

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca - Puno
(Km 44+000 – Km. 45+000)

Tesis para optar por el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Luis Alberto Zelada Rojas

ASESOR: Ing. Manuel Alberto Olcese Franzero

Lima, marzo del 2019

RESUMEN DEL PROYECTO

La autopista Juliaca – Puno se encuentra en la Provincia de Juliaca. El tramo seleccionado para el diseño se encuentra concesionada a la empresa COVISUR S.A.

En la tesis se ejecutó el diseño del pavimento de un kilómetro de la vía, entre las progresivas Km. 44+000 al Km. 45+000, siendo el punto de inicio el Óvalo de Juliaca. Dicho tramo pertenece al desvío de la vía principal a través del borde la ciudad y empalma con la vía Puno – Moquegua. Esta vía servirá como medio de transporte para los vehículos pesados y de esta manera, poder aliviar la saturación de las calles en la ciudad de Puno.

El clima de la zona presenta una gran varianza entre el día y la noche, siendo predominante el frío a lo largo de la época de invierno. Durante los meses de junio y julio, se puede llegar a tener una temperatura promedio inferior a los 0°C. Además de esto, se caracteriza por tener poca humedad casi todo el año.

Se procedió a efectuar el diseño del pavimento rígido mediante las metodologías propuestas por el AASHTO y la Portland Cement Association, de la misma manera, el pavimento flexible a través de las propuestas por la AASHTO y el Instituto de Asfalto.

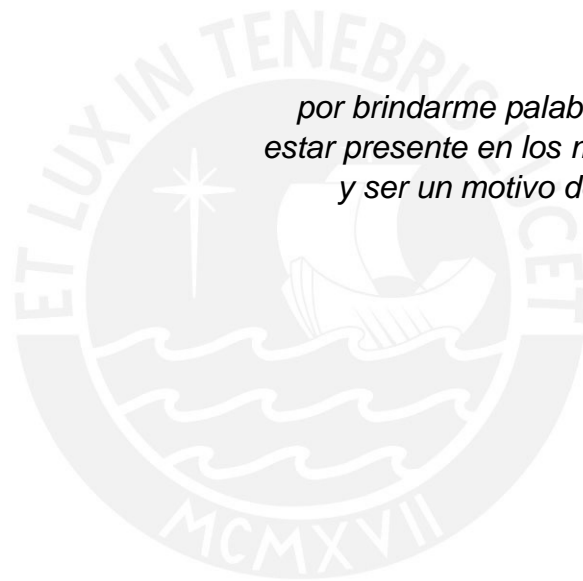
Para finalizar, después de obtenido los espesores de capa correspondientes, se realizó un análisis de presupuestos entre las alternativas planteadas para seleccionar la opción más rentable en el proyecto.

*A mis padres, Luis y Yenny,
por su inmenso cariño y apoyo,
ya que, a pesar de lo sacrificado de su profesión,
siempre han estado presentes
para darme palabras de aliento y de esa manera
pueda superar cada adversidad presente.*

*A mi abuelos, Enrique y Dora,
por sus constantes muestras de cariño,
estar atentos a cada necesidad que he tenido
y siempre encontrarse dispuestos a ayudarme
cada vez que lo he necesitado.*

*A mi hermano José,
por darme apoyo y brindarme consejos
durante la adversidad.*

*A mi compañera Rubí,
por brindarme palabras de aliento y apoyo,
estar presente en los momentos más difíciles
y ser un motivo de superación personal.*



ÍNDICE

| | |
|--|---------|
| CAPÍTULO 1: GENERALIDADES | Pág. 01 |
| 1.1 Introducción..... | Pág. 01 |
| 1.2 Descripción del proyecto..... | Pág. 01 |
| 1.2.1 Ubicación del proyecto..... | Pág. 01 |
| 1.2.2 Características de la zona..... | Pág. 02 |
| 1.3 Objetivos, Alcance y Metodología..... | Pág. 02 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | Pág. 03 |
| 2.1 Definición de pavimento..... | Pág. 03 |
| 2.1.1 Tipos de pavimentos..... | Pág. 03 |
| 2.1.1.1 Pavimento flexible..... | Pág. 03 |
| 2.1.1.2 Pavimento rígido..... | Pág. 08 |
| 2.2 Información requerida para el diseño..... | Pág. 11 |
| 2.2.1 Estudio de mecánica de suelos..... | Pág. 11 |
| 2.2.1.1 Ensayos de Granulometría..... | Pág. 12 |
| 2.2.1.2 Límites de Atterberg..... | Pág. 12 |
| 2.2.1.3 Ensayo de compactación Próctor modificado..... | Pág. 12 |
| 2.2.1.4 Ensayo de valor de soporte de California..... | Pág. 12 |
| 2.2.2 Estudios hidrológicos – pluviométricos..... | Pág. 12 |
| 2.2.3 Estudio de canteras y fuentes de agua..... | Pág. 13 |
| 2.2.4 Estudio de Tráfico..... | Pág. 13 |
| 2.2.4.1 Clasificación de Vehículo..... | Pág. 13 |
| 2.2.4.2 Estimación de la tasa de crecimiento vehicular.... | Pág. 13 |
| 2.2.4.3 Factores destructivos..... | Pág. 13 |
| 2.2.4.4 Proyección de tráfico..... | Pág. 14 |

| | |
|--|---------|
| CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS | Pág. 15 |
| 3.1 Resumen de las características del suelo..... | Pág. 15 |
| 3.2 Ensayo de Granulometría y clasificación del suelo..... | Pág. 15 |
| 3.3 Ensayo de compactación Proctor modificado..... | Pág. 16 |
| 3.4 CBR al 95% del terreno..... | Pág. 16 |
| CAPÍTULO 4: ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS | Pág. 17 |
| 4.1 Estación..... | Pág. 17 |
| 4.2 Clima..... | Pág. 17 |
| 4.3 Precipitaciones promedio mensuales y anuales..... | Pág. 18 |
| CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA | Pág. 22 |
| 5.1 Requisitos para los materiales granulares..... | Pág. 22 |
| 5.1.1 Subbase..... | Pág. 22 |
| 5.1.2 Base..... | Pág. 23 |
| 5.2 Requisitos para fuentes de agua..... | Pág. 24 |
| CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE TRÁFICO | Pág. 25 |
| 6.1 Características del tramo de estudio..... | Pág. 25 |
| 6.2 Índice medio diario anual..... | Pág. 25 |
| 6.3 Estimación de tránsito futuro..... | Pág. 27 |
| 6.4 Factor de carga equivalente..... | Pág. 28 |
| 6.5 Factores de equivalencia..... | Pág. 28 |
| 6.6 Proyección del IMDa..... | Pág. 30 |
| CAPÍTULO 7: DISEÑO | Pág. 34 |
| 7.1 Resumen de datos..... | Pág. 34 |
| 7.2 Método AASHTO para pavimentos flexibles..... | Pág. 35 |
| 7.2.1 Datos de entrada..... | Pág.36 |
| 7.2.2 Cálculo de la estructura del pavimento..... | Pág. 38 |

| | |
|--|----------------|
| 7.3 Método del Instituto de Asfalto para pavimentos flexible..... | Pág. 40 |
| 7.3.1 Datos de entrada..... | Pág. 40 |
| 7.3.2 Valores de la carpeta asfáltica para las diversas propuestas..... | Pág. 41 |
| 7.3.3 Estructura del pavimento..... | Pág. 42 |
| 7.4 Método AASHTO para pavimentos rígidos..... | Pág. 42 |
| 7.4.1 Datos de entrada..... | Pág. 43 |
| 7.4.2 Cálculo de la losa de concreto..... | Pág. 46 |
| 7.5 Método de la PCA para pavimentos rígidos..... | Pág. 46 |
| 7.5.1 Datos de entrada..... | Pág. 46 |
| 7.5.2 Cálculo de la losa de concreto..... | Pág. 48 |
| CAPÍTULO 8: Mantenimiento del Pavimento | Pág. 53 |
| 8.1 Objetivos del Mantenimiento Vial..... | Pág. 53 |
| 8.2 Políticas del Mantenimiento Vial..... | Pág. 53 |
| 8.2.1 Mantenimiento Rutinario | Pág. 54 |
| 8.2.2 Mantenimiento Periódico | Pág. 54 |
| 8.2.3 Mantenimiento de Emergencia | Pág. 54 |
| 8.3 Niveles de Servicio | Pág. 55 |
| CAPÍTULO 9: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS..... | Pág. 59 |
| 9.1 Análisis de precios unitarios..... | Pág. 59 |
| 9.2 Presupuesto de la construcción..... | Pág. 68 |
| 9.3 Elección de la mejor alternativa..... | Pág. 70 |
| CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | Pág. 75 |
| CAPÍTULO 11: REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA..... | Pág. 78 |

LISTA DE TABLAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla 2.1 | Elementos estructurales de los pavimentos flexibles | 04 |
| Tabla 2.2 | Elementos estructurales de los pavimentos rígidos | 09 |
| Tabla 3.1 | Resumen de datos para la subrasante | 15 |
| Tabla 4.1 | Precipitaciones en la zona de Juliaca | 18 |
| Tabla 4.2 | Precipitaciones en la zona de Puno | 20 |
| Tabla 5.1 | Gradación requerida para el material de subbase | 22 |
| Tabla 5.2 | Propiedades mecánicas y químicas para el material de subbase | 23 |
| Tabla 5.3 | Gradación requerida para el material de base | 23 |
| Tabla 5.4 | Propiedades mecánicas y químicas para el material de base | 24 |
| Tabla 5.5 | Requerimiento para fuentes de agua | 24 |
| Tabla 6.1 | Conteo vehicular del tráfico | 26 |
| Tabla 6.2 | Tasa de crecimiento poblacional en Puno | 27 |
| Tabla 6.3 | Tasa de crecimiento PBI en Puno | 27 |
| Tabla 6.4 | Tasa de crecimiento vehicular en el Tramo Juliaca - Puno | 27 |
| Tabla 6.5 | EALF para pavimentos flexibles | 28 |
| Tabla 6.6 | EALF para pavimentos rígidos | 28 |
| Tabla 6.7 | LEF para pavimentos flexibles según la carga vehicular obtenida en el Estudio de Tráfico | 29 |
| Tabla 6.8 | LEF para pavimentos rígidos según la carga vehicular obtenida en el Estudio de Tráfico | 29 |
| Tabla 6.9 | Estimación del ADTo para pavimento flexible | 30 |
| Tabla 6.10 | Estimación del ADTo para pavimento rígido | 31 |
| Tabla 6.11 | Resumen de información para el cálculo del ESAL en el pavimento rígido | 32 |
| Tabla 6.12 | Resumen de información para el cálculo del ESAL en el pavimento flexible | 32 |
| Tabla 6.13 | Resumen de los ESAL para ambos tipos de pavimento | 33 |
| Tabla 7.1 | Resumen de la información obtenida por los estudios realizados | 35 |
| Tabla 7.2 | Resumen de los parámetros requeridos para el diseño | 37 |
| Tabla 7.3 | Coefficientes estructurales de las capas del pavimento flexible | 38 |
| Tabla 7.4 | Coefficientes estructurales de las capas del pavimento rígido | 39 |
| Tabla 7.5 | Número estructural acumulado hasta cada capa en análisis | 40 |
| Tabla 7.6 | Alternativas obtenidas por el Diseño AASHTO | 40 |
| Tabla 7.7 | Alternativas obtenidas bajo las condiciones de diseño propuestas por el IA | 41 |
| Tabla 7.8 | Números estructurales pertenecientes a cada alternativa de diseño | 42 |
| Tabla 7.9 | Espesores de capas establecidos por la AASHTO – IA | 42 |
| Tabla 7.10 | Resumen de las propiedades de diseño requeridas por la Metodología de la AASHTO | 45 |
| Tabla 7.11 | Espesores de capa obtenidas por la Metodología propuesta por la AASHTO – Pavimento Rígido | 46 |

