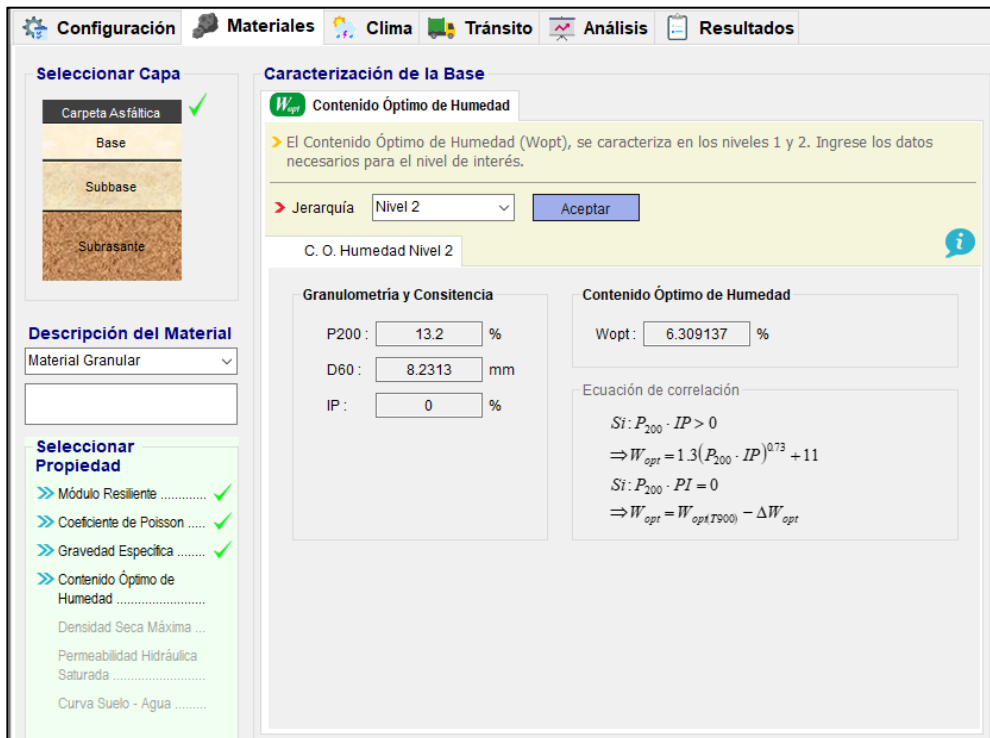


Figura 39 Contenido de humedad de la Base
Fuente: Elaboración propia.

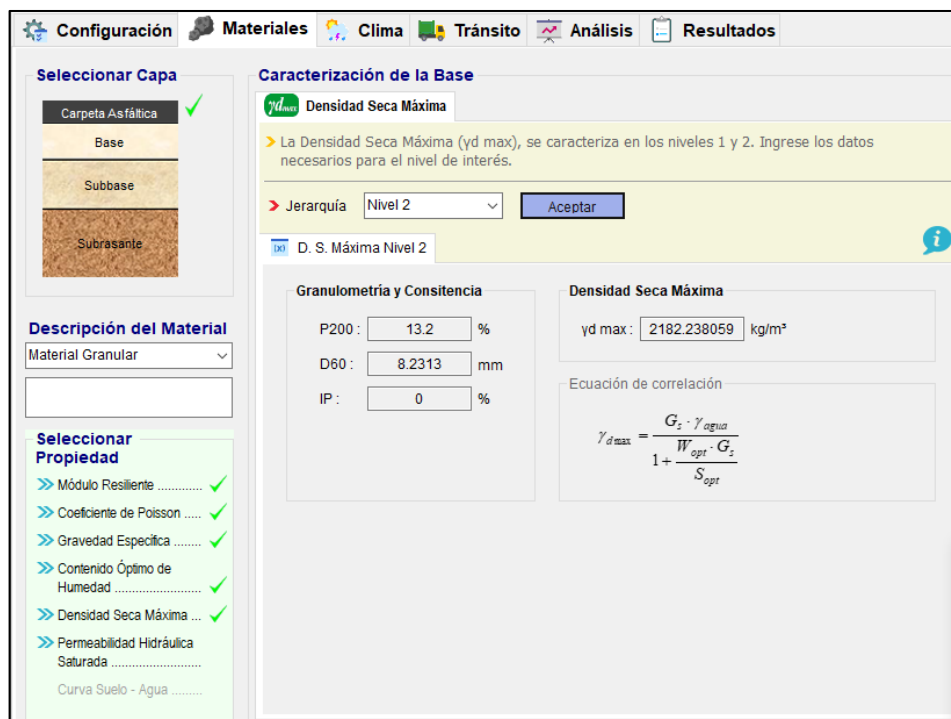


Figura 40 Densidad máxima seca de la Base
Fuente: Elaboración propia.

Configuración Materiales Clima Tránsito Análisis Resultados

Selección de Capa

- Carpeta Asfáltica ✓
- Base
- Subbase
- Subrasante

Descripción del Material

Material Granular

Selección de Propiedad

- Módulo Resiliente ✓
- Coefficiente de Poisson ✓
- Gravedad Específica ✓
- Contenido Óptimo de Humedad ✓
- Densidad Seca Máxima ✓
- Permeabilidad Hidráulica Saturada ✓
- Curva Suelo - Agua ✓

Caracterización de la Base

Permeabilidad Hidráulica Saturada

La Permeabilidad Hidráulica Saturada (Ksat), se caracteriza en los niveles 1 y 2. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 2

P. H. Saturada Nivel 2

Granulometría y Consistencia

P200: 13.2 %
D60: 8.2313 mm
IP: 0 %

Permeabilidad Hidráulica Saturada

Ksat: 81.804269 m/h

Ecuación de correlación

Si: $0 \leq P_{200} \cdot IP < 1$
 $\Rightarrow K_{sat} = 118.11 \cdot 10^{-1.12 \log D_{60} + 2.7 + 7.28 \log D_{60} + 2 - 11.289 \cdot IP}$

Si: $P_{200} \cdot IP \geq 1$
 $\Rightarrow K_{sat} = 118.11 \cdot 10^{[0.0004 P_{200} \cdot IP^2 - 0.09(P_{200} \cdot IP) - 6.56]}$

Figura 41 Permeabilidad hidráulica saturada de la Base
Fuente: Elaboración propia.

Configuración Materiales Clima Tránsito Análisis Resultados

Selección de Capa

- Carpeta Asfáltica ✓
- Base
- Subbase
- Subrasante

Descripción del Material

Material Granular

Selección de Propiedad

- Módulo Resiliente ✓
- Coefficiente de Poisson ✓
- Gravedad Específica ✓
- Contenido Óptimo de Humedad ✓
- Densidad Seca Máxima ✓
- Permeabilidad Hidráulica Saturada ✓
- Curva Suelo - Agua ✓

Caracterización de la Base

SWCC Curva Suelo - Agua

La Curva Característica Suelo - Agua (SWCC), se caracteriza en los niveles 1, 2 y 3. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 3

SWCC Nivel 3

Granulometría y Consistencia

P200: 13.2 %
D60: 8.2313 mm
IP: 0 %

Propiedades Físicas

Wopt: 6.309137 %
Yd max: 2182.238059 kg/m³
Gs: 2.65

Coefficientes de SWCC

af: 0.025693 bf: 7.5 cf: 1.146928 hr: 0.000215

Modelo de SWCC

$$\theta_w = C(h) \cdot \left[\frac{\theta_{sat}}{\ln \left[\exp(1) + \left(\frac{h}{a_f} \right)^{b_f} \right]^{c_f}} \right], \quad C(h) = \left[1 - \frac{\ln \left(1 + \frac{h}{hr} \right)}{\ln \left(1 + \frac{1.45 \times 10^5}{h} \right)} \right]$$

Figura 42 Curva Suelo – Agua de la Base
Fuente: Elaboración propia.

En la Sub-base tenemos lo siguiente:

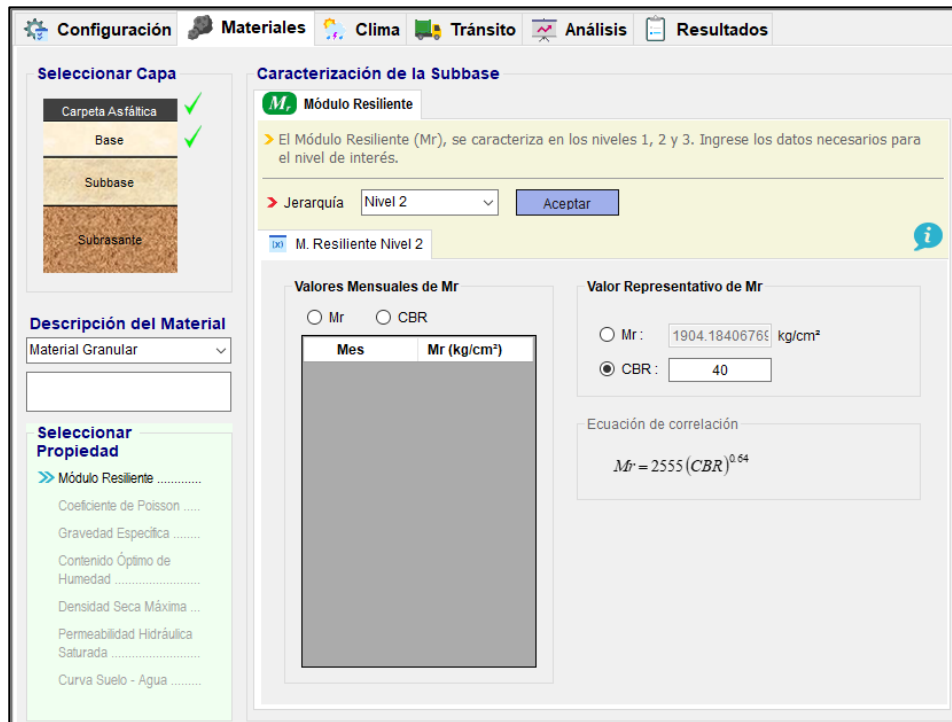


Figura 43 Modulo Resiliente de la Subbase

Fuente: Elaboración propia.

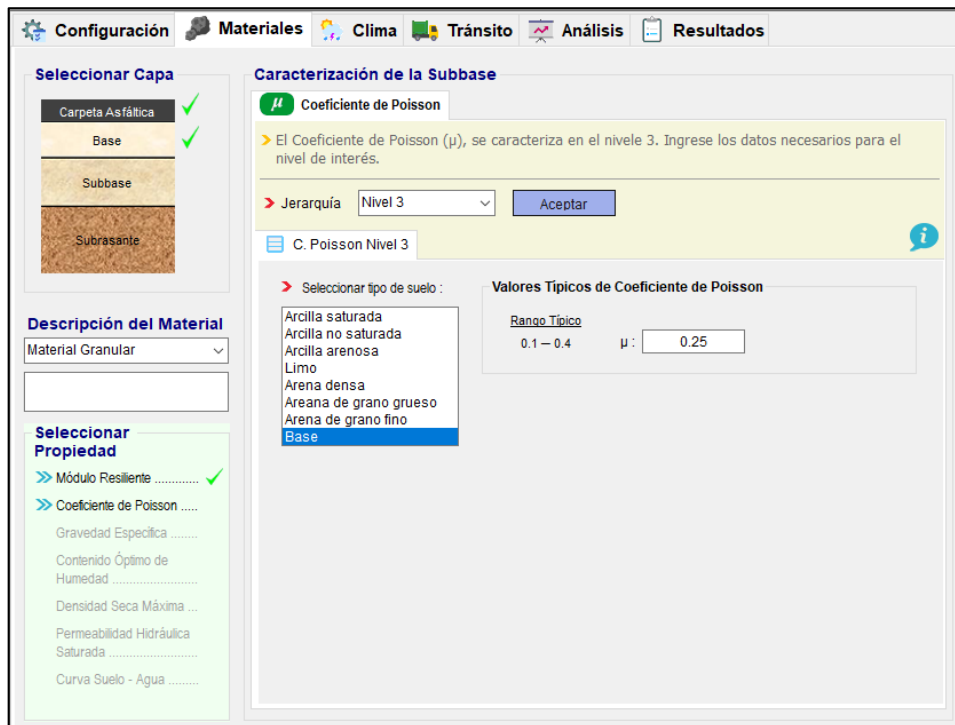


Figura 44 Coeficiente de Poisson de la Subbase

Fuente: Elaboración propia.