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla 7.12 | Relación de pesos, según el tipo de vehículo, establecido por el Reglamento Nacional Vehicular | 48 |
| Tabla 7.13 | Repeticiones esperadas durante el periodo de diseño según el tipo de carga | 49 |
| Tabla 7.14 | Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 26 y 15 cm. Respectivamente | 49 |
| Tabla 7.15 | Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 26 y 30 cm. Respectivamente | 50 |
| Tabla 7.16 | Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 27 y 15 cm. Respectivamente | 50 |
| Tabla 7.17 | Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 27 y 30 cm. Respectivamente | 51 |
| Tabla 7.18 | Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 28 y 15 cm. Respectivamente | 51 |
| Tabla 7.19 | Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 28 y 30 cm. Respectivamente | 52 |
| Tabla 7.20 | Espesores de capa obtenidos por la Metodología de la PCA | 52 |
| Tabla 8.1 | Tipos de Mantenimiento – Pavimento Flexible | 55 |
| Tabla 8.2 | Tipos de Mantenimiento – Pavimento Rígido | 55 |
| Tabla 8.3 | Cuantificación de los Niveles de Servicio para Tratamiento Superficial – Pavimento Flexible | 56 |
| Tabla 8.4 | Cuantificación de los Niveles de Servicio para Concreto Asfáltico – Pavimento Flexible | 57 |
| Tabla 8.5 | Cuantificación de los Niveles de Servicio para Calzada – Pavimento Rígido | 58 |
| Tabla 9.1 | Análisis de precios unitarios para Perfilado y Conformación de Subrasante – Pavimento Flexible | 59 |
| Tabla 9.2 | Análisis de precios unitarios para Subbase Granular – Pavimento Flexible | 60 |
| Tabla 9.3 | Análisis de precios unitarios para Base Granular – Pavimento Flexible | 60 |
| Tabla 9.4 | APU para Pavimento de Concreto Asfáltico - Pavimento Flexible | 61 |
| Tabla 9.5 | Análisis de precios unitarios para Imprimación Asfáltica – Pavimento Flexible | 61 |
| Tabla 9.6 | APU para Riego de Liga - Pavimento Flexible | 62 |
| Tabla 9.7 | Análisis de precios unitarios para Transporte de material a obra ≤ 1 km. – Pavimento Flexible | 62 |
| Tabla 9.8 | Análisis de precios unitarios para Transporte de material a obra > 1 km. – Pavimento Flexible | 62 |
| Tabla 9.9 | Análisis de precios unitarios para Transporte de mezcla asfáltica ≤ 1 km. – Pavimento Flexible | 63 |

| | | |
|------------|--|----|
| Tabla 9.10 | Análisis de precios unitarios para Transporte de mezcla asfáltica >1km. – Pavimento Flexible | 63 |
| Tabla 9.11 | Análisis de precios unitarios para Tratamiento de Fisuras – Pavimento Flexible | 63 |
| Tabla 9.12 | Análisis de Precios Unitarios para Perfilado y Compactación de Subrasante – Pavimento Rígido | 64 |
| Tabla 9.13 | Análisis de Precios Unitarios para Base Granular – Pavimento Rígido | 64 |
| Tabla 9.14 | Análisis de Precios Unitarios para Concreto $f'c=350$ kg/cm ² – Pavimento Rígido | 65 |
| Tabla 9.15 | Análisis de Precios Unitarios para Dowels – Pavimento Rígido | 65 |
| Tabla 9.16 | Análisis de Precios Unitarios para Barras de Sujeción – Pavimento Rígido | 66 |
| Tabla 9.17 | Análisis de Precios Unitarios para Corte de Juntas – Pavimento Rígido | 66 |
| Tabla 9.18 | Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Material ≤1km. – Pavimento Rígido | 66 |
| Tabla 9.19 | Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Material >1km. – Pavimento Rígido | 67 |
| Tabla 9.20 | Análisis de Precios Unitarios para Sellador de Juntas – Pavimento Rígido | 67 |
| Tabla 9.21 | Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Mezcla Asfáltica ≤1km. – Pavimento Rígido | 67 |
| Tabla 9.22 | Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Mezcla Asfáltica >1km. – Pavimento Rígido | 68 |
| Tabla 9.23 | Análisis de Precios Unitarios para Sello Asfáltico – Pavimento Rígido | 68 |
| Tabla 9.24 | Cuadro comparativo de influencia de partidas según el tipo de pavimento | 69 |
| Tabla 9.25 | Alternativas de diseño para pavimento flexible | 70 |
| Tabla 9.26 | Alternativas de diseño para pavimento rígido | 70 |
| Tabla 9.27 | Frecuencia de Mantenimiento y Porcentaje de Consideración por Tipo de Pavimento | 71 |
| Tabla 9.28 | Presupuesto de alternativas - Pavimento Flexible | 72 |
| Tabla 9.29 | Presupuesto de alternativas - Pavimento Rígido | 72 |
| Tabla 9.30 | Comparativo de presupuestos por alternativa según tipo de Pavimento | 73 |
| Tabla 9.31 | Comparativo de porcentaje de incidencia, según tipo de Pavimento | 74 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1.1 | Ubicación de proyecto | 01 |
| Figura 2.1 | Esquema estructural de un pavimento flexible | 05 |
| Figura 2.2 | Esquema estructural de un pavimento rígido | 10 |
| Figura 4.1 | Mapa de clasificación climática | 17 |
| Figura 4.2 | Precipitaciones media mensuales en Juliaca | 19 |
| Figura 4.3 | Precipitaciones media anuales en Juliaca | 19 |
| Figura 4.4 | Precipitaciones media mensuales en Puno | 21 |
| Figura 4.5 | Precipitaciones media anuales en Puno | 21 |
| Figura 6.1 | Distribución del volumen de tráfico | 26 |
| Figura 7.1 | Cálculo de número estructural para pavimento flexible – Metodología AASHTO | 35 |
| Figura 7.2 | Cálculo del número estructural de un pavimento flexible | 38 |
| Figura 7.3 | Condiciones de diseño para las capas de pavimento flexible | 39 |
| Figura 7.4 | Cálculo del espesor de losa de concreto – Metodología AASHTO | 42 |
| Figura 7.5 | Estimación del módulo de rotura del concreto, según UNICON | 47 |

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción

En el contexto actual, uno de los medios principales de transporte a lo largo del territorio peruano son las autopistas. Debido a esto, es necesario realizar un correcto diseño poder garantizar un desempeño adecuado durante el tiempo de vida del pavimento. Por tal motivo, esta tesis se enfoca en el diseño del pavimento de un kilómetro en una autopista determinada empleando diversas metodologías para poder realizar un análisis de costos, con la finalidad de seleccionar la opción más factible.

1.2 Descripción del proyecto

El pavimento a diseñar pertenece a un 1 km. del proyecto Autopista Juliaca – Puno dentro del tramo Paucarcolla – Puno.

1.2.1 Ubicación del proyecto

La zona donde se encuentra el tramo escogido está localizada entre las progresivas Km. 44+000 y Km. 45+000, siendo el punto de inicio el Óvalo de Juliaca.

Dicho tramo pertenece al desvío de la vía principal a través del borde la ciudad y empalma con la vía Puno-Moquegua.

Esta vía sirve como medio de transporte para los vehículos pesados y de esta manera, poder aliviar en gran manera la saturación de calles en la ciudad de Puno.

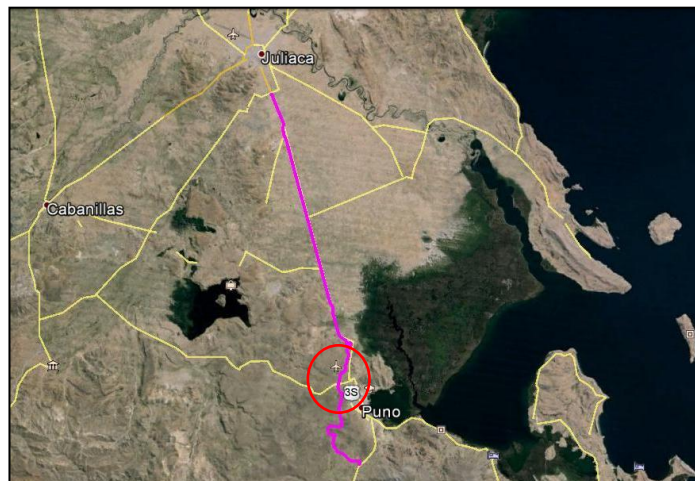


Figura 1.1 Ubicación del proyecto
Fuente: 30 de junio del 2017 (Google Earth)

1.2.2 Características de la zona

El clima de la zona presenta una gran varianza entre el día y la noche, siendo predominante el frío a lo largo de la época de invierno. Durante los meses de junio y julio, se puede llegar a tener una temperatura promedio inferior a los 0°C. Además de esto, se caracteriza por tener poca humedad casi todo el año.

1.3 Objetivos, Alcance y Metodología

El objetivo de esta tesis es realizar el diseño de los pavimentos en un tramo de 1 km. de longitud en la Autopista Juliaca – Puno. Se considerará para el diseño, pavimentos del tipo rígido y flexible.

El pavimento rígido se diseñará mediante las pautas establecidas por la metodología del American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)¹ y la del Portland Cement Association².

De la misma manera, para el diseño del pavimento flexible, se tomará en consideración las metodologías propuestas por el American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el Instituto de Asfalto³. A partir de estos resultados, se realizará un análisis económico sobre las posibilidades obtenidas para definir el diseño que se empleará en la construcción.

¹ American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials.

² Packard, R. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Streets Pavements*. Estados Unidos: Portland Cement Association.

³ Asphalt Institute (1981). *Thickness Design: Asphalt Pavements for Highways and Streets*. Manual Series No. I (MS-I). Estados Unidos: College Park, MD.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de pavimento

El pavimento es una estructura de rodamiento conformado por diversos tipos de capas, que permiten el tráfico seguro y confortable de los vehículos, a velocidades operacionales y las condiciones climáticas propias de la zona, a través de una correcta distribución y transmisión de esfuerzos a lo largo de su espesor, producidos por las cargas del tránsito vehicular que circula en la superficie.

Existen diversos tipos de pavimentos; sin embargo, esta tesis se enfocará en dos tipos: rígidos y flexibles

Para satisfacer adecuadamente sus funciones, un pavimento debe tener las siguientes características⁴:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
- Ser resistente ante los agentes del intemperismo
- Tener textura adecuada para el rodamiento con una fricción apropiada para evitar el deslizamiento y además resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas.
- Ser durable
- Tener condiciones adecuadas respecto al drenaje
- Ser económico
- Deber tener el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

2.1.1 Tipos de Pavimentos

2.1.1.1 Pavimento Flexible

Se denominan pavimentos flexibles todos aquellos que están formados por una capa bituminosa apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (base y subbase) que transmiten esfuerzos al terreno de soporte o fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo con la profundidad.

⁴ Higuera, Carlos. (2010) *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras. Volumen 1*. Tunja: Uptc. Pág. 15

En la tabla 2.1, se presentarán los elementos estructurales que conforman un pavimento flexible y las funciones que cumplen⁵.

| ELEMENTO | TIPOS | FUNCIONES | MATERIALES |
|-----------------------------|---|--|--|
| Subrasante | <ol style="list-style-type: none"> Según sección <ul style="list-style-type: none"> Subrasante en corte Subrasante en terraplén Subrasante mixta Según material <ul style="list-style-type: none"> Subrasante en roca Subrasante en suelo arenoso Subrasante en suelo limoso Subrasante en suelo plástico | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Servir de fundación al pavimento | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Roca ❖ Suelos ❖ Agua |
| Bases y subbases | <ol style="list-style-type: none"> Bases granulares simples <ul style="list-style-type: none"> Gradación abierta Gradación densa Gradación intermedia Uniforme Bases de suelos estabilizada <ul style="list-style-type: none"> Suelo – cemento Suelo – cal Suelo – asfalto Suelos – aditivos químicos Bases asfálticas <ul style="list-style-type: none"> Granular estabilizada con asfalto Macadam asfáltico Concreto asfáltico | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Función económica ➤ Capa de transición ➤ Disminución de deformaciones ➤ Resistencia ➤ Drenaje ➤ Amortiguar los cambios de volumen de la subrasante ➤ Facilitar la construcción ➤ Servir de rodadura provisional | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Agregados ❖ Agua ❖ Suelo ❖ Cemento ❖ Asfalto |
| Riego de imprimación | <ol style="list-style-type: none"> Imprimación | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Ligar ➤ Impermeabilizar | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Asfalto líquido ❖ Emulsiones asfálticas |
| Carpeta asfáltica | <ol style="list-style-type: none"> Tratamientos superficiales <ul style="list-style-type: none"> Simple Doble Triple Cuádruple Macadam asfáltico Concreto asfáltico <ul style="list-style-type: none"> Mezcla en vía Mezcla en planta en frío o en caliente | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Proveer una superficie de rodadura suave y segura ➤ Impermeabilizar la estructura ➤ Mejorar la capacidad estructural ➤ Limpieza | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Agregados ❖ Asfalto |

Tabla 2.1 Elementos estructurales de los pavimentos flexibles

Fuente: Fernández, Hernán. (1985) *Conferencias de pavimentos*. Popayán: Universidad del Cauca. Pág. 10

⁵ Higuera, Carlos. (2010) *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras. Volumen 1*. Tunja: Uptc. Pág. 15

En la figura 2.1, se presenta capas que componen el sistema estructural del pavimento flexible, las cuales son las siguientes⁶:

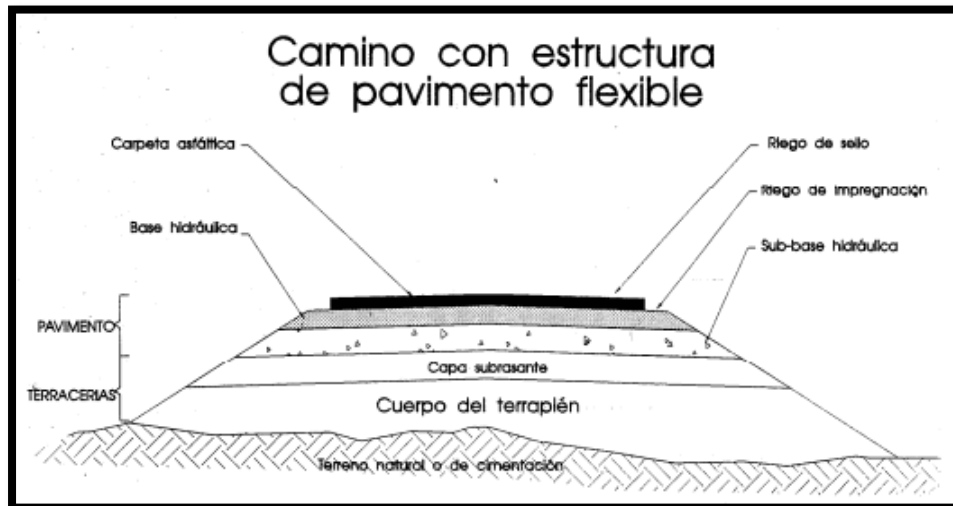


Figura 2.1 Esquema del sistema estructural de un pavimento flexible
Fuente: Murillo, Angela (2012) *Generalidades sobre Vías y Pavimentos*.
 Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo. Pág. 12

- Subrasante: es el terreno de cimentación del pavimento. Puede ser el suelo natural, debidamente recortado y compactado; o puede ser, debido a los requerimientos del diseño geométrico, cuando el suelo natural es deficiente, y el material seleccionado de relleno es de buena calidad. En todo caso, el material deberá cumplir con las normas de calidad del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, MTC.
- Subbase: es una capa de materiales pétreos, de buena gradación, construida sobre la subrasante. Esta capa, al igual que la anterior, deberá cumplir con los requisitos de compactación y de calidad a que se hace referencia.

Esta capa es la que subyace a la capa base, cuando ésta es necesaria, como en el caso de los pavimentos flexibles. Normalmente, la subbase se construye para lograr espesores menores de la capa base y lograr una mejora en el presupuesto inicial.

⁶ Salazar, Aurelio. (1998) *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. México D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. Pág. 6

- Base: es la capa intermedia entre la capa de rodamiento y la subbase. Se compone de materiales pétreos con buena distribución granulométrica. Esta capa permite reducir los espesores de carpeta, dada su función estructural importante al reducir los esfuerzos cortantes que se transmiten hacia las capas inferiores. Además, cumple una función drenante del agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento.
- Carpeta asfáltica: es la superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las terracerías. Pueden ser materiales granulares con o sin liga, o más comúnmente de concreto asfáltico, en sus diferentes variantes. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones.

Un pavimento debe ser diseñado de tal manera que las cargas impuestas por el tránsito no generen deformaciones permanentes excesivas. En el caso de los pavimentos flexibles, estas deformaciones se producen en cada una de las capas. Los métodos de diseño como Shell (1978), AI (The Asphalt Institute, 1982), AASHTO (American Association of State Highway Officials, 1986, 1993), DMRB (Design Manual for Roads and Bridges, 1994), TRL (Transportation Research Laboratory, 1993), Invias (Instituto Nacional de los Andes, 2002) y el método mecánico - empírico MEPDG (2004) suponen que las deformaciones permanentes ocurren principalmente en la subrasante.

Sin embargo, en vías en las que se construyen capas asfálticas delgadas o de baja rigidez, las capas granulares soportan el esfuerzo aplicado casi en su totalidad, y la magnitud de dichos esfuerzos puede llegar a generar elevados valores de deformación permanente. Por lo tanto, las metodologías de diseño deben tener en cuenta las deformaciones que se producen son capaces de reproducir el comportamiento de estos materiales bajo diversas trayectorias de carga cíclica y condiciones del medio ambiente⁷.

⁷ Rondón, H., Reyes F. (2015) *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Miraflores: Macro. Pág. 397

Se presentará los alcances de los métodos de diseño que se emplean en el cálculo de los espesores del pavimento flexible⁸.

- Método de diseños empíricos: se correlaciona el comportamiento de los pavimentos *in situ*, a través de observaciones y mediciones de campo, con los factores que causan los mecanismos de degradación de estas estructuras. Los factores más importantes son las cargas impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales a las que se encuentra sometida la estructura, el tipo de suelo o terreno de fundación (subrasante) y la calidad de los materiales empleados.

Los principales mecanismos de degradación que se intentan controlar en las metodologías empíricas (y también en las mecanicistas) son dos: fatiga y exceso de deformación permanente.

- Método de diseños analíticos, mecanicistas o racionales: tiene en cuenta cómo el estado de esfuerzo y deformación que experimentan las capas que conforman la estructura del pavimento influyen en el comportamiento de este.

Para el cálculo de los esfuerzos y deformaciones, se emplean programas de computador disponibles desde la década de los sesenta

En estos programas se introducen la carga, la presión de contacto, las propiedades mecánicas de los materiales (por lo general el módulo de resiliente y la relación de Poisson) y el espesor de las capas del pavimento con el fin de obtener los estados de esfuerzo y de deformación. Una vez calculados estos estados, se comparan con aquellos que admite el pavimento para la vida útil proyectada y en un procedimiento de ensayo y error (aumentando o disminuyendo por lo general los espesores de las capas) se dimensionan las capas que conformarán la estructura del pavimento.

Algunos de estos programas son: ALIZE (LCPC, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), ELSYMS (Chevron Oil), BISAR (Shell), KENLAYER (University of Kentucky) y DEPAV (Universidad del Cauca).

⁸ Rondón, H., Reyes F. (2015) *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Miraflores: Macro. Pág. 398 - 413

- Programa de elementos finitos (FEM) emplea programas de elementos finitos para la determinación de esfuerzos y deformaciones. Estos programas utilizan ecuaciones constitutivas para el cálculo de esfuerzos y deformaciones, las cuales suponen que el material es un continuo (no se tiene en cuenta el comportamiento individual de los componentes del material, sino su comportamiento global a nivel macromecánico).

Las ventajas del empleo de programas de elementos finitos radican en que pueden llegar a tener en cuenta que los materiales granulares no tratados que conforman pavimentos exhiben un comportamiento no lineal, dependiente de la condición de esfuerzos, y un comportamiento viscoso en las capas asfálticas y en la subrasante. Son capaces además de modelar diferentes geometrías, condiciones de frontera, criterios de falla y carga cíclica.

- Programas de elementos discretos (DEM): emplea modelos numéricos computacionales llamados elementos discretos, los cuales utilizan este tipo de elementos para el cálculo de fuerzas y desplazamientos entre partículas de un esqueleto granular.

Con esta metodología se intentan describir fenómenos físicos del comportamiento de los materiales a nivel micromecánico para poder entender el comportamiento que presentan a nivel macro.

Algunos parámetros a nivel micro son la fricción, la cohesión, la geometría, la densidad y la rigidez de partículas (normal y tangencial).

2.1.1.2 Pavimento Rígido

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, apoyada sobre una subrasante o una capa de material seleccionado que se denomina subbase del pavimento rígido.

Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como a su elevado módulo de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia⁹.

En la tabla 2.2, se presentarán los elementos estructurales que conforman un pavimento rígido y las funciones que cumplen.

| ELEMENTO | TIPOS | FUNCIONES | MATERIALES |
|----------------------------------|--|--|---|
| Subrasante | <ol style="list-style-type: none"> Según sección <ul style="list-style-type: none"> Subrasante en corte Subrasante en terraplén Subrasante mixta Según material <ul style="list-style-type: none"> Subrasante en roca Subrasante en suelo arenoso Subrasante en suelo limoso Subrasante en suelo plástico | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Servir de fundación al pavimento | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Roca ❖ Suelos ❖ Agua |
| Bases y subbases | <ol style="list-style-type: none"> Bases granulares simples <ul style="list-style-type: none"> Gradación abierta Gradación densa Gradación intermedia Uniforme | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Capa de transición ➤ Dar capacidad al pavimento ➤ Amortiguar cambios de volumen de la subrasante ➤ Facilitar el drenaje | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Agregados ❖ Agua ❖ Suelo ❖ Cemento ❖ Asfalto ❖ Otros |
| ELEMENTO | TIPOS | FUNCIONES | MATERIALES |
| Bases y subbases | <ol style="list-style-type: none"> Bases de suelos estabilizada <ul style="list-style-type: none"> Suelo – cemento Suelo – cal Suelo – asfalto Suelos – aditivos químicos Bases asfálticas <ul style="list-style-type: none"> Riegos asfálticos Tela de polietileno Otros | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilitar el drenaje ➤ Facilitar la construcción ➤ Servir de rodadura provisional ➤ Prevenir el fenómeno del bombeo | |
| Elemento antifriccionante | <ul style="list-style-type: none"> Riegos asfálticos Tela de polietileno Otros | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducir la fricción entre la base y la losa | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Asfalto ❖ Polietileno ❖ Otros |
| Losa | <ul style="list-style-type: none"> De concreto simple De concreto reforzado De concreto preesfrozado | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Resistencia estructural ➤ Superficie de rodadura ➤ Impermeabilización | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Concreto ❖ Acero de refuerzo |
| Juntas | <ol style="list-style-type: none"> Según su función: <ul style="list-style-type: none"> De construcción – contracción De expansión y alabeo Según su posición: <ul style="list-style-type: none"> Longitudinal Transversal Según su forma: <ul style="list-style-type: none"> Al tope, caras planas Con luz Según refuerzo: <ul style="list-style-type: none"> Sin pasadores Con pasadores (transferencia) | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Facilitar la construcción ➤ Controlar el agrietamiento por expansión, contracción o alabeo de las losas | <ul style="list-style-type: none"> ❖ Llenante ❖ Sellantes ❖ Acero |

Tabla 2.2 Elementos estructurales de los pavimentos rígidos

Fuente: Fernández, Hernán. (1985) *Conferencias de pavimentos*. Popayán: Universidad del Cauca. Pág. 11

⁹ Higuera, Carlos. (2010) *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras. Volumen 1*. Tunja: Uptc. Pág. 17

En la figura 2.2, se presenta las capas que componen el sistema estructural del pavimento rígido, las cuales son las siguientes¹⁰:

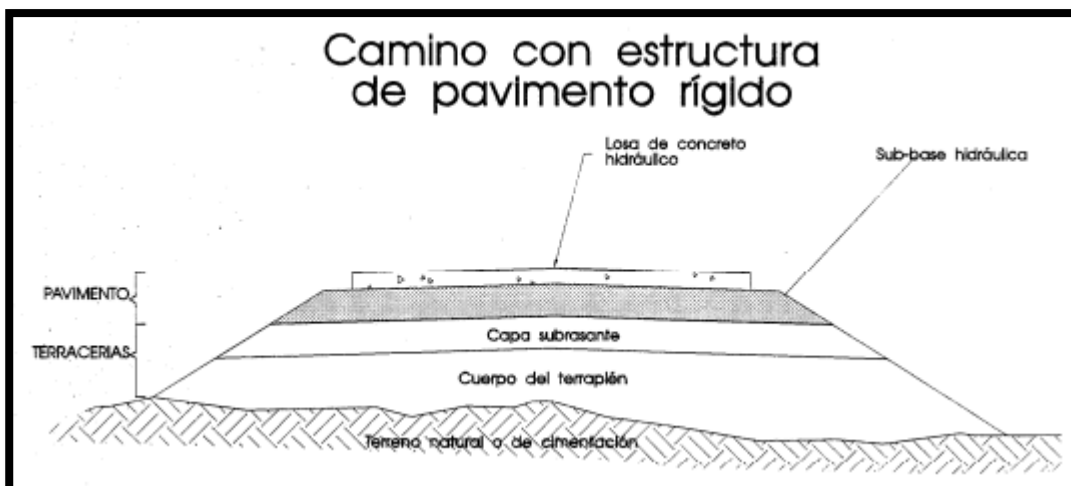


Figura 2.2 Esquema del sistema estructural de un pavimento rígido
Fuente: Murillo, Angela (2012) *Generalidades sobre Vías y Pavimentos*.
Instituto Universitario de Tecnología de Maracaibo. Pág. 13

- Subbase: es una capa que tiene como función más importante el impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas.

El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas. Además de esto, sirve como capa de transición y suministra un apoyo uniforme, estable y permanente a la estructura. De la misma manera, mejora el drenaje y reduce al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento. Así mismo, ayuda a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento

- Losa de concreto: es la superficie de rodamiento constituida por concreto hidráulico para pasar minimizados los esfuerzos hacia las tarraceras. Constituye el área por donde circulan los vehículos y peatones.

¹⁰ Montejo, Alfonso (2006) *Ingeniería de Pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. Pág. 5 – 7.

Debido a que se trata de concreto, esta estructura puede ser sometida a cambios de volúmenes debido a la dilatación y contracción del concreto, por lo que es necesaria la presencia de juntas al momento de realizar el proceso constructivo.

Al momento de realizar el diseño del pavimento rígido, es necesario conocer que el criterio que rige los parámetros de análisis es la flexión de la estructura. En consecuencia, se propuso los siguientes análisis, de acuerdo a lo expresado por Huang¹¹:

- Soluciones analíticas: Se obtuvieron 3 propuestas significativas. La fórmula de Goldbeck, el análisis de Westergaard y el análisis de Pickett.

La primera toma como presupuesto, la modelación del pavimento como una viga sobre la cuál actúa una carga concentrada en la esquina.

La segunda asume que la losa de concreto y la capa continua a esta, se deforman de la misma manera, por lo que la presión aplicada sobre la subrasante es la producida por la deflexión en el punto de análisis.

La tercera formuló teorías en donde se idealiza que el medio donde actúa la losa de concreto tiene comportamiento elástico.

- Soluciones numéricas: Dicho análisis se basa en el modelamiento de un sistema compuesto por la losa de concreto y la capa adyacente para poder tener como respuesta un comportamiento macroestructural del sistema a través del uso de programas de elementos finitos y elementos discretos.

2.2 Información requerida para el diseño

A pesar de emplearse diversas metodologías de diseño en la presente tesis, es necesario conocer la siguiente información para poder realizar los diseños respectivos.

2.2.1 Estudio de mecánica de suelos

La finalidad de un estudio de suelos es conocer las características físico – mecánicas de la subrasante y las canteras que van a ser empleadas en la construcción de la vía. Para ellos, es necesario realizar los siguientes ensayos:

¹¹ Huang, Y. (2004) *Pavements analysis and design* (Segunda ed.) New Jersey: Pearson Hall. Pág. 6 – 8.

2.2.1.1 Ensayo de Granulometría

Este ensayo nos permite conocer de manera cuantitativa la distribución de los tamaños de las partículas del suelo con la finalidad de obtener su clasificación AASHTO y SUCS de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (EM 2016)¹².

2.2.1.2 Límites de Atterberg

Este ensayo nos permite conocer las propiedades plásticas del suelo y la humedad requerida para que exista un cambio de estado entre plástico y líquido de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (EM 2014)¹³.

2.2.1.3 Ensayo de compactación Próctor modificado

Este ensayo nos permite conocer la máxima densidad de compactación del suelo y la humedad óptima necesaria para poder llegar a esa condición mediante a la aplicación de una energía de 2700 kN-m/m³ de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (EM 2016)¹⁴.

2.2.1.4 Ensayo de valor de soporte de California o CBR

Este ensayo nos permite determinar el índice de resistencia de los suelos denominado valor de relación de soporte, como CBR (California Bearing Ratio) bajo determinadas condiciones de humedad y densidad de acuerdo al Manual de Ensayo de Materiales (EM 2016)¹⁵.

2.2.2 Estudios hidrológicos – pluviométricos

Este estudio nos permite conocer la precipitación promedio diaria y temperatura ambiental por medio de las estaciones empleadas para la recolección de información en el tramo de diseño.

¹² Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales EM-2016 E 107*. Lima: Perú.

¹³ Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales EM-2016 E 110-111*. Lima: Perú.

¹⁴ Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales EM-2016 E 115*. Lima: Perú.

¹⁵ Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de Materiales EM-2016 E 132*. Lima: Perú.

Esta información es necesaria, ya que nos permite conocer el tipo de drenaje requerido para el pavimento y el requerimiento estructural de las capas que conforman el pavimento.

2.2.3 Estudio de canteras y fuentes de agua

Este estudio nos permite conocer las características físico – mecánica del material proveniente de las canteras y de igual manera, la calidad del agua proveniente de la fuente a emplear en la construcción de la carretera.

2.2.4 Estudio de tráfico

Este estudio nos permite estimar el flujo de vehículo que circularán durante el tiempo de vida de la autopista. Esto es posible debido a un análisis cuantitativo en donde se realiza un muestreo constante a través de estaciones fijas durante un tiempo determinado.

A partir de esto, se puede conocer la cantidad y los tipos de vehículos que circulan a diario. Estos parámetros son de vital importancia, ya que sirven como punto medular de partida para realizar cualquier diseño de pavimento.

2.2.4.1 Clasificación del vehículo

Este parámetro nos permite diferenciar a los vehículos de acuerdo a la configuración de ejes sobre los cuales circulan por la superficie. El peso bruto máximo y su clasificación por vehículo de acuerdo el Reglamento Nacional de Vehículos son los siguientes:

- Eje simple: 7 ton de rueda simple y 11 ton de rueda doble
- Eje tándem: 12, 16 y 18 ton
- Eje tridem: 16, 23 y 25 ton

2.2.4.2 Estimación de la tasa de crecimiento vehicular

Se requiere de un registro histórico del flujo vehicular que transita por la autopista. Esto depende de las actividades que se realizan en la localidad, crecimiento poblacional, capacidad adquisitiva, etc.

2.2.4.3 Factores de equivalencia

Para el número de ejes equivalentes que se presentan en el tramo, primero se debe uniformizar los tipos de vehículos que circulan bajo un mismo estándar.

Dicho estándar está representado por el factor equivalente de carga de eje, teniendo como base los ejes de 18 kip u 80 kN. Este factor es el denominado factor de equivalencia.

Cada eje que conforma algún vehículo tiene un peso que puede ser igual o diferente a la carga estándar. Para el caso de nuestra Norma, todos son diferentes por lo que resulta necesaria la aplicación de factores.

Por otro lado, de acuerdo con la metodología, existen dos ecuaciones diferentes para estimar estos factores. Si el pavimento es flexible se utilizarán los valores proporcionados por el Instituto del Asfalto, en cambio, si es rígido, se empleará la propuesta por el AASHTO.

2.2.4.4 Proyección de tráfico

Pronostica el número acumulado de ejes equivalente en el carril de diseño y en el periodo de diseño, a partir de la extrapolación de la serie histórica de números de ejes que se presentaron en cada uno de los años que conforman dicha serie.

Para realizar este procedimiento, se requiere el conocimiento de la serie histórica del tránsito promedio diario, de las composiciones y el factor de equivalencia por tipo de vehículo en el año de estudio o año base. Si se cuenta con resultados de varios pesajes durante el lapso de la serie histórica, estos se deben considerar en el cálculo y se aumentará así el nivel de precisión¹⁶.

¹⁶ Higuera, Carlos. (2010) *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras. Volumen 1*. Tunja: Uptc. Pág. 86

CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El material que se encuentra a nivel de fundación es conocido como subrasante, el cual tiene que ser analizado para poder conocer las propiedades físicas y mecánicas que poseen, y a partir de ello, decidir si es necesario realizar algún mejoramiento o reforzamiento, en caso las condiciones del proyecto lo requieran

3.1 Resumen de las características del suelo

El asesor del presente proyecto de tesis brindó la siguiente información:

| CARACTERÍSTICA | VALOR | |
|-----------------------|-------|--------------------|
| SUBRASANTE | | |
| SUCS/AASHTO | CL | A-6 (8) |
| CBR | 7 | % |
| Humedad óptima | 16.2 | % |
| Densidad máx. | 1.86 | gr/cm ³ |

Tabla 3.1 Resumen de datos para la subrasante

A partir de esto, se pueden conocer las propiedades mecánicas y físicas de la subrasante, mediante la granulometría y el CBR del material.

3.2 Ensayo de Granulometría y clasificación del suelo

Se denomina Granulometría a la cuantificación del porcentaje de material pasante por mallas normalizadas; en donde, a partir de dichos resultados, a través de las metodologías propuestas por la AASHTO y SUCS, se puede clasificar el material para determinar la gradación del material analizado.

De acuerdo con la información brindada, se ha clasificado a través de la AASHTO, un suelo de clase A-6 (8); mientras que, en base a SUCS, una arcilla de baja plasticidad (CL). Debido a esto, se puede inferir que existirán problemas con el agua, debido a que durante una posible saturación, se presentarán problemas de hundimiento y/o deformaciones.

3.3 Ensayo de compactación Próctor modificado

El objetivo de este ensayo es obtener la máxima densidad de compactación del material junto con la humedad óptima de estabilización requerida, según la norma MTC E 115. La información brindada por el asesor tiene como resultado una densidad máxima de 1.86 gr/cm³ y humedad óptima de 16.2%.

3.4 CBR al 95% del terreno

El objetivo de este ensayo es conocer el porcentaje de resistencia relativo a una muestra idealizada bajo la condición más crítica, saturado. Se empleará un pistón de 3 plg² de área para un molde de 6" de diámetro y 5" de altura, y a una velocidad de 1.27 mm/min. La compactación será realizada en base a la clasificación del suelo, según lo brindado por el asesor, el resultado es 7%.



La ubicación del proyecto de tesis se encuentra bajo la clasificación de C(o,i) C´H2, lo que conlleva a una descripción de clima semiseco y frío.

En dicha zona, se registran temperaturas promedio de 5° C a lo largo del año, según SENAMHI.

4.3 Precipitaciones promedio mensuales y anuales

De acuerdo con la información brindada por SENAMHI, se puede conocer las precipitaciones mensuales y anuales en las zonas en las que se desarrollará el proyecto.

Para la información requerida, se trabajó con 2 estaciones a lo largo del proyecto, de las cuales se obtuvo lo siguiente:

- Estación Juliaca:

Según los registros, podemos calcular la precipitación media anual y mensual aledaña al departamento de Juliaca.