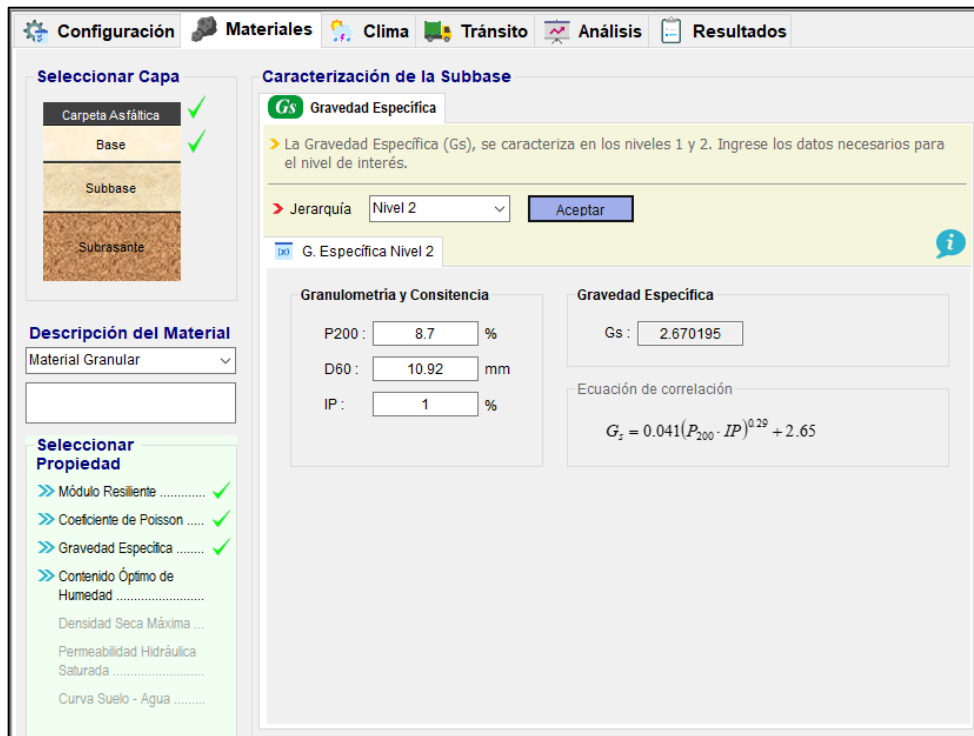


Figura 45 Gravedad Específica de la Subbase
Fuente: Elaboración propia.

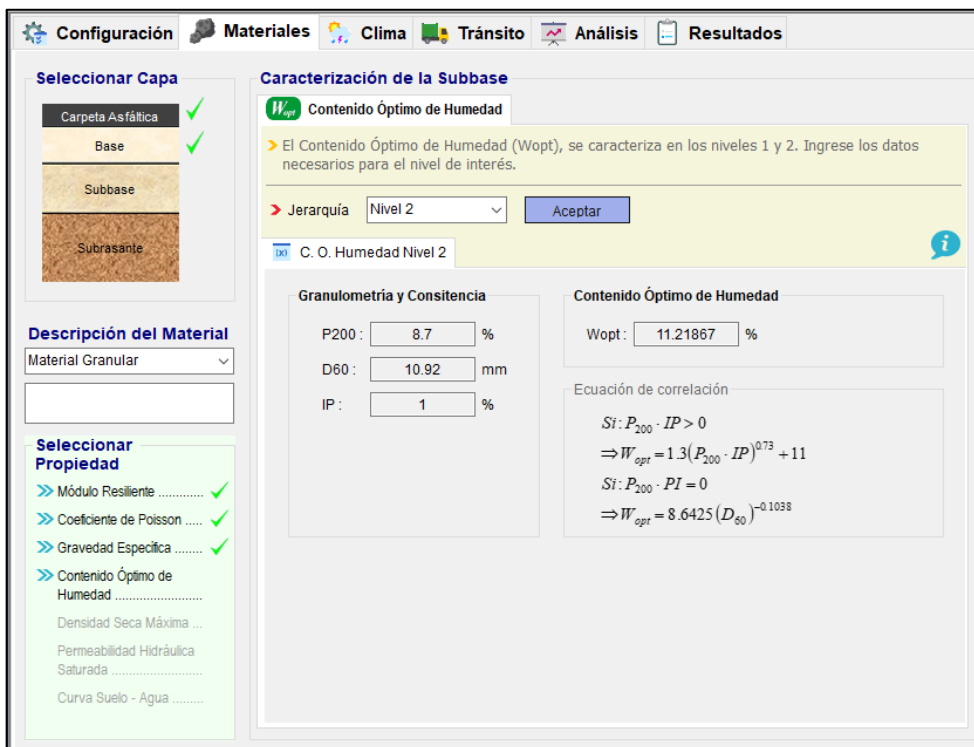


Figura 46 Contenido óptimo de humedad de la Sub-base
Fuente: Elaboración propia.

Configuración Materiales Clima Tránsito Análisis Resultados

Selección de Capa

- Carpeta Asfáltica ✓
- Base ✓
- Subbase
- Subrasante

Descripción del Material

Material Granular

Selección de Propiedad

- Módulo Resiliente ✓
- Coefficiente de Poisson ✓
- Gravedad Específica ✓
- Contenido Óptimo de Humedad ✓
- Densidad Seca Máxima ✓
- Permeabilidad Hidráulica Saturada
- Curva Suelo - Agua

Caracterización de la Subbase

Densidad Seca Máxima

La Densidad Seca Máxima (yd max), se caracteriza en los niveles 1 y 2. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 2

D. S. Máxima Nivel 2

Granulometría y Consistencia

P200: 8.7 %
D60: 10.92 mm
IP: 1 %

Densidad Seca Máxima

yd max: 1960.268605 kg/m³

Ecuación de correlación

$$\gamma_{d\max} = \frac{G_s \cdot \gamma_{\text{agua}}}{1 + \frac{W_{\text{opt}} \cdot G_s}{S_{\text{opt}}}}$$

Figura 47 Densidad seca máxima de la Sub-base
Fuente: Elaboración propia.

Configuración Materiales Clima Tránsito Análisis Resultados

Selección de Capa

- Carpeta Asfáltica ✓
- Base ✓
- Subbase
- Subrasante

Descripción del Material

Material Granular

Selección de Propiedad

- Módulo Resiliente ✓
- Coefficiente de Poisson ✓
- Gravedad Específica ✓
- Contenido Óptimo de Humedad ✓
- Densidad Seca Máxima ✓
- Permeabilidad Hidráulica Saturada
- Curva Suelo - Agua

Caracterización de la Subbase

Permeabilidad Hidráulica Saturada

La Permeabilidad Hidráulica Saturada (Ksat), se caracteriza en los niveles 1 y 2. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 2

P. H. Saturada Nivel 2

Granulometría y Consistencia

P200: 8.7 %
D60: 10.92 mm
IP: 1 %

Permeabilidad Hidráulica Saturada

Ksat: 96.072747 m/h

Ecuación de correlación

Si: $0 \leq P_{200} \cdot IP < 1$
 $\Rightarrow K_{\text{sat}} = 118.11 \cdot 10^{[-1.12 \log D_{60} + 27 + 7.28 \log D_{60} + 2] - 11.2899}$

Si: $P_{200} \cdot IP \geq 1$
 $\Rightarrow K_{\text{sat}} = 118.11 \cdot 10^{[0.0004 P_{200} \cdot IP^2 - 0.09 P_{200} \cdot IP] - 6.58}$

Figura 48 Permeabilidad hidráulica Saturada de la Subbase
Fuente: Elaboración propia.

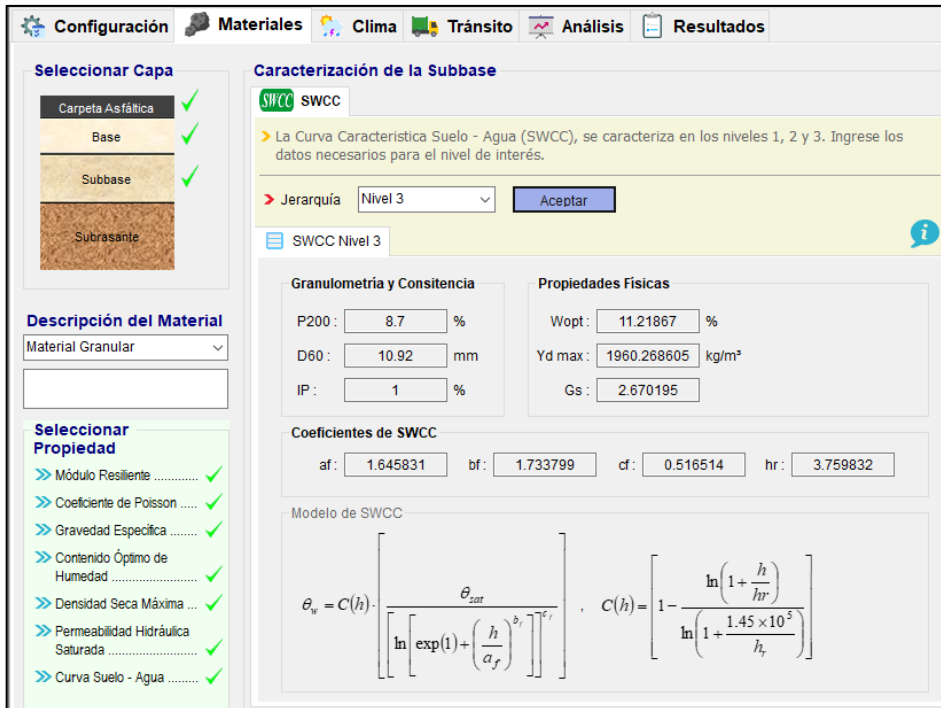


Figura 49 Curva Suelo – Agua de la Subbase
Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la Subrasante del Tramo I:

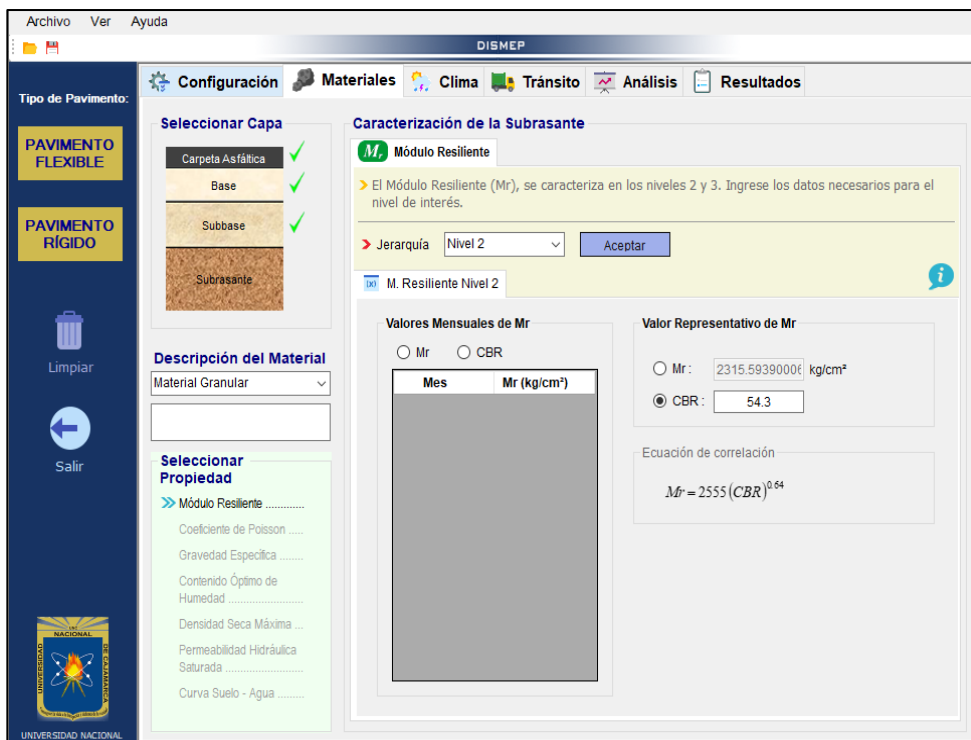


Figura 50 Módulo resiliente de la Subrasante del Tramo I
Fuente: Elaboración propia.