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
|------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| 1966 | 15.8 | 14 | 143 | 11.3 | 24.2 | 0 | 0 | 0 | 9.2 | 9.7 | 10.6 | 11 |
| 1967 | 12.6 | 17.6 | 40.9 | 7.1 | 5.7 | 2.2 | 3.3 | 3.2 | 8.5 | 5.4 | 5.6 | 31.4 |
| 1968 | 14 | 23.6 | 9 | 22 | 6.7 | 4.6 | 7 | 1.2 | 16.3 | 13.1 | 32.8 | 15.3 |
| 2002 | 10.8 | 32.7 | 16.7 | 13.4 | 12.4 | 1.6 | 8 | 5.1 | 10.5 | 53.3 | 12.6 | 19 |
| 2003 | 29 | 18.9 | 22.3 | 1.7 | 2.9 | 4.4 | 0.5 | 0.3 | 16.5 | 5 | 17.6 | 36.5 |
| 2004 | 32.8 | 15.9 | 17.9 | 7.8 | 0 | 0.2 | 0.7 | 15 | 22.5 | 2.8 | 8.8 | 20.5 |
| 2005 | 16.4 | 47.4 | 41 | 18.7 | 0 | 0 | 0 | 1.8 | 11.3 | 23.7 | 15.2 | 15 |
| 2006 | 23.3 | 23.2 | 30.3 | 4.4 | 0.5 | 2 | 0 | 0.7 | 8.8 | 24.2 | 21.4 | 23.5 |
| 2007 | 14.4 | 19.4 | 39.3 | 24.9 | 3.1 | 0.1 | 5.9 | 0.8 | 5.7 | 9.3 | 33.5 | 22 |
| 2008 | 45 | 11.1 | 11 | 5.1 | 0.4 | 0.6 | 0 | 0.9 | - | - | - | - |
| 2010 | 23.6 | 78.2 | 12.4 | 7.2 | 10.6 | 0 | 0 | 7.1 | 1.5 | 8.6 | 5.2 | 21 |
| 2011 | 25.4 | 28.2 | 14.8 | 14.2 | 2.6 | 0 | 5.3 | 0.2 | 17.3 | 15.6 | 13.2 | 20.6 |
| 2012 | 28.7 | 34 | 27.5 | 15.4 | 0 | 0.2 | 0 | 5.6 | 6.8 | 4.5 | - | 18.5 |
| 2013 | 16.2 | 28.7 | 32.6 | 7.8 | 7.8 | 6.2 | 0.9 | 4.3 | 7.8 | 11.3 | 26 | 41 |

Tabla 4.1 Precipitaciones en la zona de Juliaca

Fuente: Estación Juliaca (1966 – 2013). SENAMHI

Consulta: 30 de septiembre del 2016

A partir la tabla 4.1, se pueden presentar los histogramas de las precipitaciones mensuales y anuales medidas por la estación para la zona de Juliaca.

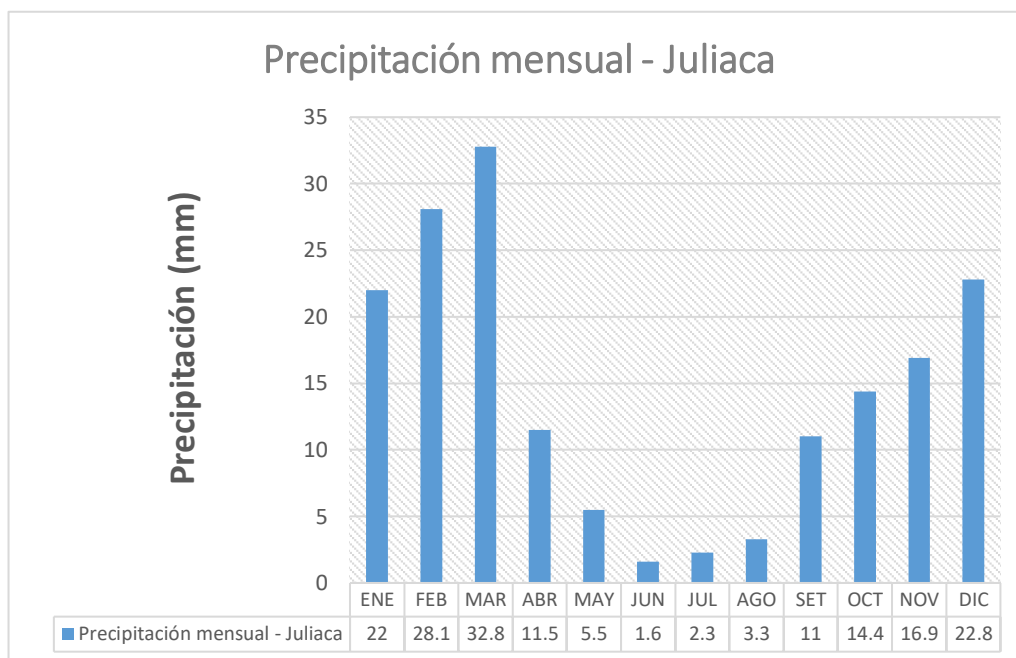


Figura 4.2 Precipitaciones media mensuales en Juliaca

Fuente: Elaboración propia

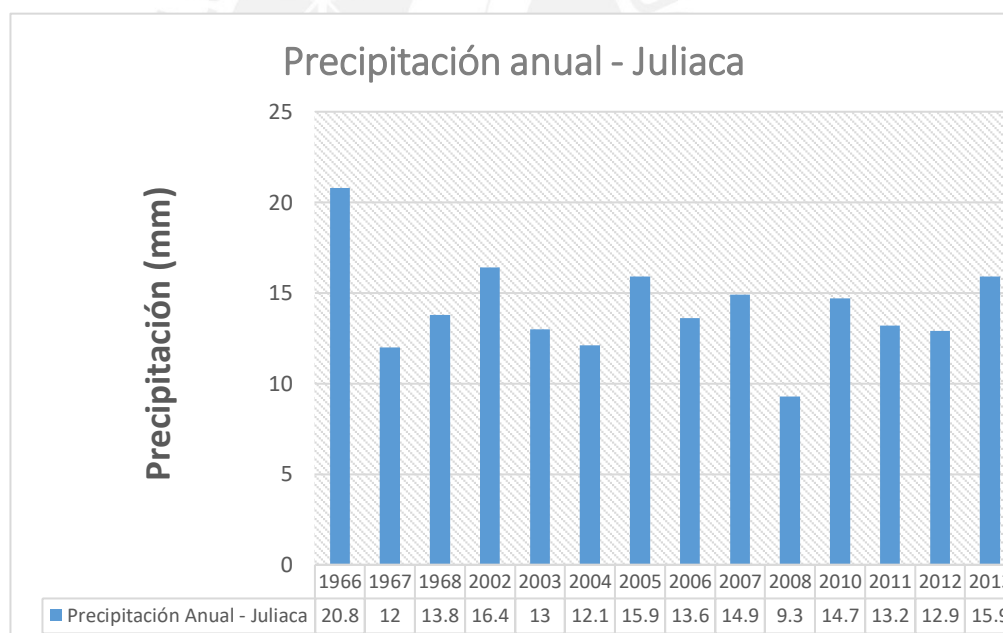


Figura 4.3 Precipitaciones media anuales en Juliaca

Fuente: Elaboración propia

Según la data de las precipitaciones mensuales y anuales calculadas, se puede obtener que el rango de precipitaciones oscila entre 1.6 y 32.8 mm de acuerdo con la información brindada por la Estación Juliaca, obtenida de la página del SENAMHI.

- Estación Puno

Según los registros, podemos calcular la precipitación media anual y mensual aledaña al departamento de Puno.

| AÑO | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SET | OCT | NOV | DIC |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1980 | 18.2 | 15.4 | 25 | 13.4 | 0.9 | 0.1 | 2.2 | 8.5 | 15.6 | 16.8 | 12.2 | 13.4 |
| 1981 | 20.6 | 27.6 | 19.3 | 21.1 | 4.7 | 0 | 0 | 21 | 6.3 | 5.9 | 21.8 | 21.8 |
| 1982 | 51.8 | 22.4 | 19.8 | 20.5 | 2.5 | 3.8 | 1.9 | 0 | 16 | 23.5 | 19.5 | 7 |
| 1983 | 6.9 | 16.7 | 19.2 | 14 | 9 | 2.3 | 1.5 | 2.7 | 19.7 | 10.8 | 22 | 38.6 |
| 1984 | 31.4 | 39.1 | 24.9 | 11.5 | 7.5 | 0.8 | 3.7 | 15.8 | 0 | 71.6 | 16.7 | 26.9 |
| 1985 | 48.5 | 30.3 | 17.1 | 13 | 10.9 | 11.8 | 0 | 7 | 20.7 | 15 | 14.4 | 22.7 |
| 1986 | 21.5 | 38.7 | 27.1 | 14.3 | 0.1 | 0 | 5.1 | 3.3 | 10.5 | 1.7 | 3.5 | 15.9 |
| 1987 | 55.7 | 17.9 | 19.5 | 21.8 | 0.6 | 2.1 | 4.6 | 0 | 3.5 | 11.4 | 25.4 | 14.6 |
| 1988 | 30.6 | 20.2 | 22 | 23.7 | 13.9 | 0 | 0.3 | 0 | 7.9 | 17.9 | 31.4 | 20.2 |
| 1989 | 24.3 | 12.9 | 21.4 | 24.5 | 0 | 0.2 | 1.7 | 12.3 | 8.9 | 3 | 7.6 | 10.5 |
| 1990 | 23.6 | 6.1 | 16 | 12.6 | 6.5 | 20.4 | 0 | 6.3 | 7.2 | 20.6 | 13.6 | 13.2 |
| 1991 | 20.2 | 18.4 | 22 | 13 | 4.8 | 24.2 | 0 | 2.2 | 7.2 | 5.6 | 15.4 | 14.2 |
| 1992 | 9.4 | 18.6 | 9.9 | 24 | 0 | 0 | 2.3 | 35.8 | 0 | 7.2 | 9.5 | 12.2 |
| 1993 | 24 | 46.1 | 25.4 | 15.8 | 5.7 | 1.1 | 0 | 17.6 | 8 | 14 | 26 | 26.8 |
| 1994 | 28.3 | 27.3 | 24.2 | 15.6 | 29.9 | 0.4 | 0 | 0 | 9.7 | 17.9 | 15.2 | 9.5 |
| 1995 | 19.4 | 29 | 15.6 | 2 | 3.8 | 0 | 0 | 3 | 10.3 | 9.3 | 10.3 | 25.4 |
| 1996 | 38.9 | 18.7 | 16.8 | 20.4 | 0 | 0 | 2.9 | 4.4 | 0.8 | 8.6 | 18.8 | 18.4 |
| 1997 | 29.1 | 32.4 | 23.2 | 19.5 | 0.9 | 0 | 0 | 12.5 | 28.8 | 12.6 | 11.2 | 9.7 |
| 1998 | 42.9 | 25.7 | 24.1 | 7.1 | 0 | 4.9 | 0 | 4.3 | 4.5 | 14.7 | 11.7 | 21.3 |
| 1999 | 38.1 | 27.5 | 38 | 33.5 | 7.5 | 0 | 0 | 1.6 | 5.6 | 38.2 | 10.8 | 11.4 |
| 2000 | 19 | 31.6 | 13.5 | 22.2 | 0.4 | 1.4 | 3.1 | 8 | 6.2 | 31.4 | 6.6 | 14.9 |
| 2001 | 25.7 | 37.7 | 39.4 | 17 | 8.4 | 2.2 | 0 | 7 | 8.4 | 14 | 23 | 23.3 |
| 2002 | 35.1 | 23.7 | 22.8 | 18.7 | 17 | 9.6 | 12.5 | 18.4 | 4.2 | 16.2 | 11 | 29 |
| 2003 | 35.6 | 23.2 | 12.1 | 28 | 14.7 | 4.8 | 0.2 | 4 | 24.8 | 11.1 | 2.9 | 28.2 |
| 2004 | 27.8 | 24.7 | 30.4 | 9.2 | 5.4 | 0 | 3.6 | 25.9 | 12 | 2.1 | - | 15.3 |
| 2005 | 30.1 | 22.2 | 26.8 | 16.9 | 0.4 | 0 | 0 | 0 | 3 | 18 | 24.4 | 17.8 |
| 2006 | 40.9 | 11.9 | 28.7 | 13 | 0.9 | 0 | 0 | 0 | 11 | 9.4 | 15.8 | 28.3 |
| 2007 | 23.8 | 38.8 | 67.2 | 15.7 | 7.2 | 0 | 2.9 | 1.6 | 13.5 | 40.2 | 31.7 | 11.6 |
| 2008 | 38.5 | 18 | 27 | 2.7 | 6.2 | 1.4 | 0.2 | 0.8 | 1.3 | 34.8 | 9.5 | 16.6 |
| 2009 | 31 | 16 | 40.2 | 16.2 | 0.4 | 0 | 1.8 | 0 | 5.2 | 18.4 | 24.2 | 9.9 |

Tabla 4.2 Precipitaciones en la zona de Puno

Fuente: Estación Puno (1980 – 2009). SENAMHI

Consulta: 30 de septiembre del 2016

En la tabla 4.2, se presentan las precipitaciones medidas por la estación para la zona de Puno.

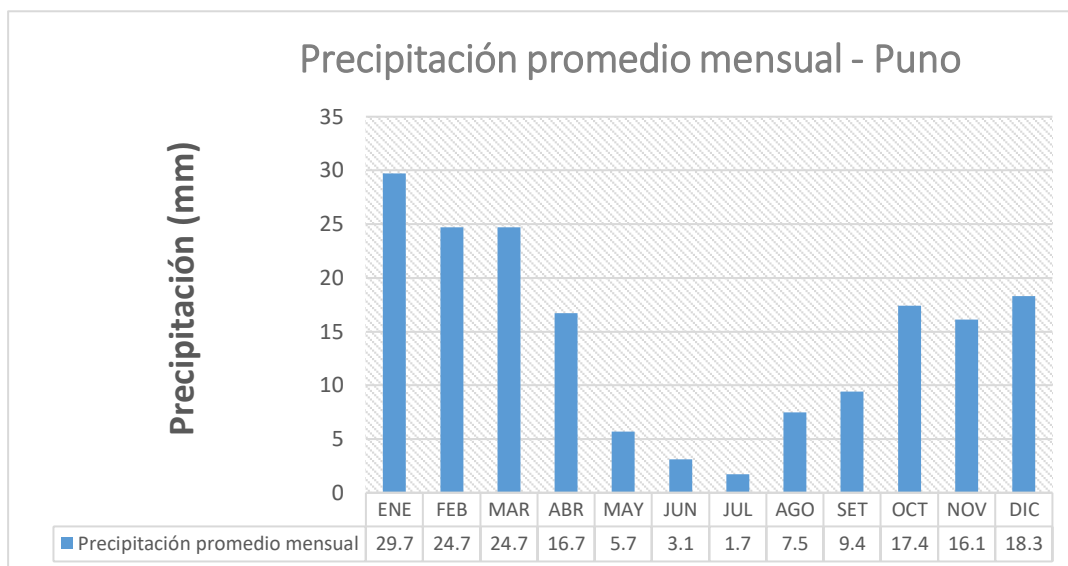


Figura 4.4 Precipitaciones media mensuales en Puno

Fuente: Elaboración propia

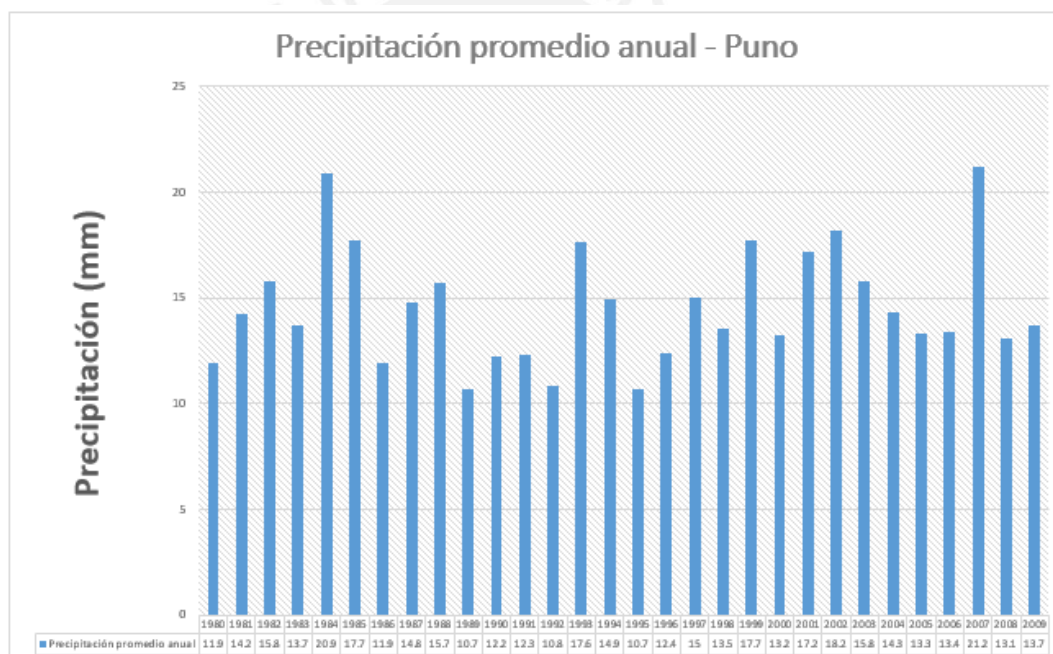


Figura 4.5 Precipitaciones media anuales en Puno

Fuente: Elaboración propia

Según la data de las precipitaciones mensuales y anuales calculadas, se puede obtener que el rango de precipitaciones oscila entre 1.7 y 29.7 mm de acuerdo con la información brindada por la Estación Puno.

CAPÍTULO 5: ESTUDIO DE CANTERAS Y FUENTES DE AGUA

El pavimento se encuentra conformado por capas granulares, las cuales deben de cumplir determinadas propiedades mecánicas normadas en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos propuesta por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC); además de esto, se debe tomar en cuenta los agentes químicos presentes en la fuente de agua, debido a la acción agresiva que podría tener, en el caso de poseer valores superiores a los permisibles por la norma.

5.1 Requisitos para los materiales granulares

El Manual de Ensayo de Materiales propuesta por el MTC, brinda los parámetros de calidad que necesitan cumplir los materiales, ya que de esta manera se podrá garantizar un correcto desempeño a lo largo del tiempo de vida de la carretera.

5.1.1 Subbase

Existen 4 tipos de gradaciones según el tipo de desempeño que se desea a lo largo de tiempo de vida del proyecto y las condiciones climáticas a los cuales será expuesto. Para proyectos que se encuentran sobre alturas mayores a los 3000 m.s.n.m, la norma establece que es necesaria una Gradación A para el material granular utilizado como subbase.

| TAMIZ | PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%) | | | |
|--------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | GRADACIÓN A | GRADACIÓN B | GRADACIÓN C | GRADACIÓN D |
| 50 mm(2") | 100 | 100 | - | - |
| 25 mm(1") | - | 75-95 | 100 | 100 |
| 9.5 mm(3/8") | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| 4.75 mm(N°4) | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2.0 mm(N°10) | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| 42.5um(N°40) | 08-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 75um(N°200) | 02-08 | 05-15 | 05-15 | 08-15 |

Tabla 5.1 Gradación requerida para el material de subbase

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales EM – 2016 (MTC)

De la misma manera, es necesario cumplir con las siguientes propiedades químicas y mecánicas, debido a las cargas a las que será sometida la estructura, y al intemperismo de la zona.

| ENSAYO | NORMA MTC | REQUERIMIENTO | |
|-------------------------------|-----------|---------------|------------|
| | | <3000 msnm | >3000 msnm |
| ABRASIÓN | MTC E 207 | 50% máx | |
| CBR | MTC E 132 | 40% mín | |
| LÍMITE LÍQUIDO | MTC E 110 | 25% máx | |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | MTC E 111 | 6% máx | 4% máx |
| EQUIVALENTE DE ARENA | MTC E 114 | 25% mín | 35% mín |
| SALES SOLUBLES | MTC E 219 | 1% máx | |
| PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS | MTC E 211 | 20% máx | |

Tabla 5.2 Propiedades mecánicas y químicas para el material de subbase

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales EM – 2016 (MTC)

5.1.2 Base

Existen 4 tipos de gradaciones según el tipo de desempeño que se desea a lo largo de tiempo de vida del proyecto y las condiciones climáticas a los cuales será expuesto. Para proyectos que se encuentran sobre alturas mayores a los 3000 m.s.n.m, la norma establece que es necesaria una Gradación A para el material granular utilizado como base.

| TAMIZ | PORCENTAJE QUE PASA EN PESO (%) | | | |
|--------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | GRADACIÓN A | GRADACIÓN B | GRADACIÓN C | GRADACIÓN D |
| 50 mm(2") | 100 | 100 | - | - |
| 25 mm(1") | - | 75-95 | 100 | 100 |
| 9.5 mm(3/8") | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| 4.75 mm(N°4) | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2.0 mm(N°10) | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| 42.5um(N°40) | 08-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 75um(N°200) | 02-08 | 05-15 | 05-15 | 08-15 |

Tabla 5.3 Gradación requerida para el material de base

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales EM – 2016 (MTC)

De la misma manera, es necesario cumplir con las siguientes propiedades químicas y mecánicas, debido a las cargas a las que será sometida la estructura, y al intemperismo de la zona.

| ENSAYO | NORMA MTC | REQUERIMIENTO | |
|--|-----------|---------------|------------|
| | | <3000 msnm | >3000 msnm |
| ABRASIÓN | MTC E 207 | 40% máx | |
| CBR(<X10 ⁶) | MTC E 132 | 80% mín | |
| CBR(>X10 ⁶) | MTC E 132 | 100% mín | |
| DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO AGREGADO GRUESO | MTC E 209 | - | 18% máx |
| ÍNDICE DE PLASTICIDAD | MTC E 111 | 4% máx | 2% máx |
| EQUIVALENTE DE ARENA | MTC E 114 | 35% mín | 45% mín |
| SALES SOLUBLES | MTC E 219 | 0.5% máx | |
| PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS | MTC E 211 | 15% máx | |
| PARTICULAS CON 1 CARA FRACTURADA | MTC E 210 | 80% mín | |
| PARTICULAS CON 2 CARAS FRACTURAS | MTC E 210 | 40% mín | 50% mín |
| DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO AGREGADO GRUESO | MTC E 209 | - | 15% máx |

Tabla 5.4 Propiedades mecánicas y químicas para el material de base

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales EM – 2016 (MTC)

5.3 Requisitos para fuentes de agua

El agua es requerida para la elaboración de concreto en obra, por lo que es necesario que cumplan diversos parámetros propuestos en la norma, ya que puede actuar como agente agresivo ante el refuerzo empleado para el concreto armado.

| Ensayos | Tolerancias |
|-----------------------------|-------------|
| Sólidos en suspensión (ppm) | 5000 máx. |
| Materia Orgánica (ppm) | 3.0 máx |
| Alcalinidad $NaHCO_3$ (ppm) | 1000 máx |
| Sulfatos como ión Cl (ppm) | 1000 máx |
| pH | 5.5 a 8 |

Tabla 5.5 Requerimientos para fuentes de agua

Fuente: Manual de Ensayo de Materiales EM – 2000 (MTC)

CAPÍTULO 6: ESTUDIO DE TRÁFICO

Mediante este estudio, se obtendrá la carga vehicular estimada a futuro, en base a las mediciones realizadas por estaciones ubicadas cada cierto tramo de la carretera; a partir de esto, mediante la selección de un tiempo de vida de la carretera, se estimará la carga vehicular proyectada para poder definir los espesores de las capas que conformarán el pavimento.