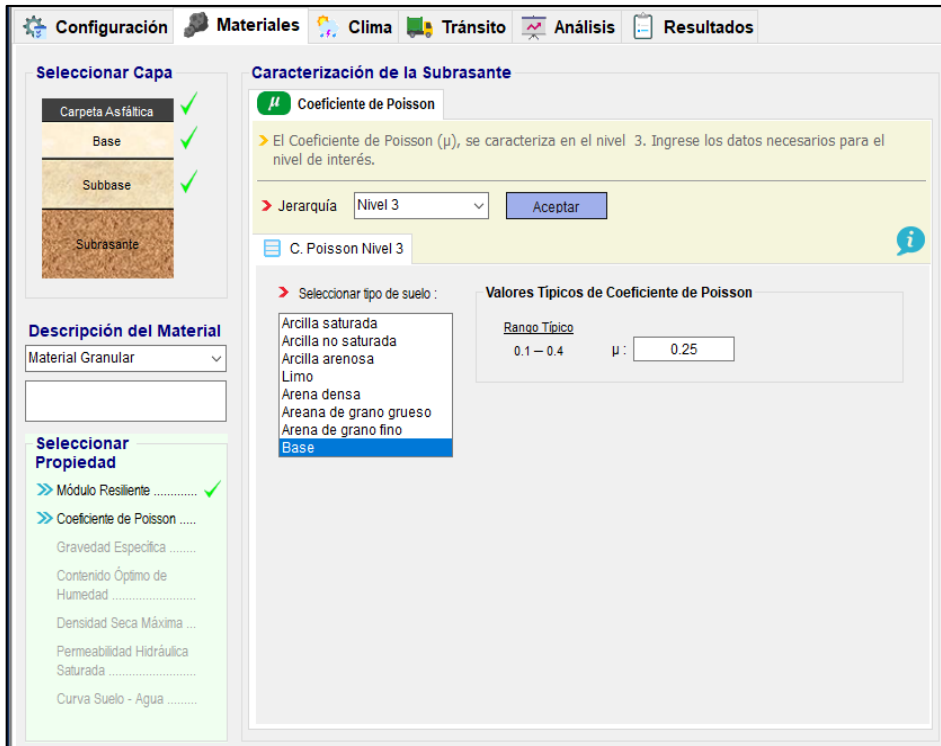


Figura 51 Coeficiente de Poisson de la Subrasante del Tramo I
Fuente: Elaboración propia.

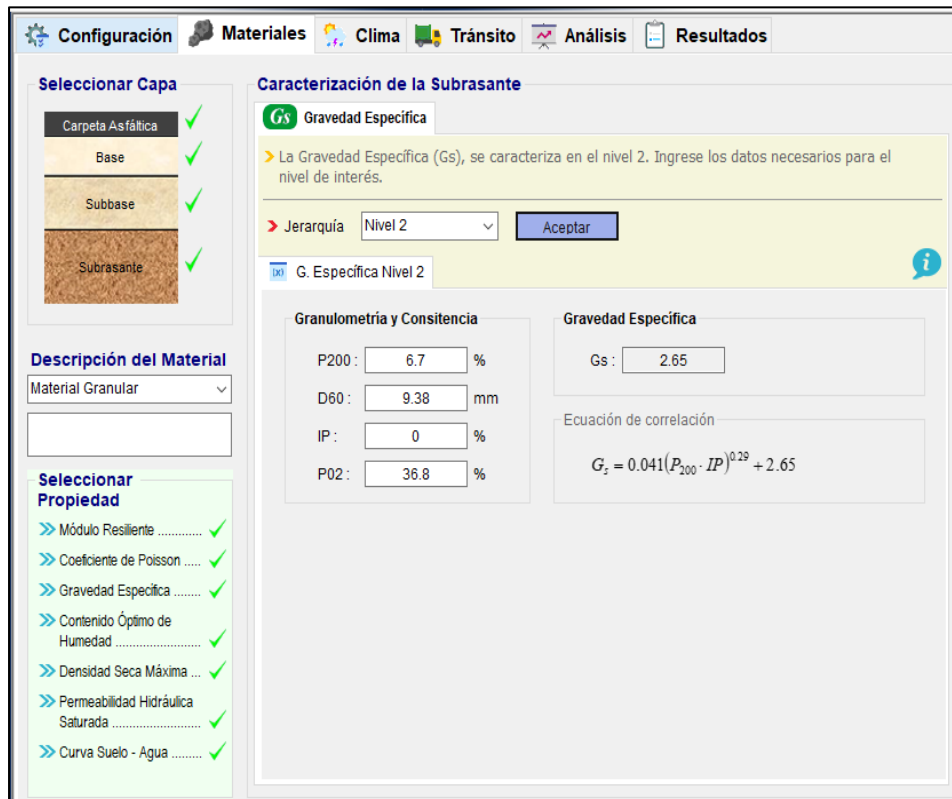


Figura 52 Gravedad Específica de la Subrasante del Tramo I
Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la Subrasante del Tramo II:

Caracterización de la Subrasante

Módulo Resiliente

> El Módulo Resiliente (Mr), se caracteriza en los niveles 2 y 3. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 2 [Aceptar]

M. Resiliente Nivel 2

Valores Mensuales de Mr

Mr CBR

Mes	Mr (kg/cm ²)

Valor Representativo de Mr

Mr: 2021.00712387 kg/cm²

CBR: 43.9

Ecuación de correlación

$$Mr = 2555 (CBR)^{0.64}$$

Figura 53 Módulo resiliente de la Subrasante del Tramo II
Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de la Subrasante

Coeficiente de Poisson

> El Coeficiente de Poisson (μ), se caracteriza en el nivel 3. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 3 [Aceptar]

C. Poisson Nivel 3

Seleccionar tipo de suelo:

- Arcilla saturada
- Arcilla no saturada
- Arcilla arenosa
- Limo
- Arena densa
- Arena de grano grueso
- Arena de grano fino
- Base**

Valores Típicos de Coeficiente de Poisson

Rango Típico: 0.1 – 0.4 μ : 0.25

Selección de Capa: Carpeta Asfáltica ✓, Base ✓, Subbase ✓, Subrasante ✓

Descripción del Material: Material Granular

Selección de Propiedad: Módulo Resiliente ✓, Coeficiente de Poisson

Figura 54 Coeficiente de Poisson de la Subrasante del Tramo II
Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de la Subrasante

G_s Gravedad Específica

> La Gravedad Específica (G_s), se caracteriza en el nivel 2. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

> Jerarquía: Nivel 2

G. Especifica Nivel 2

Granulometría y Consistencia

P200: %

D60: mm

IP: %

P02: %

Gravedad Específica

G_s:

Ecuación de correlación

$$G_s = 0.041(P_{200} \cdot IP)^{0.29} + 2.65$$

Figura 55 Gravedad Específica de la Subrasante del Tramo II
Fuente: Elaboración propia.

En lo que respecta a la Subrasante del Tramo III:

M_r Módulo Resiliente

> El Módulo Resiliente (M_r), se caracteriza en los niveles 2 y 3. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

> Jerarquía: Nivel 2

M. Resiliente Nivel 2

Valores Mensuales de M_r

M_r CBR

Mes	M _r (kg/cm ²)

Valor Representativo de M_r

M_r: kg/cm²

CBR:

Ecuación de correlación

$$M_r = 2555 (CBR)^{0.64}$$

Figura 56 Módulo resiliente de la Subrasante del Tramo III
Fuente: Elaboración propia.

Configuración Materiales Clima Tránsito Análisis Resultados

Selección de Capa

- Carpeta Asfáltica ✓
- Base ✓
- Subbase ✓
- Subrasante

Descripción del Material

Material Granular

Selección de Propiedad

- Módulo Resiliente ✓
- Coeficiente de Poisson
- Gravedad Específica
- Contenido Óptimo de Humedad
- Densidad Seca Máxima
- Permeabilidad Hidráulica Saturada
- Curva Suelo - Agua

Caracterización de la Subrasante

Coeficiente de Poisson

> El Coeficiente de Poisson (μ), se caracteriza en el nivel 3. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 3

C. Poisson Nivel 3

Seleccionar tipo de suelo:

- Arcilla saturada
- Arcilla no saturada
- Arcilla arenosa
- Limo
- Arena densa
- Areana de grano grueso
- Arena de grano fino
- Base

Valores Típicos de Coeficiente de Poisson

Rango Típico: 0.1 - 0.4 μ : 0.25

Figura 57 Coeficiente de Poisson de la Subrasante del Tramo III
Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de la Subrasante

Gravedad Específica

> La Gravedad Específica (G_s), se caracteriza en el nivel 2. Ingrese los datos necesarios para el nivel de interés.

Jerarquía: Nivel 2

G. Específica Nivel 2

Granulometría y Consistencia

P200 : 13.4 %
D60 : 8.23 mm
IP : 7.2 %
P02 : 41.3 %

Gravedad Específica

G_s : 2.690576

Ecuación de correlación

$$G_s = 0.041(P_{200} \cdot IP)^{0.29} + 2.65$$

Figura 58 Gravedad Específica de la Subrasante del Tramo III
Fuente: Elaboración propia.

Los datos del clima fueron extraídos de la página de SENAMHI, en el apartado de datos meteorológicos. Ubicamos la estación meteorológica más cercana a la Carretera MO-107, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

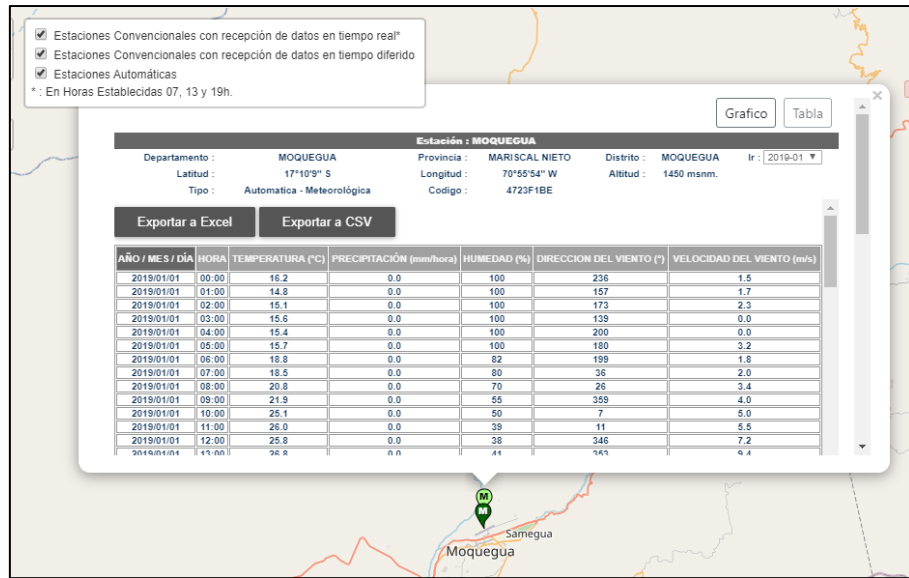


Figura 59 Datos extraídos de la Estación Meteorológica Moquegua
Fuente: SENAMHI 2020

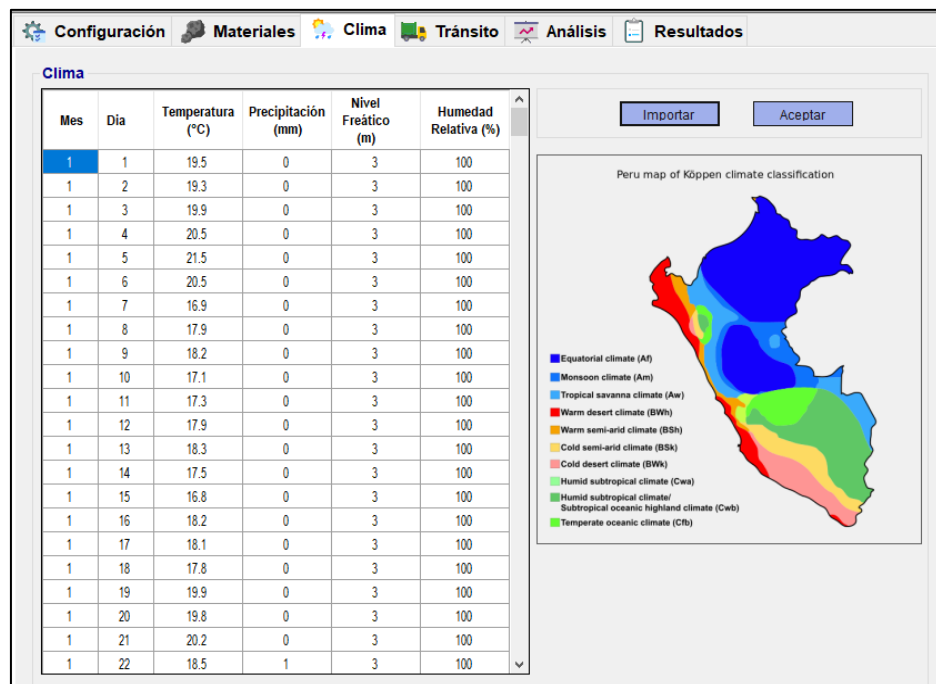


Figura 60 Datos Meteorológicos en DISMEP
Fuente: Elaboración propia.