6.1 Características del tramo de estudio

La Autopista Juliaca – Puno se caracteriza por ser interprovincial, ya que conecta las provincias de Juliaca y Puno a lo largo de su recorrido, teniendo un desvío hacia la ciudad de Moquegua en una variante planteada para problema de saturación de vehículos pesados que se presenta la ciudad de Puno. Esta carretera se caracteriza por el gran volumen de automóviles que transita diariamente; de la misma manera, se podrá observar que es el único medio de comercio entre ambas ciudades, por lo que es la vía de transporte para vehículos medianos y pesados que llevan la mercadería a entre ambas ciudades.

6.2 Índice medio diario anual

Para conocer la carga vehicular que transitará durante el periodo de vida de la carretera, es necesario conocer el flujo actual vehicular proveniente del sentido Juliaca – Puno, Paucarcolla – Puno. De esta manera, se puede conocer el flujo vehicular de Juliaca a Puno, y los posibles cambios que se pueda generar en un punto de conexión para el comercio, ya que Paucarcolla sirve como nexo entre los pueblos que se encuentran a lo largo de la carretera y el principal medio de comunicación de la zona.

| Tipo de Vehículos | N° Vehículos |
|--------------------|--------------|
| Automóviles | 12315 |
| C2 | 412 |
| C3 | 0 |
| C4 | 88 |
| 8X4 | 42 |
| T2S1 | 56 |
| T2S2 | 0 |
| T2S3 | 62 |
| T2Se2 | 44 |
| T3S1 | 38 |
| T3S2 | 0 |
| T3Se2 | 18 |
| C2R3 | 49 |
| T3S3 | 28 |
| 8X4R3 | 0 |
| 8X4R4 | 0 |
| B3-1 | 126 |
| B4-1 | 169 |
| TOTAL | 13447 |

Tabla 6.1 Conteo vehicular de tráfico

Fuente: Tema de tesis

Del gráfico 6.1, se puede observar que el flujo vehicular por la carretera es principalmente automóviles, seguido de manera muy distante por vehículos de clase C-2, B3-1 y B4-1.

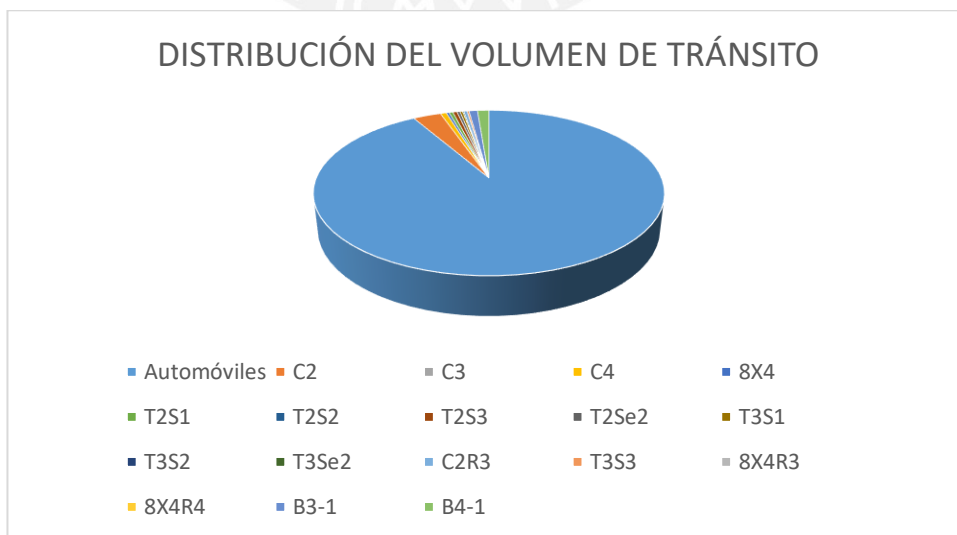


Figura 6.1 Distribución del volumen de tránsito

Fuente: Elaboración propia

6.3 Estimación de tránsito futuro

A partir de la tasa de crecimiento poblacional en la ciudad de Puno, se puede dar un estimado de la tasa de crecimiento vehicular, ya que el automóvil es uno de los principales medios de movilización de la zona.

| AÑOS | VALOR | CREC % |
|-----------------|---------|--------|
| 1940 | 548371 | - |
| 1961 | 686260 | 1.1 |
| 1972 | 776173 | 1.1 |
| 1981 | 890258 | 1.5 |
| 1993 | 1079489 | 1.6 |
| 2007 | 1268441 | 1.16 |
| PROMEDIO | | 1.29 |

Tabla 6.2 Tasa de crecimiento poblacional en Puno

Fuente: Magnitud y crecimiento poblacional (1940 – 2007) .INEI

Consulta: 30 de septiembre del 2016

De la misma manera, al conocer la tasa de crecimiento del PBI de la ciudad de Puno, se puede estimar el crecimiento de vehículos livianos, debido a que su principal medio de transporte de mercadería son los camiones de bajo y mediano tonelaje.

| AÑOS | VALOR | CREC% |
|-----------------|---------|-------|
| 2002 | 2800570 | - |
| 2003 | 2830070 | 1.1 |
| 2004 | 2907340 | 2.7 |
| 2005 | 3059759 | 5.2 |
| 2006 | 3213929 | 5 |
| 2007 | 3448855 | 7.3 |
| PROMEDIO | | 4.80 |

Tabla 6.3 Tasa de crecimiento PBI en Puno

Fuente: Magnitud y crecimiento del PBI (2002 – 2007) .INEI

Consulta: 30 de septiembre del 2016

Gracias a la información calculada, se puede establecer una relación entre el porcentaje de volumen vehicular y su respectiva tasa de crecimiento, permitiendo de esta manera, mediante un promedio ponderado, estimar la tasa de crecimiento vehicular en la ciudad de Puno.

| TIPO DE VEHÍCULO | %VOLUMEN | TASA CREC. | TASA CREC. PROM |
|------------------|----------|------------|-----------------|
| VEHÍCULO PESADO | 8.5 | 4.8 | 1.59 |
| VEHÍCULO LIVIANO | 91.5 | 1.29 | |

Tabla 6.4 Tasa de crecimiento vehicular en el Tramo Juliaca - Puno

Fuente: Elaboración propia

6.4 Factor de carga equivalente

De acuerdo a la metodología de la AASHTO, es necesario homologar las cargas provenientes de ejes con diferentes magnitudes y número de repeticiones, ya que es necesario estandarizar el efecto producido sobre la estructura del pavimento. Para ello, se ha optado por un eje estándar de 80 KN, aplicado por un eje simple con ruedas dobles en los extremos.

A partir de esto, se elaboró factores de carga equivalente por tipo de eje que se va analizar (EALF: Equivalent Axle Load Factors), para poder comparar el daño causado por las diversas magnitudes a un formato estándar.

| TIPO DE EJE | CARGA POR EJE (TON) | CARGA POR EJE (KIPS) | EALF |
|-------------|---------------------|----------------------|--------|
| SIMPLE | 1 | 2.2 | 0.0004 |
| SIMPLE | 7 | 15.4 | 0.557 |
| SIMPLE | 7+7 | 2(15.4) | 1.154 |
| DUAL | 11 | 24.2 | 2.691 |
| TÁNDEM | 16 | 35.3 | 1.285 |
| TÁNDEM | 18 | 39.7 | 1.929 |
| TRÍDEM | 23 | 50.7 | 1.327 |
| TRÍDEM | 25 | 55.1 | 1.782 |

Tabla 6.5 EALF para pavimentos flexibles

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1986). *Guide for design of pavement structures*. Washington D.C.:AASHTO

| TIPO DE EJE | CARGA POR EJE (TON) | CARGA POR EJE (KIPS) | EALF |
|-------------|---------------------|----------------------|--------|
| SIMPLE | 1 | 2.2 | 0.0004 |
| SIMPLE | 7 | 15.4 | 0.525 |
| SIMPLE | 7+7 | 2(15.4) | 1.050 |
| DUAL | 11 | 24.2 | 3.523 |
| TÁNDEM | 16 | 35.3 | 2.293 |
| TÁNDEM | 18 | 39.7 | 3.769 |
| TRÍDEM | 23 | 50.7 | 3.223 |
| TRÍDEM | 25 | 55.1 | 4.558 |

Tabla 6.6 EALF para pavimentos rígidos

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials Tabla D16, D17 y D18.

6.5 Factores de equivalencia

Los factores de equivalencia se calculan de la multiplicación entre las cargas distribuidas por eje, según el tipo de vehículo, y su factor de carga equivalente, de acuerdo al tipo de pavimento que se va analizar.

| Tipo de Vehículo | Cargas (ton) | | | | EALF | | | | Factor de equivalencia (LEF) |
|--------------------|---------------|-------|-------|-------|---------------|--------|-------|-------|------------------------------|
| | Eje delantero | 1 eje | 2 eje | 3 eje | Eje delantero | 1 eje | 2 eje | 3 eje | |
| Automóviles | 1 | 1 | | | 0.0004 | 0.0004 | | | 0.001 |
| C2 | 7 | 11 | | | 0.557 | 2.691 | | | 3.248 |
| C3 | 7 | 18 | | | 0.557 | 1.929 | | | 2.486 |
| C4 | 7 | 23 | | | 0.557 | 1.327 | | | 1.884 |
| 8X4 | 7+7 | 18 | | | 1.154 | 1.929 | | | 3.083 |
| T2S1 | 7 | 11 | 11 | | 0.557 | 2.691 | 2.691 | | 5.939 |
| T2S2 | 7 | 11 | 18 | | 0.557 | 2.691 | 1.929 | | 5.177 |
| T2S3 | 7 | 11 | 25 | | 0.557 | 2.691 | 1.782 | | 5.030 |
| T2Se2 | 7 | 11 | 11 | 11 | 0.557 | 2.691 | 2.691 | 2.691 | 8.630 |
| T3S1 | 7 | 18 | 11 | | 0.557 | 1.929 | 2.691 | | 5.177 |
| T3S2 | 7 | 18 | 18 | | 0.557 | 1.929 | 1.929 | | 4.415 |
| T3Se2 | 7 | 18 | 11 | 11 | 0.557 | 1.929 | 2.691 | 2.691 | 7.868 |
| C2R3 | 7 | 11 | 11 | 18 | 0.557 | 2.691 | 2.691 | 1.929 | 7.868 |
| T3S3 | 7 | 18 | 25 | | 0.557 | 1.929 | 1.782 | | 4.268 |
| 8X4R3 | 7+7 | 18 | 11 | 18 | 1.154 | 1.929 | 2.691 | 1.929 | 7.703 |
| 8X4R4 | 7+7 | 18 | 18 | 18 | 1.154 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 6.941 |
| B3-1 | 7 | 16 | | | 0.557 | 1.285 | | | 1.842 |
| B4-1 | 7+7 | 16 | | | 1.154 | 1.285 | | | 2.439 |

Tabla 6.7 LEF para pavimentos flexibles según la carga vehicular obtenida en el Estudio de Tráfico