Los valores del tránsito se insertarán a continuación:

The screenshot shows the 'Configuración' (Configuration) tab with the 'Caracterización del Tráfico' (Traffic Characterization) section. The 'Volumen de Tráfico del Año Base' (Base Year Traffic Volume) sub-section is active. It includes fields for AADTT (211), lanes (1), truck percentages (90% and 50%), and operational velocity (40 km/h). The 'Configuración del Eje' (Axle Configuration) sub-section includes axle spacing (2.6 m, 30.5 cm, 131.1 cm, 125 cm, 125 cm) and tire pressure (8.4 kg/cm²). The 'Distancia entre ejes' (Axle Spacing) sub-section includes axle distances (3.7 m, 4.6 m, 5.5 m) and truck axle percentages (33%, 33%, 34%).

Figura 61 Volumen de tráfico e información general
Fuente: Elaboración propia.

The screenshot shows the 'Configuración' (Configuration) tab with the 'Caracterización del Tráfico' (Traffic Characterization) section. The 'Ajustes de Volumen de Tráfico' (Traffic Volume Adjustments) sub-section is active. It includes a monthly adjustment dropdown (Nivel 3) and an 'Aceptar' (Accept) button. Below is a table showing monthly adjustments for classes 4 through 11, with all values set to 1. Below the table are dropdowns for 'Distribución del tráfico' (Nivel 1) and 'Eje por camión' (Nivel 3). At the bottom, there are two tables: one for vehicle classes with distribution and growth rates, and another for axle configurations (Single, Tandem, Tridem, Quad) for each class.

Mes	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8	Clase 9	Clase 10	Clase 11	Clas
Enero	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Febrero	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Marzo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Abril	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mayo	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Junio	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Julio	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Clase de Vehículo	Distribución (%)	Tasa de Crecimiento (%)	Funcion de Crecimiento
Clase 4	0	0	Lineal
Clase 5	79.17	3.87	Lineal
Clase 6	12.5	3.87	Lineal
Clase 7	0	0	Lineal
Clase 8	0	0	Lineal
Clase 9	8.33	3.87	Lineal

Clase de Vehículo	Single	Tandem	Tridem	Quad
Clase 4	1.62	0.39	0	0
Clase 5	2	0	0	0
Clase 6	1.02	0.99	0	0
Clase 7	1	0.26	0.83	0
Clase 8	2.38	0.67	0	0
Clase 9	1.13	1.93	0	0
Clase 10	1.19	1.09	0.89	0
Clase 11	4.29	0.26	0.06	0

Figura 62 Ajustes de volumen de tráfico
Fuente: Elaboración propia.

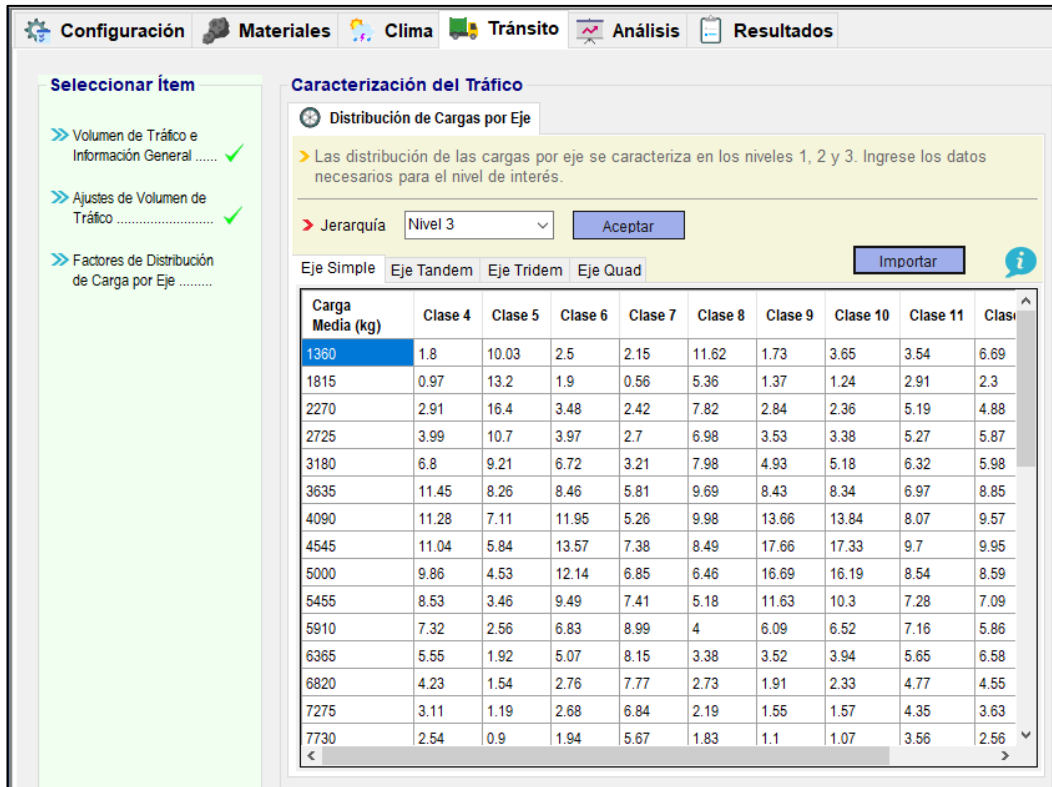


Figura 63 Distribución de cargas por eje (Eje Simple)
Fuente: Elaboración propia.

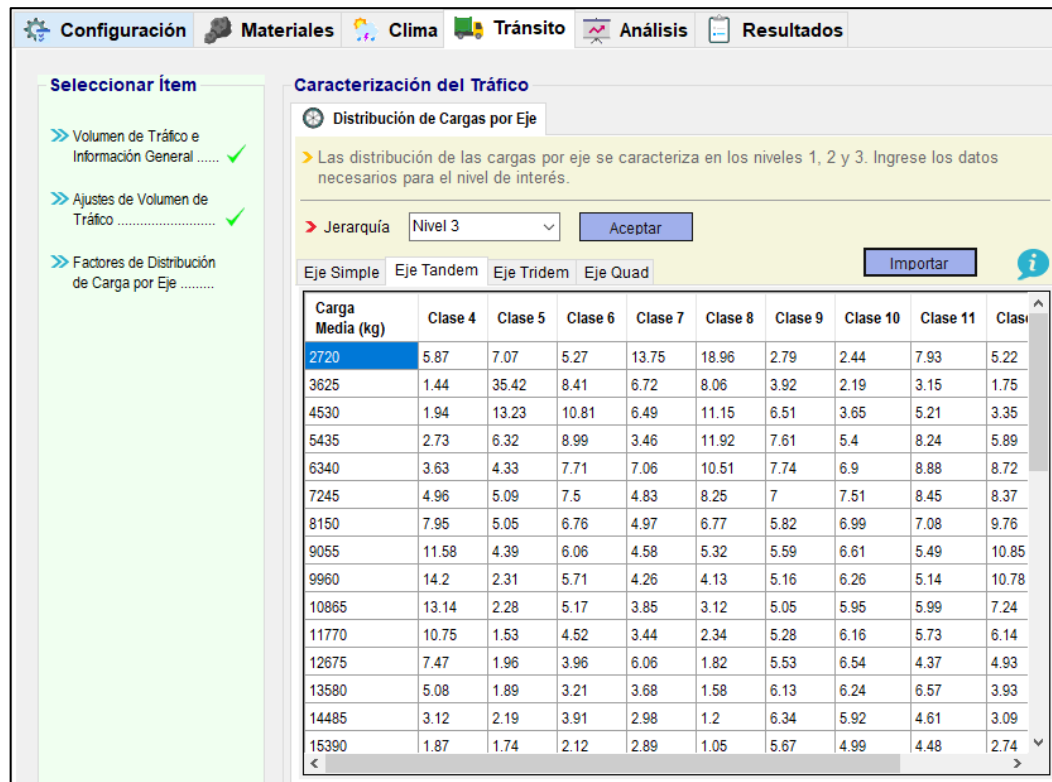


Figura 64 Distribución de cargas por eje (Eje Tandem)
Fuente: Elaboración propia.

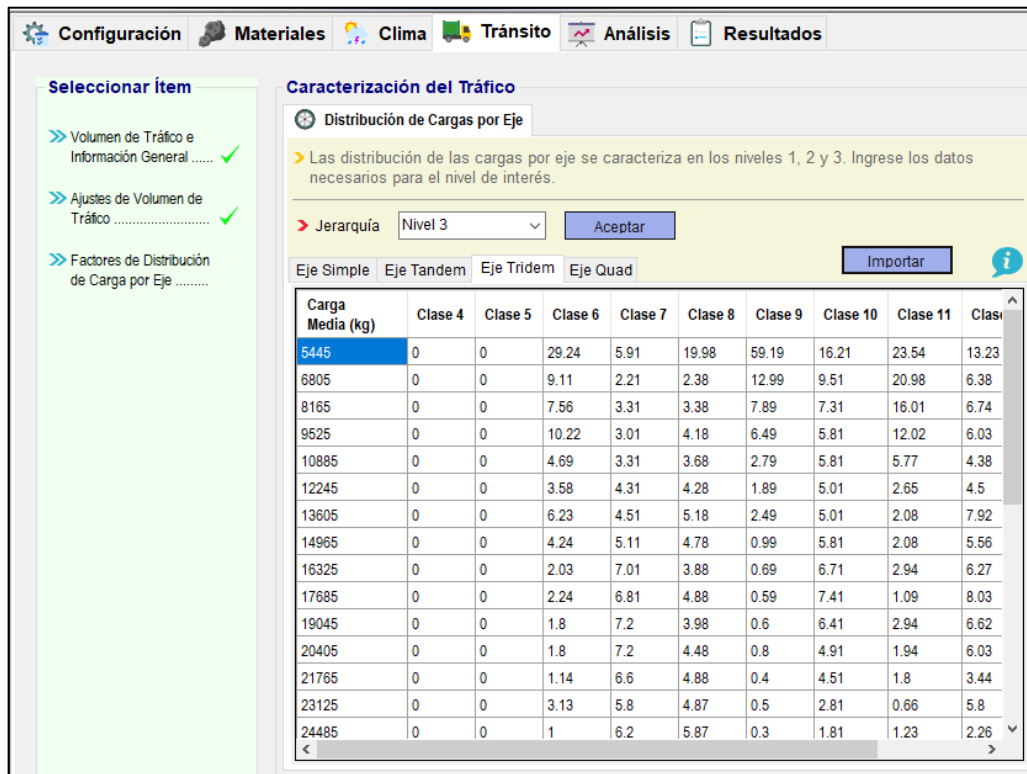


Figura 65 Distribución de cargas por eje (Eje Tridem)
Fuente: Elaboración propia.

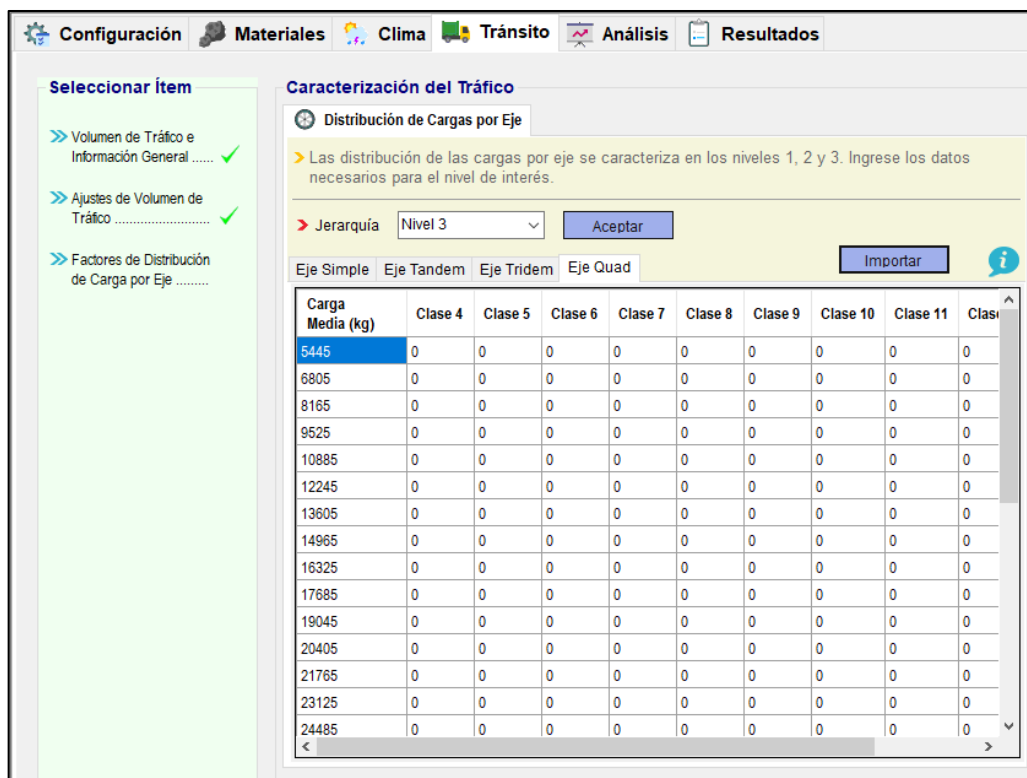


Figura 66 Distribución de cargas por eje (Eje Quad)
Fuente: Elaboración propia.

Modelos de Predicción del Deterioro

Δ_p Ahuellamiento

Modelo de Deformación Plástica Vertical para Capas no Ligadas

$$\Delta_{p(soli)} = \beta_{z1} \bar{k}_{z1} \varepsilon_v h_{zoli} \left(\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_r} \right)^{-\left(\frac{\rho}{n}\right)^{\rho}}$$

$$\log \beta = -0.61119 - 0.017638 W_c$$

$$\rho = 10^9 \left(\frac{C_0}{1 - (10^9)^{\rho}} \right)^{\frac{1}{\rho}}$$

$$C_0 = -4.89285$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constant Global	Constante Local
ks1 : 2.03	βs1 : 1
ks1 : 1.35	

Modelo de Deformación Plástica Vertical para HMA

$$\Delta_{p,HMA} = \beta_{1r} \bar{k}_z \varepsilon_{r,HMA} 10^{\bar{k}_z} n^{\bar{k}_z \beta_{2r}} T^{\bar{k}_z \beta_{3r}}$$

$$\bar{k}_z = (C_1 + C_2) \cdot 0.328196^D$$

$$C_1 = -0.104(H_{HMA})^2 + 2.487 H_{HMA} - 17.342$$

$$C_2 = 0.017(H_{HMA})^2 - 1.733 H_{HMA} + 27.428$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constantes Globales	Constantes Locales
k1r : -3.35412	β1r : 1
k2r : 0.4791	β2r : 1
k3r : 1.5606	β3r : 1

Aceptar

Figura 67 Modelo de Predicción de Ahuellamiento
Fuente: Elaboración propia.

Modelos de Predicción del Deterioro

FC_{bot} Fisuramiento Piel de Cocodrilo

Modelo de Fatiga para HMA

$$N_f = \bar{k}_{f1} (C) (C_H) \beta_{f1} (\varepsilon_r)^{\bar{k}_{f2} \beta_{f2}} (E_{HMA})^{\bar{k}_{f3} \beta_{f3}}$$

$$C = 10^M$$

$$M = 4.84 \left(\frac{V_{be}}{V_a + V_{be}} - 0.69 \right)$$

$$C_H = \frac{1}{0.000398 + \frac{0.003602}{1 + e^{(1102 - 349 H_{HMA})}}}$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constantes Globales	Constantes Locales
kf1 : 0.007566	βf1 : 1
kf2 : 3.9492	βf2 : 1
kf3 : 1.281	βf3 : 1

Modelo de Fisuramiento tipo Piel de Cocodrilo

$$FC_{Bottom} = \left(\frac{1}{60} \right) \left(\frac{C_4}{1 + e^{(C_1 C_2 + C_3 \log DI_{bottom} \cdot 100)}} \right)$$

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

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

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constantes Locales

C1 : 1
C2 : 1
C4 : 6000

Aceptar

Figura 68 Modelo de Predicción de Fisuramiento de Cocodrilo
Fuente: Elaboración propia.

Modelos de Predicción del Deterioro

FC_{lv} Fisuramiento Longitudinal

Modelo de Fatiga para HMA

$$N_f = k_{f1}(C)(C_H)\beta_{f1}(\varepsilon_r)^{k_{f2}\beta_{f2}}(E_{HMA})^{k_{f3}\beta_{f3}}$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constantes Globales	Constantes Locales
kf1 : 0.007566	βf1 : 1
kf2 : 3.9492	βf2 : 1
kf3 : 1.281	βf3 : 1

Modelo de Fisuramiento Longitudinal

$$FC_{Top} = 10.56 \left(\frac{C_4}{1 + e^{(C_1 - C_2 \log D_{top})}} \right)$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constantes Locales

C1 : 7
C2 : 3.5
C4 : 1000

Figura 69 Modelo de Predicción de Fisuramiento Longitudinal
Fuente: Elaboración propia.

Modelos de Predicción del Deterioro

TC Fisuramiento Transversal

Modelo de Fisuramiento Térmico

$$\Delta C = A(\Delta K)^n$$

$$A = k_{\tau}\beta_{\tau}10^{[4389-2521\log(E_{max}\sigma_{\tau}^*)]}$$

$$n = 0.8 \left(1 + \frac{1}{m} \right)$$

$$K = \sigma_{tip} [0.45 + 1.99(C_0)^{0.56}]$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

	Constante Global	Constante Local
Nivel 1	kt : 1.5	βt : 1
Nivel 2	kt : 0.5	βt : 1
Nivel 3	kt : 1.5	βt : 1

Modelo de Fisuramiento Transversal

$$TC = \beta_{t1} N \left[\frac{1}{\sigma_d} \log \left(\frac{C_d}{H_{HMA}} \right) \right]$$

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

Constante Global

βt1 : 400

Figura 70 Modelo de Predicción de Fisuramiento Transversal
Fuente: Elaboración propia.

Modelos de Predicción del Deterioro

IRI Regularidad Superficial

Modelo de Rugosidad Superficial

$$IRI = IRI_0 + C_1(RD) + C_2(FC_{Total}) + C_3(TC) + C_4(SF)$$

$$SF = Age^{1.5} \{ \ln[(p+1)(FI+1)P_{02}] + \ln[(p+1)(PI+1)P_{200}] \}$$

Condición Inicial

IRI₀ : cm/Km

Constantes de Calibración

Definido por MEPDG Definido por el Usuario

C1 : C3 :

C2 : C4 :

Figura 71 Modelo de Predicción de Regularidad Superficial
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, tenemos los resultados del ahuellamiento para los espesores de capa provenientes del diseño por AASHTO 93: Carpeta asfáltica (9 cm), base (15 cm) y sub base (15 cm)

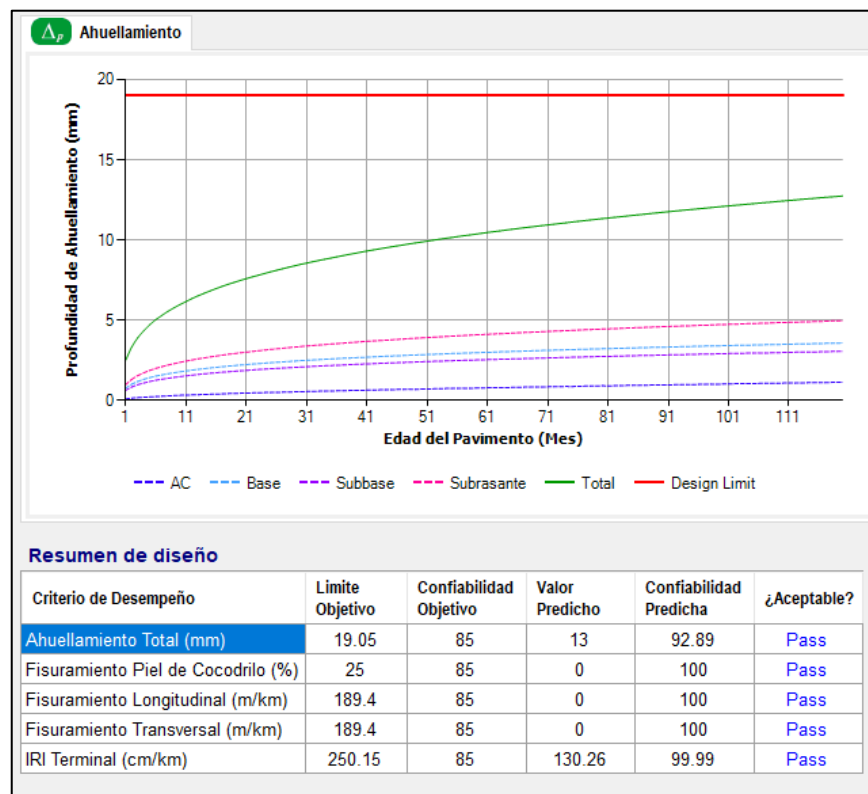


Figura 72 Modelo de Predicción de Ahuellamiento Total (Tramo I)
Fuente: Elaboración propia.

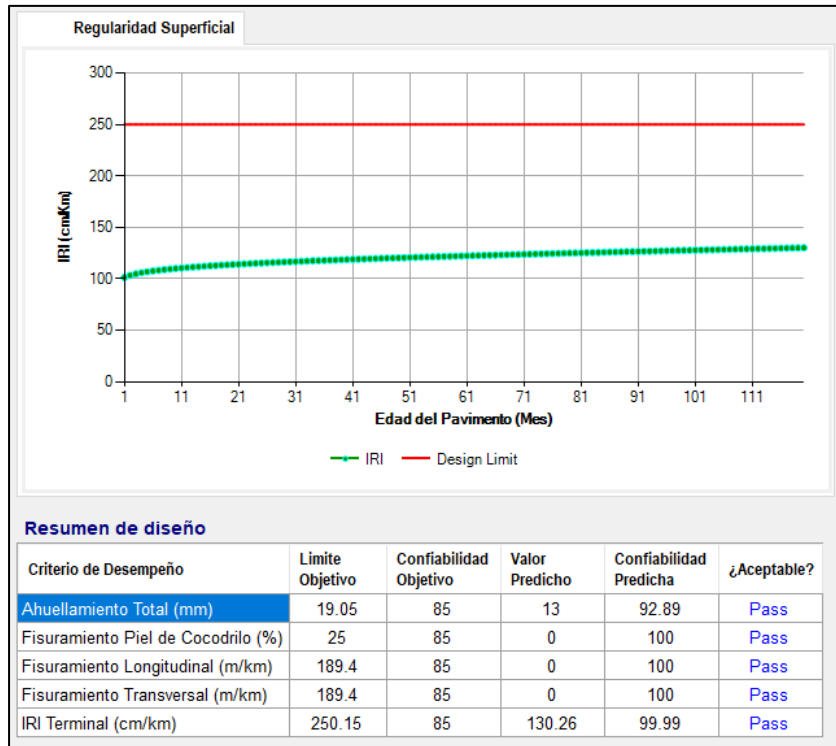


Figura 73 Modelo de Predicción de Regularidad Superficial (Tramo I)
Fuente: Elaboración propia.

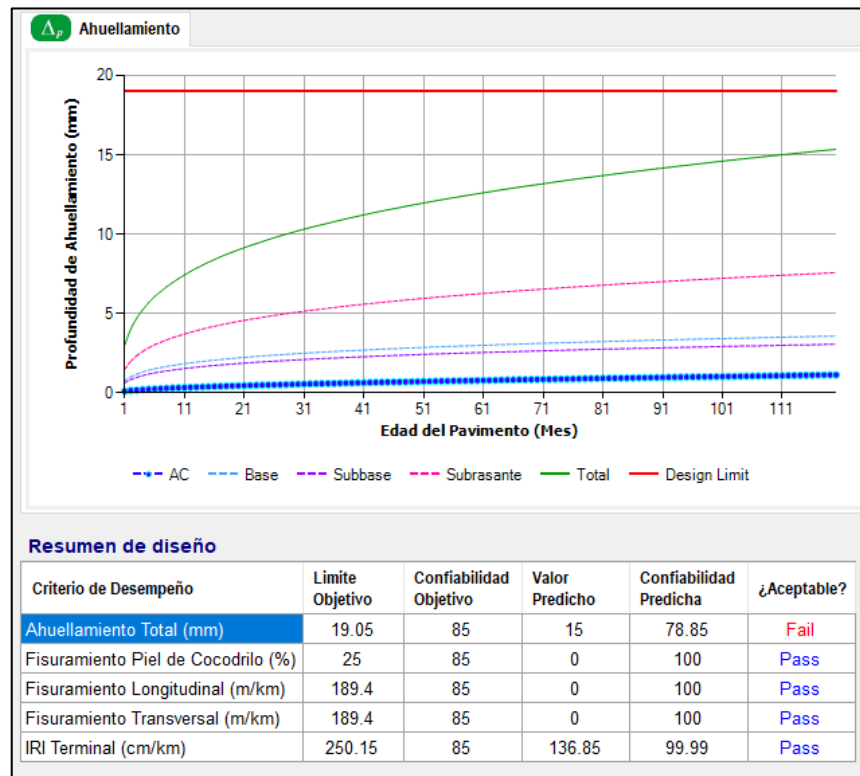


Figura 74 Modelo de Predicción de Ahuellamiento Total (Tramo II)
Fuente: Elaboración propia.

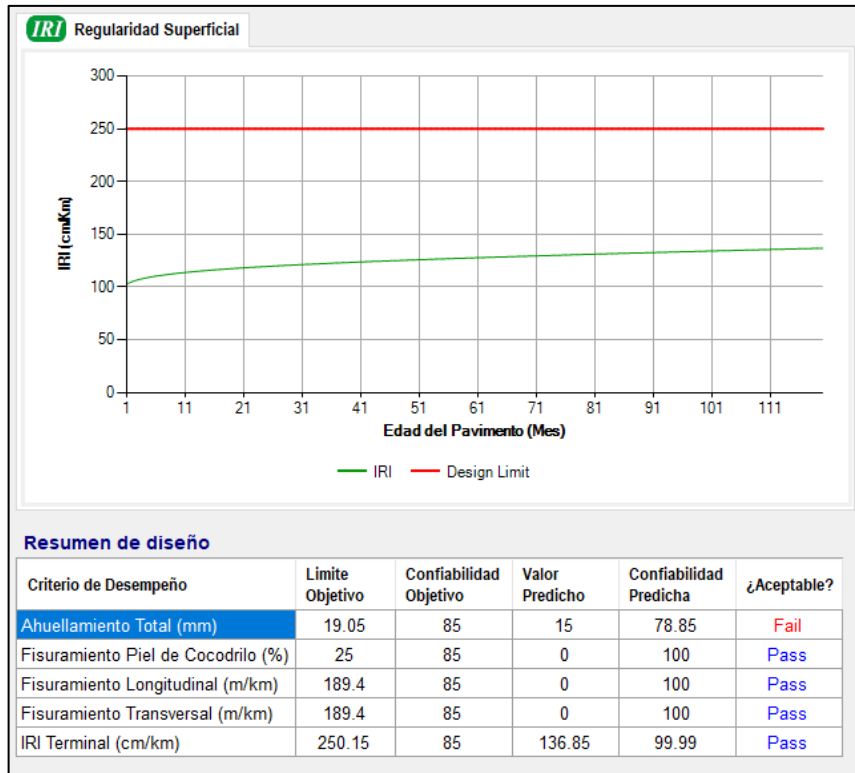


Figura 75 Modelo de Predicción de Regularidad Superficial (Tramo II)
Fuente: Elaboración propia.

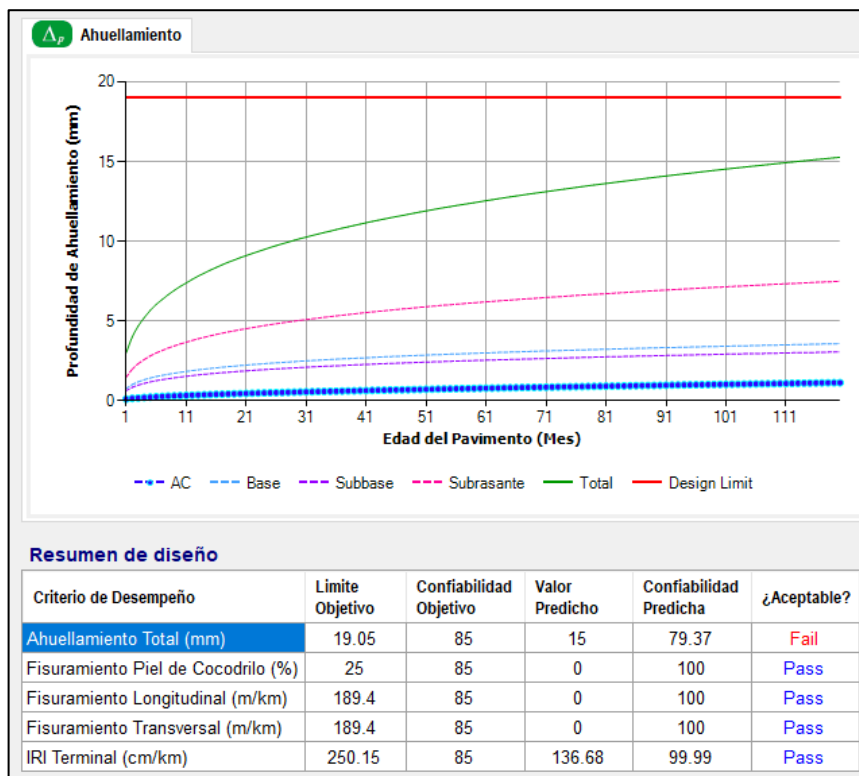


Figura 76 Modelo de Predicción de Ahuellamiento Total (Tramo III)
Fuente: Elaboración propia.

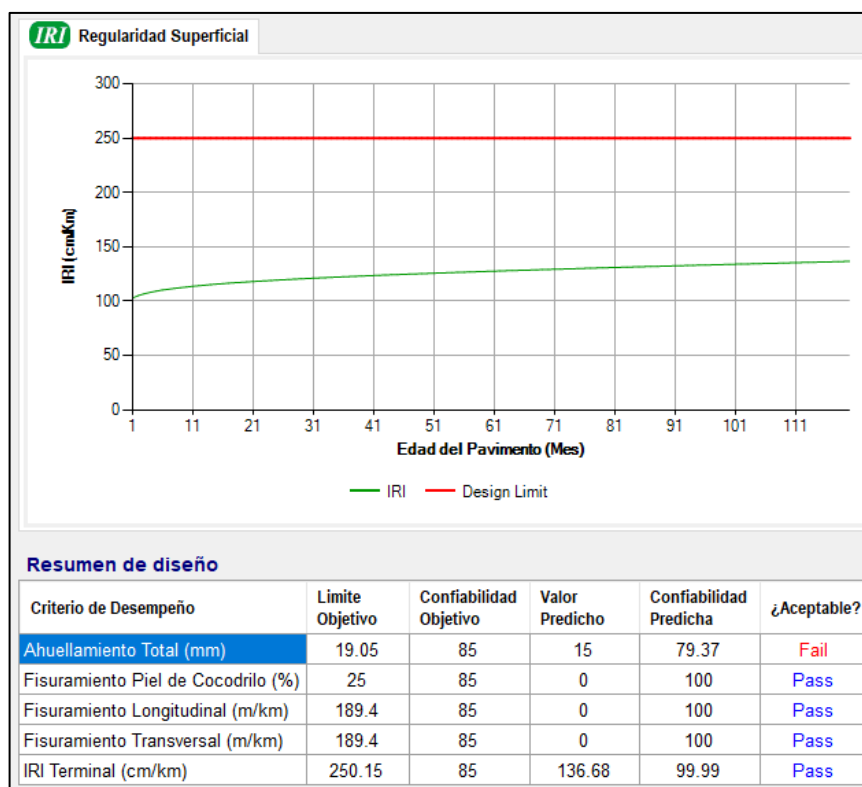


Figura 77 Modelo de Predicción de Regularidad Superficial (Tramo III)

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar el análisis por el MEPDG en los 3 tramos teniendo en cuenta el diseño inicial con el método AASHTO 93 y las características de los materiales de cada tramo, tenemos como resultado la falla del pavimento por ahuellamiento en el tramo 2 y tramo 3. Cabe señalar que las características de diseño son similares a las realizadas con el AASHTO 93 (Periodo de diseño, CBR de la subrasante, etc.)

Debido a esto, es necesario realizar un nuevo cálculo para hallar los espesores de la estructura del pavimento que puedas satisfacer la confiabilidad objetivo del diseño.

En el tramo II, se obtuvo la siguiente estructura del pavimento:



Figura 78 Estructura Final del Pavimento (Tramo II)
Fuente: Elaboración propia.

Tenemos los siguientes resultados según el MEPDG:

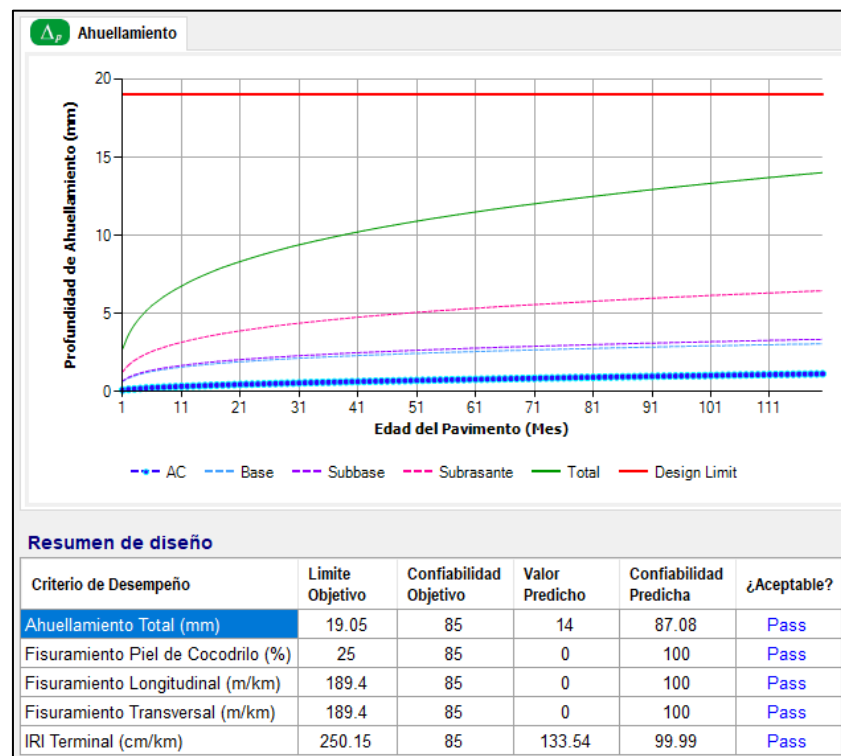


Figura 79 Modelo de Predicción de Ahuellamiento con Estructura Final (Tramo II)
Fuente: Elaboración propia.

En el tramo III, se obtuvo la siguiente estructura del pavimento:



Figura 80 Estructura Final del Pavimento (Tramo III)

Fuente: Elaboración propia.

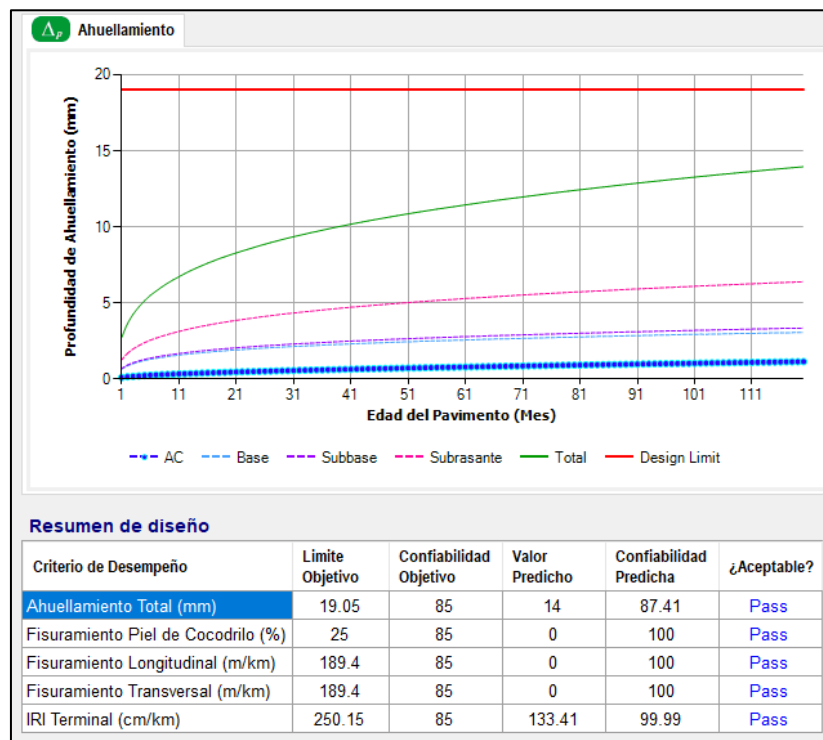


Figura 81 Estructura Final del Pavimento (Tramo III)

Fuente: Elaboración propia.

Por razones de uniformizar la sección, se realizará el análisis en el Tramo I con la siguiente sección:



Figura 82 Estructura Final del Pavimento (Tramo I)
Fuente: Elaboración propia.

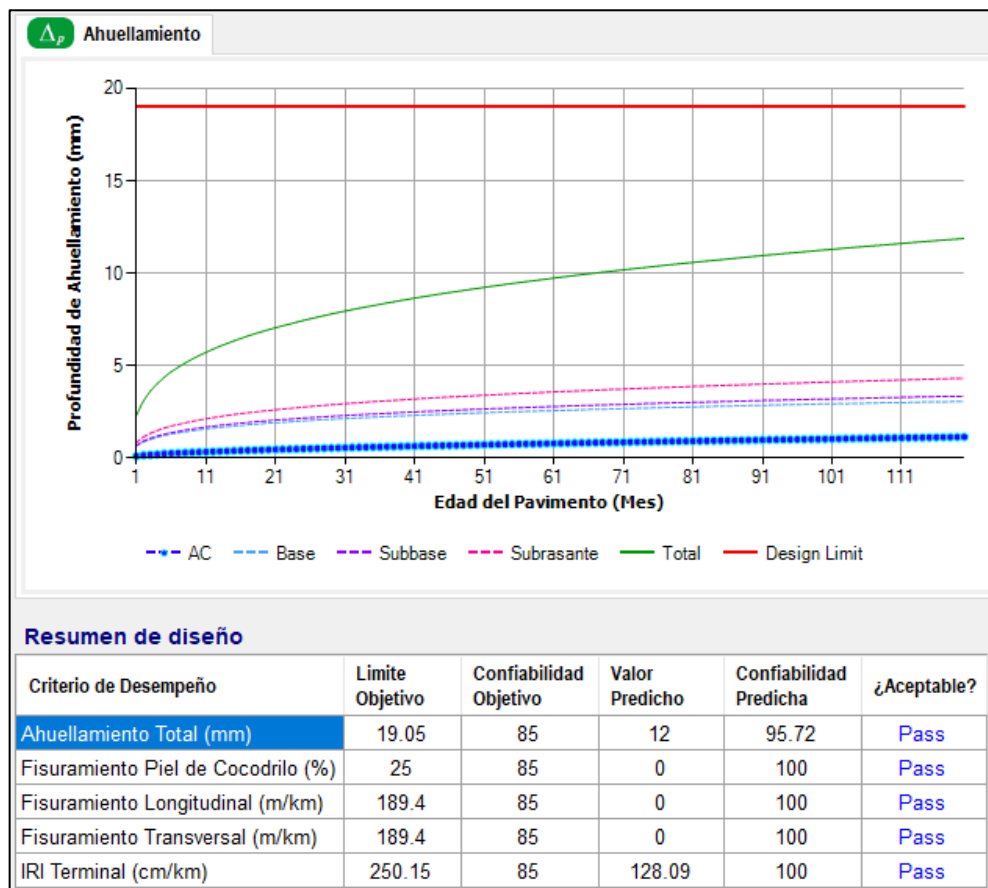


Figura 83 Estructura Final del Pavimento (Tramo I)
Fuente: Elaboración propia.

4.2. Contrastación de hipótesis

El diseño por la metodología MEPDG tuvo más parámetros de ingreso que el método AASHTO 93. En lo que respecta al diseño del pavimento mediante la metodología AASHTO 93 tenemos que las subrasante de los tres sectores son competentes, y por eso en teoría indica necesitar unos pocos centímetros (o cero) de capa de subbase. De acuerdo a la EG2013 considera como tamaño máximo en la granulometría de subbase de 2", lo que te obliga a tener capas de mínimo 15 cm de espesor en esta capa. Por lo anterior y de acuerdo a la tabla de espesores mínimos se propone una estructura de 9 cm, 15 cm y 15 cm (CA, base y Subbase) en todos los casos, garantizando así un SN resultante mucho mayor al SN requerido, con una adecuada distribución de esfuerzos y siendo consecuente con el espesor mínimo de capa según el tamaño máximo de partícula. En lo que respecta al diseño del pavimento mediante la metodología MEPDG, al utilizar los mismos espesores obtenidos en el método AASHTO 93 se obtuvieron resultados diferentes en los 3 tramos, siendo el tramo 2 y 3 no competente debido a una falla por ahuellamiento en un periodo de diseño de 10 años. Sin embargo, al cambiar los espesores del pavimento a 10 cm, 15 cm y 20 cm (CA, base y Subbase), la falla por ahuellamiento tuvo valores aceptables, así como también lo obtuvieron los valores de fisuramiento transversal, longitudinal, de piel cocodrilo y de rugosidad.

La metodología AASHTO 93 y el MEPDG obtuvieron espesores muy similares en un primer análisis, sin embargo, al fallar los tramos 2 y 3 se tuvo que cambiar los espesores de la carpeta asfáltica (de 9 cm a 10 cm)

y de la subbase (de 15 cm a 20 cm), manteniéndose el de la base (15 cm). Al no ser mucha la diferencia entre los espesores de carpeta asfáltica y ser la subbase el material más económico de los 3 tipos de material, se llegó a la conclusión que el costo de la construcción no tendrá mucha diferencia entre ambos métodos, sin embargo, al tener un análisis más preciso por el MEPDG y evaluar las posibles fallas, los costos de operación y mantenimiento se verán afectados significativamente recomendando usar los espesores obtenidos por el método MEPDG.

4.3. Discusión de Resultados

4.3.1. Geología y geotecnia

En lo que respecta al área de geología y geotecnia, el resultado de la evaluación geológica del camino es una sectorización por tramos homogéneos del sector de la vía teniendo en cuenta los siguientes criterios: condiciones litológicas, estratigráficas a nivel de los cortes de excavación del proyecto.

- Km 21+500 a 21+800: Sector comprendido entre la quebrada calacaja que está compuesto de material cuaternario recientes, compuesto de bloques de rocas, gravas, arenas sueltas con matriz limosa.
- Km 21+800 a 24+500: Sector de corte comprendido de materiales de conglomerados, arenas semiconsolidados en forma de estratos, secuencias de gravas y arenas.
- Km 24+500 a 26+600: Sector conformado superficialmente de tobas volcánicas y conglomeradas con bloques estratificados de la formación millo.

- Km 26+600 a 30+100: Sector compuesto de material reciente cuaternario, de materiales grava suelta, bloques, arenas y limos de diferentes tamaños subredondeados.
- Km 30+100 a 36+900: Sector conformado de conglomerados sedimentarios de bloques y arenas de materiales cuaternarios, también superficialmente compuesto de tobas volcánicas de color pardo rojizo con cenizas volcánicas.
- Km 36+900 a 37+800: Sector conformado de materiales recientes constituido de gravas, bloques, arenas y limos de sectores de acumulaciones recientes.
- Km 37+800 a 40+200: Sector de materiales de secuencias de estratificación sedimentarias de conglomerados, arenas y limos semiconsolidados.
- Km 40+200 a 45+200: Sector compuesto de tobas volcánicas con intercalaciones de conglomerados que se superponen. Esto comprende a la formación millo.
- Km 45+200 a 52+217: Sector compuesto de materiales sedimentarias como conglomerados, gravas, limos arcillas semiconsolidadas. Los materiales son depósitos cuaternarios.

4.3.2. Estudio de mecánica de suelos

En el primer tramo se realizaron 9 calicatas, en el segundo tramo se realizaron 5 calicatas y en el tercer tramo se realizaron 16 calicatas.

El primer tramo va desde el Km 21+500 al Km 31+150, el cual tiene un suelo con clasificación SUCS GP-GM, es una grava pobremente gradada con limo, no plástico de color marrón claro, sin presencia de boloneras TM 3", no presenta nivel freático, humedad natural de 2.8%

El segundo tramo va desde el Km 31+500 al Km 36+600, el cual tiene un suelo con clasificación SUCS GM, es una grava limosa, de baja plasticidad, de color marrón claro, sin presencia de boloneras TM 3 ½", no presenta nivel freático, humedad natural de 4,7%.

El tercer tramo va desde el Km 36+600 al Km 52+217, el cual tiene un suelo con clasificación SUCS GM, es una grava limosa, de baja plasticidad, de color marrón claro, sin presencia de boloneras TM 3 ½", no presenta nivel freático, humedad natural de 4,7%.

En las calicatas de los tramos I, II y III no se encontró napa freática, se debe tener en cuenta la caracterización climatológica de la zona y un análisis adicional de permeabilidad en caso de usar dicha capa expuesta a tráfico.

El suelo del tramo I, II y II tiene una capacidad de soporte reducida entre 4 a 4,5 kg/cm² (promedio), el diseñador es libre de tomar la carga última y reducirla según su necesidad.

Se ha realizado 30 calicatas a cielo abierto con una profundidad de 0,35 m, esto en relación a un área y longitud de liberación del terreno de aproximadamente 30 km, las calicatas fueron distribuidas dentro de sus áreas tributarias representativas.

4.3.3. Estudio de tráfico

Bajo las condiciones propuestas, como datos proyectados del proyecto Quellaveco, para el Tramo II (km 21+500 @ km 52.217), el ESAL para el 2028 (año10) sería de 2,94E+06

La determinación del factor de carga equivalente para el vehículo tipo B2 que atenderá el transporte de personal entre el Proyecto Quellaveco y la ciudad de Moquegua, se ha estimado de acuerdo a la capacidad de pasajeros a transportar, estimada en 35 personas y las características de un bus con un peso bruto vehicular de 13 toneladas.

Para el vehículo pesado del proyecto Quellaveco que transitará por la vía, de tipo articulado 3S3, se ha estimado un peso bruto vehicular de 48 toneladas, respetando los límites de pesos por ejes según Decreto Supremo 058-2003-MTC “Reglamento Nacional de Vehículos”.

La tasa de crecimiento establecida de 3,87% para el tráfico existente está justificada bajo la metodología exigida por el MTC.

Sin embargo, se ha estudiado la operación del proyecto Quellaveco y ha definido una tasa de crecimiento de 0% para el tráfico generado por la minera, es decir, no considera un crecimiento del tráfico durante un período de diseño de 25 años.

4.3.4. Diseño del pavimento

En el diseño del pavimento se tuvieron en cuenta parámetros dependiendo del tipo de diseño.

Para el método AASHTO 93 se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de tráfico y el estudio de suelos, teniendo en cuenta cada tramo de estudio. En este punto se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 23

Estructura del Pavimento obtenida por AASHTO 93

Estructura	Espesor
Carpeta Asfáltica	9 cm
Base	15 cm
Sub-base	15 cm

Fuente: Elaboración Propia

Para el método MEPDG se tuvieron en cuenta resultados obtenidos en el estudio de tráfico, estudio de suelos y parámetros meteorológicos obtenidos en la base de datos del SENAMHI. Para el primer análisis se utilizaron los resultados de espesores de pavimento. Se inició con la iteración y en este punto se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 24

Resultados provenientes del análisis MEPDG

Criterio de Desempeño	Tramo I		Tramo II		Tramo III		Confiabilidad Objetivo
	Valor Predicho	Confiabilidad	Valor Predicho	Confiabilidad	Valor Predicho	Confiabilidad	
Ahuellamiento Total (mm)	13	92,89	15	78,85	15	79,37	85
Fisuramiento Piel de Cocodrilo (%)	0	100	0	100	0	100	85
Fisuramiento Longitudinal (m/km)	0	100	0	100	0	100	85
Fisuramiento Transversal (m/km)	0	100	0	100	0	100	85
IRI Terminal (cm/km)	130,26	99,99	136,85	99,99	136,68	99,99	85

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que hubo una falla por ahuellamiento en el tramo I y II, se cambió la estructura del pavimento a la siguiente:

Tabla 25

Estructura del Pavimento obtenida por MEPDG

Estructura	Espesor
Carpeta Asfáltica	10 cm
Base	15 cm
Sub-base	20 cm

Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizar el análisis se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 26

Resultados provenientes del segundo análisis MEPDG

Criterio de Desempeño	Tramo I		Tramo II		Tramo III		Confiabilidad Objetivo
	Valor Predicho	Confiabilidad	Valor Predicho	Confiabilidad	Valor Predicho	Confiabilidad	
Ahuellamiento Total (mm)	13	92,89	14	87,08	14	87,41	85
Fisuramiento Piel de Cocodrilo (%)	0	100	0	100	0	100	85
Fisuramiento Longitudinal (m/km)	0	100	0	100	0	100	85
Fisuramiento Transversal (m/km)	0	100	0	100	0	100	85
IRI Terminal (cm/km)	130,26	99,99	133,54	99,99	133,41	99,99	85

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado final tenemos el siguiente Tabla comparativo, donde se comparan los resultados obtenidos del análisis por el método AASHTO 93 y MEPDG:

Tabla 27

Estructura del Pavimento obtenida por los métodos AASHTO 93 y MEPDG

Estructura	AASHTO 93	MEPDG
Carpeta Asfáltica	9 cm	10 cm
Base	15 cm	15 cm
Sub-base	15 cm	20 cm

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar, la estructura del pavimento obtenida por el método MEPDG tiene espesores de pavimentos mayores a los obtenidos por

el método AAHSTO 93. Esto se debe a que el análisis que se realiza en el método MEPDG se basa en la predicción de fallas en la estructura y no en el cálculo de números estructurales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Primera

Tenemos que entre las principales particularidades que encontramos en cada método tenemos que el método AAHSTO 93 toma parámetros del estudio de tráfico para el cálculo del ESAL y parámetros del estudio de suelos, como lo es el CBR. Luego, estos parámetros son correlacionados con otros parámetros de diseño como la confiabilidad, desviación estándar y serviciabilidad para calcular el número estructural, con el número estructural encontramos los espesores del pavimento. Por otro lado, el método empírico mecanístico (MEPDG) tiene varias etapas de evaluación, donde encontramos a los parámetros de entrada para el diseño, entre los cuales tenemos: Análisis del clima (datos de humedad, nivel freático, temperatura y precipitación de la zona de estudio), análisis de los materiales usados para la carpeta asfáltica, base, subbase y subrasante y los parámetros del estudio de tráfico (clasificación y volumen del camión, distribución de carga por eje y proyecciones). Luego se ingresa la posible estructura del

pavimento para determinar el modelo de respuesta del pavimento, los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en la estructura, así como la evolución de estos datos hasta llegar a una posible falla en un periodo de tiempo. En caso de fallar, se iteran los parámetros ingresados y espesores del pavimento hasta encontrar una alternativa de diseño viable (analizando el costo de ciclo de vida, la ingeniería y la constructibilidad).

Segunda

Tenemos al estudio de suelos, en el primer tramo va desde el Km 21+500 al Km 31+150, el cual tiene un suelo con clasificación SUCS GP-GM, es una grava pobremente gradada con limo, no plástico de color marrón claro, sin presencia de boloneras TM 3", no presenta nivel freático, humedad natural de 2,8%. El segundo tramo va desde el Km 31+500 al Km 36+600, el cual tiene un suelo con clasificación SUCS GM, es una grava limosa, de baja plasticidad, de color marrón claro, sin presencia de boloneras TM 3 ½", no presenta nivel freático, humedad natural de 4,7%. El tercer tramo va desde el Km 36+600 al Km 52+217, el cual tiene un suelo con clasificación SUCS GM, es una grava limosa, de baja plasticidad, de color marrón claro, sin presencia de boloneras TM 3 ½", no presenta nivel freático, humedad natural de 4,7%. En las calicatas de los tramos I, II y III no se encontró napa freática, se debe tener en cuenta la caracterización climatológica de la zona y un análisis adicional de permeabilidad en caso de usar dicha capa expuesta a tráfico. El suelo de los tramos I, II y II tiene una capacidad de soporte reducida

entre 4 a 4,5 kg/cm² (promedio), el diseñador es libre de tomar la carga ultima y reducirla según su necesidad. Para el tramo estudiado (km 21+500 – km 52+217) el ESAL para el 2028 sería 2,94E+06.

Tercera

Tenemos al estudio de tráfico, el cual arrojó que el tipo de vehículo para el transporte del personal en el proyecto es B2 y la capacidad estimada para transportar es de 25 personas con un peso bruto de 13 toneladas. Para el vehículo pesado que transitará por la vía, será de tipo articulado 3s3 y se ha estimado un peso bruto de 48 toneladas. Así mismo, la tasa de crecimiento establecida para el tráfico existente es de 3,87%. Finalmente, debido a que se ha estudiado la operación del proyecto Quellaveco, se ha definido una tasa de crecimiento de 0% para el tráfico, es decir, no se considera un crecimiento de tráfico para un periodo de diseño de 25 años.

Cuarta

Tenemos el estudio meteorológico; los datos obtenidos de la estación meteorológica Moquegua para el análisis del clima por el método MEPDG, reflejaron que el valor de la temperatura se mantiene en un rango de 11,3°C en el mes de julio, siendo este el valor más bajo, y el valor más alto de 21°C en el mes de enero. Así mismo, el máximo valor de precipitación (mm/día) se da en el mes de febrero con 21,30 mm/día, manteniéndose el resto del año en 0 mm/día. El valor del nivel

freático se mantiene constante (3,00 m), mientras que el valor de humedad se mantiene en 100% hasta el mes de febrero, siendo variable el resto del año y teniendo el punto más bajo en el mes de julio con 17,17% de humedad.

Quinta

Tenemos que el diseño por la metodología MEPDG tuvo más parámetros de ingreso que el método AASHTO 93. En lo que respecta al diseño del pavimento mediante la metodología AASHTO 93 tenemos que las subrasante de los tres sectores son competentes, y por eso en teoría indica necesitar unos pocos centímetros (o cero) de capa de subbase. De acuerdo a la EG2013 considera como tamaño máximo en la granulometría de subbase de 2", lo que te obliga a tener capas de mínimo 15 cm de espesor en esta capa. Por lo anterior y de acuerdo a la tabla de espesores mínimos se propone una estructura de 9 cm, 15 cm y 15 cm (CA, base y Subbase) en todos los casos, garantizando así un SN resultante mucho mayor al SN requerido, con una adecuada distribución de esfuerzos y siendo consecuente con el espesor mínimo de capa según el tamaño máximo de partícula. En lo que respecta al diseño del pavimento mediante la metodología MEPDG, al utilizar los mismos espesores obtenidos en el método AASHTO 93 se obtuvieron resultados diferentes en los 3 tramos, siendo el tramo 2 y 3 no competente debido a una falla por ahuellamiento en un periodo de diseño de 10 años. Sin embargo, al cambiar los espesores del pavimento a 10 cm, 15 cm y 20

cm (CA, base y Subbase), la falla por ahuellamiento tuvo valores aceptables, así como también lo obtuvieron los valores de fisuramiento transversal, longitudinal, de piel cocodrilo y de rugosidad.

Sexta

Se presenta que la metodología AAHSTO 93 y el MEPDG obtuvieron espesores muy similares en un primer análisis, sin embargo, al fallar los tramos 2 y 3 se tuvo que cambiar los espesores de la carpeta asfáltica (de 9 cm a 10 cm) y de la subbase (de 15 cm a 20 cm), manteniéndose el de la base (15 cm). Al no ser mucha la diferencia entre los espesores de carpeta asfáltica y ser la subbase el material más económico de los 3 tipos de material, se llegó a la conclusión que el costo de la construcción no tendrá mucha diferencia entre ambos métodos, sin embargo, al tener un análisis más preciso por el MEPDG y evaluar las posibles fallas, los costos de operación y mantenimiento se verán afectados significativamente recomendando usar los espesores obtenidos por el método MEPDG.

5.2. RECOMENDACIONES

Primera

Se recomienda para futuras investigaciones realizar una comparación entre las normativas vigentes que rigen estos métodos y así proponer una metodología para la aplicación del Método Mecánico - Empírico en el país.

Segunda

Con respecto a los parámetros geotécnicos, se recomienda en zonas con topografía muy accidentada, realizar un estudio geológico adecuado para identificar fallas y superficies de taludes inestables. Así mismo, realizar una adecuada campaña de investigación geotécnica para obtener los parámetros más cercanos a la realidad posibles.

Tercera

Se recomienda aplicar esta comparación en autopistas de primera clase, para obtener así una gran variedad de censos de tráfico y diferentes tipos de vehículos y camiones, y visualizar cómo afecta esta variedad de tráfico en la vida útil del pavimento.

Cuarta

Con respecto a los parámetros meteorológicos, se recomienda realizar un estudio de como afectarían los factores climáticos en zonas afectadas por las heladas.

Quinta

Se recomienda realizar un estudio donde se comparen los métodos estudiados en esta investigación con métodos que se utilicen en otras naciones y se rijan por normativas diferentes.

Sexta

Se recomienda aplicar esta comparación en autopistas de primera clase, para obtener así mayores diferencias entre los métodos en aspectos económicos, constructivos y el ingreso de parámetros obtenidos de una manera más exigente (ensayos de laboratorio, análisis meteorológico, etc.).

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO*. Estados Unidos.
- Rico, A., Téllez, R., Garnica, P. (1995). *Pavimentos flexibles, problemática, metodologías de diseño y tendencias*. México.
- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Guatemala
- MTC, (2000). *Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000)*. Lima
- Montejo, F. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogota, Colombia: Editorial Agora
- Hernandez, R., Fernández, C., Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación* (5ta ed.). México.
- Jaña, Cristian (2016). Implementación de la Guía de Diseño Mecánico Empírico AASHTO 2008 en la región Piura. Piura: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
- Juarez, B., Rico, (2006). *Mecánica de Suelos Tomo I Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. Moquegua: Editorial Limusa.
- Monsalve, L., Giraldo, L., Maya, J., (2012). *Diseño de Pavimento Flexible y Rígido*. Quindio, Colombia.
- Lopez, A., Canter, S. (2017). *Aplicación de la metodología de diseño de pavimento afirmado por el método mecánico - empírico en la vía Ancoto*

Mahuaypampa. Cusco: Universidad Nacional De San Antonio de Abad del Cusco .

Loyola, J., Navarro, L. (2017). *Estudio comparativo de los métodos AASHTO 1993 y mecanístico - empírico MEPDG AAHSTO 2008 en el diseño del pavimento flexible del Jr. Libertad en el P.J. Miramar Alto - Chimbote*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.

Matallana, C., Blas, I. (2017). *Diseño de pavimento flexible mediante la aplicación del método mecanístico empírico MEDPG - AASHTO 2008*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.

Maximiliano, E. (2016). *Implementación del modelo climático EICM con fines de diseño para pavimento de concreto asfáltico aplicando la metodología MEPDG*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Maya, G., Monselve, E. (2012). *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Colombia.

Micha, M. (2019). *Desarrollo De Software Para El Diseño De Pavimentos Por El Método Mecanístico – Empírico (MEPDG) AASHTO*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

Minaya, O. (2006). *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos*. Lima.

MTC (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras (DG-2013)*. Lima, Perú.

Miranda, R. (2010). *Deterioro en Pavimento Flexible y Rígid*os. Chile: Universidad Austral de Chile.

MTC. (2003). *Registro Nacional de Vehículos*. Lima.

MTC. (2005). *Manual para el diseño de caminos no pavimentados de bajo volumen* . Lima.

- MTC. (2008). *Glosario de Terminos de Uso Frecuente en Mantenimiento de Infraestructura Vial*. Lima, Perú.
- MTC. (2012). *Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG-2000*. Obtenido de: http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/manual/eg-2000/index.htm
- MTC. (2014). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Pavimentos*. Lima, Perú.
- MTC. (2018). *Manual de Diseño Geométrico para Carreteras 2018*. Perú.
- Rico, A., Del Castillo, H. (2010). *Ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas*. Mexico.
- Salamanca, M., Santiago, A. (2014). *Diseño de la Estructura de Pavimiento Flexible por Métodos de INVIAS, AASHTO 93 E Instituto del Asfalto*.
- Soles, D., López, A., Vásquez, K. (2018). *Evaluación estructural de la carretera Puente Virú - Virú, utilizando el método mecanístico*. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- UMSS. (2004). *Pavimentos Texto Guía*. Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.