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos – MTC

| Tipo de Vehículo | Cargas (ton) | | | | EALF | | | | Factor de equivalencia (LEF) |
|--------------------|---------------|-------|-------|-------|---------------|--------|-------|-------|------------------------------|
| | Eje delantero | 1 eje | 2 eje | 3 eje | Eje delantero | 1 eje | 2 eje | 3 eje | |
| Automóviles | 1 | 1 | | | 0.0004 | 0.0004 | | | 0.001 |
| C2 | 7 | 11 | | | 0.525 | 3.523 | | | 4.048 |
| C3 | 7 | 18 | | | 0.525 | 3.769 | | | 4.294 |
| C4 | 7 | 23 | | | 0.525 | 3.223 | | | 3.748 |
| 8X4 | 7+7 | 18 | | | 1.050 | 3.769 | | | 4.819 |
| T2S1 | 7 | 11 | 11 | | 0.525 | 3.523 | 3.523 | | 7.571 |
| T2S2 | 7 | 11 | 18 | | 0.525 | 3.523 | 3.769 | | 7.817 |
| T2S3 | 7 | 11 | 25 | | 0.525 | 3.523 | 4.558 | | 8.606 |
| T2Se2 | 7 | 11 | 11 | 11 | 0.525 | 3.523 | 3.523 | 3.523 | 11.094 |
| T3S1 | 7 | 18 | 11 | | 0.525 | 3.769 | 3.523 | | 7.817 |
| T3S2 | 7 | 18 | 18 | | 0.525 | 3.769 | 3.769 | | 8.063 |
| T3Se2 | 7 | 18 | 11 | 11 | 0.525 | 3.769 | 3.523 | 3.523 | 11.34 |
| C2R3 | 7 | 11 | 11 | 18 | 0.525 | 3.523 | 3.523 | 3.769 | 11.34 |
| T3S3 | 7 | 18 | 25 | | 0.525 | 3.769 | 4.558 | | 8.852 |
| 8X4R3 | 7+7 | 18 | 11 | 18 | 1.050 | 3.769 | 3.523 | 3.769 | 12.111 |
| 8X4R4 | 7+7 | 18 | 18 | 18 | 1.050 | 3.769 | 3.769 | 3.769 | 12.357 |
| B3-1 | 7 | 16 | | | 0.525 | 2.293 | | | 2.818 |
| B4-1 | 7+7 | 16 | | | 1.050 | 2.293 | | | 3.343 |

Tabla 6.8 LEF para pavimentos rígidos según la carga vehicular obtenida en el Estudio de Tráfico

Fuente: Reglamento Nacional de Vehículos - MTC

6.6 Tránsito de diseño

Con la finalidad de estimar el número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas acumuladas durante el periodo de servicio (ESAL), es necesario conocer el tránsito medio diario (ADT), el cual mediante el conteo vehicular y los factores LEF se puede obtener. De la misma manera, es necesario conocer los siguientes factores:

- Factor de distribución direccional (D)
- Factor de distribución de carril (L)
- Periodo de diseño (Y)
- Factor de crecimiento (G)
- Porcentaje de camiones en el ADT (T)
- Número de aplicaciones de carga de ejes de 18 Kip por camión (Tf)

El ADT_o se obtiene de la multiplicación del número de repeticiones de vehículos obtenidos por las estaciones con su LEF, de acuerdo a la distribución de ejes, según el tipo de vehículo. Es necesario tener un ADT_o para cada tipo de pavimento, ya que la equivalencia de cargas es distinta según el tipo de pavimento.

| Tipo de Vehículos | Nº Vehículos | Factor equivalencia | # Vehículos |
|--------------------|--------------|------------------------------|-------------|
| Automóviles | 12315 | 0.001 | 13 |
| C2 | 412 | 3.248 | 1339 |
| C3 | 0 | 2.486 | 0 |
| C4 | 88 | 1.884 | 166 |
| 8X4 | 42 | 3.083 | 130 |
| T2S1 | 56 | 5.939 | 333 |
| T2S2 | 0 | 5.177 | 0 |
| T2S3 | 62 | 5.03 | 312 |
| T2Se2 | 44 | 8.63 | 380 |
| T3S1 | 38 | 5.177 | 197 |
| T3S2 | 0 | 4.415 | 0 |
| T3Se2 | 18 | 7.868 | 142 |
| C2R3 | 49 | 7.868 | 386 |
| T3S3 | 28 | 4.268 | 120 |
| 8X4R3 | 0 | 7.703 | 0 |
| 8X4R4 | 0 | 6.941 | 0 |
| B3-1 | 126 | 1.842 | 233 |
| B4-1 | 169 | 2.439 | 413 |
| | | TOTAL ADT_o | 4164 |

Tabla 6.9 Estimación del ADT_o para pavimento flexible

Fuente: Elaboración propia

| Tipo de Vehículos | N° Vehículos | Factor equivalencia | N° Vehículos equivalentes |
|--------------------|--------------|---------------------|---------------------------|
| Automóviles | 12315 | 0.001 | 13 |
| C2 | 412 | 4.048 | 1668 |
| C3 | 0 | 4.294 | 0 |
| C4 | 88 | 3.748 | 330 |
| 8X4 | 42 | 4.819 | 203 |
| T2S1 | 56 | 7.571 | 424 |
| T2S2 | 0 | 7.817 | 0 |
| T2S3 | 62 | 8.606 | 534 |
| T2Se2 | 44 | 11.094 | 489 |
| T3S1 | 38 | 7.817 | 298 |
| T3S2 | 0 | 8.063 | 0 |
| T3Se2 | 18 | 11.34 | 205 |
| C2R3 | 49 | 11.34 | 556 |
| T3S3 | 28 | 8.852 | 248 |
| 8X4R3 | 0 | 12.111 | 0 |
| 8X4R4 | 0 | 12.357 | 0 |
| B3-1 | 126 | 2.818 | 356 |
| B4-1 | 169 | 3.343 | 565 |
| | | TOTAL ADTo | 5889 |

Tabla 6.10 Estimación del ADTo para pavimento rígido

Fuente: Elaboración propia

El factor de distribución direccional (D) señala la cantidad de carriles que serán empleados en el diseño del pavimento. Para este caso, será considerado un valor de 0.5.

El factor de distribución de carril (L) depende de la cantidad de sentidos que serán utilizados para el diseño de la estructura. Según la Tabla 6.16 de la AASHTO, corresponde un valor de 1 (100%).

Se considera un periodo de diseño de 15 años ya que es una vía de gran importancia, al servir como medio de comunicación ente 2 ciudades, además de ser construido por el estado.

Para esto, la AASHTO recomienda usar un factor de crecimiento (G) equivalente al factor de crecimiento por periodo de diseño y se establece la siguiente relación:

$$GY = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials

Donde:

r: tasa de crecimiento vehicular anual

Y= periodo de diseño de la carretera

A partir de la información obtenida, se tiene los siguientes para cada tipo de pavimento:

| PAVIMENTO RIGIDO | |
|------------------|--------|
| ADTo | 5889 |
| T | 1 |
| Tf | 1 |
| D | 0.5 |
| L | 1 |
| Y | 15 |
| r | 0.0147 |
| GY | 16.65 |
| G | 1.11 |

Tabla 6.11 Resumen de información para el cálculo del ESAL en el pavimento rígido

| PAVIMENTO FLEXIBLE | |
|--------------------|--------|
| ADTo | 4164 |
| T | 1 |
| Tf | 1 |
| D | 0.5 |
| L | 1 |
| Y | 15 |
| r | 0.0147 |
| GY | 16.65 |
| G | 1.11 |

Tabla 6.12 Resumen de información para el cálculo del ESAL en el pavimento flexible

Para calcular el ESAL, la AASHTO propone la siguiente fórmula que relaciona la información recolectada para el cálculo de los ejes equivalentes que transitarán por la carretera a lo largo de su tiempo de vida.

$$ESAL = (ADT_o)(T)(T_f)(GY)(D)(L)(365)$$

De la siguiente relación, se ha podido obtener los ejes equivalentes según el tipo de pavimento a diseñar.

| | | |
|------|--------------------|--------------------|
| ESAL | Pavimento Rígido | 1.80×10^7 |
| | Pavimento Flexible | 1.27×10^7 |

Tabla 6.13 Resumen de los ESAL para ambos tipos de pavimento



CAPÍTULO 7: DISEÑO

De acuerdo a lo mencionado antes, se realizará el diseño de 2 tipos de pavimento: flexible y rígido.

Para el caso del pavimento flexible, se utilizará las metodologías propuestas por el AASHTO y el IA (Instituto de Asfalto); mientras que, en el pavimento rígido, se empleará las metodologías propuestas por la PCA (Portland Cement Association) y el AASHTO.

En el diseño de los pavimentos flexibles, la AASHTO propone el uso de coeficientes estructurales, los cuales hacen referencia a la capacidad de resistencia que puede tener una capa antes la acción de una carga actuante determinada. Mientras tanto, el IA utiliza unas cartas basadas en un sistema elástico multicapa, el cual tiene una determinada función de acuerdo a las condiciones ambientales a la cual se encuentran expuesta. Debido a esto, en el desarrollo del diseño por el IA, se busca complementar dicha metodología para eliminar la diferencia de resultados entre ambos diseños.

Durante el diseño de los pavimentos rígidos, se puede observar el disímil de consideraciones en la data de entrada entre una metodología y otra. Esto se debe a que, el diseño por la PCA, trabaja con el cálculo del daño producido por la fatiga y la erosión, tomando en cuenta solo la carga producida por el flujo vehicular que transitará a futuro sobre ella y las características del material presente en el lugar del proyecto. A diferencia de esto, la AASHTO toma en consideración parámetros provenientes del clima, tipo de terreno y el nivel de servicio deseado a lo largo del tiempo de vida utilizado en el diseño.

7.1 Resumen de datos

En los capítulos anteriores, se especifica los parámetros obtenidos en los estudios realizados en el lugar del proyecto, los cuales delimitan las condiciones de intemperismo, carga sometida y tipo de material empleado en el proyecto.

| DESCRIPCIÓN | VALOR |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| ESTUDIO DE SUELOS | |
| Clasificación SUCS | CL |
| Clasificación AASHTO | A-6(8) |
| CBR de la subrasante | 7% |
| ESTUDIOS PLUVIOMÉTRICOS | |
| Temperatura promedio anual del aire | 5.5°C |
| Máxima precipitación anual | 32.80 mm. |
| ESTUDIO DE CANTERAS | |
| Nombre de la Cantera | Taparachi |
| Gradación de la Base | B |
| Clasificación SUCS de la Sub-base | SC |
| Clasificación AASHTO de la Sub-base | A-2-4 |
| CBR de la Base | 102% |
| CBR de la Sub-base | 42% |
| ESTUDIO DE TRÁFICO | |
| Tasa de crecimiento anual | 1.47% |
| ESAL pavimento flexible | 1.27x10 ⁷ ejes de 8.2 ton |
| ESAL pavimento rígido | 1.80x10 ⁷ ejes de 8.2 ton |

Tabla 7.1 Resumen de la información obtenida por los estudios realizados

7.2 Método AASHTO para pavimentos flexibles

La metodología propuesta por el AASHTO busca soportar las solicitaciones ejercidas por la carga vehicular que circula a lo largo de la vía; por tal motivo, se ha propuesto el diseño de los espesores empleando números estructurales gracias a la solución de la siguiente ecuación:

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

Figura 7.1 Cálculo de número estructural para pavimento flexible – Metodología AASHTO

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials

De la misma manera, como método alternativo para la obtención del cálculo del número estructural, se puede emplear el nomograma propuesto por la Guía de diseño propuesta por la AASHTO.

7.2.1 Datos de entrada

- Número de ejes equivalentes

Este parámetro fue definido en el capítulo 6. El valor obtenido es 1.02×10^7 ejes equivalentes de 8.2 ton.

- Periodo de diseño

Se consideró un periodo de 15 años, debido a que se trata de un proyecto para el estado.

- Confiabilidad

La confiabilidad cuantifica el posible comportamiento de la estructura durante el tiempo de vida para el cual ha sido diseñado, a través de la capacidad estructural y funcionalidad.

La selección va acompañada al tipo de vía que se requiere construir. La AASHTO clasifica, de acuerdo a su función, en lo siguiente:

- ❖ Interestatales
- ❖ Arteriales
- ❖ Colectoras
- ❖ Locales

Para la carretera interestatal definida en la presente tesis, se optó por el valor de 90% según la Tabla 2.2 de la página II-9 de la guía propuesta por la AASHTO.

- Desviación estándar normal

Valor relacionado directamente a la confiabilidad designada para el proyecto. De acuerdo a la Tabla 4.1, en la página I-62 de la guía, para una confiabilidad de 90% le corresponde una desviación estándar de -1.282.

- Desviación estándar combinada o total

La AASHTO propone en la sección 4.3, página I-62 el valor de 0.44 para pavimentos flexibles, ya que se ha realizado el conteo y la clasificación de los vehículos que circulan en la vía existente.

- Módulo de resiliencia

Al contar con el valor del CBR de la subrasante y los valores mínimos propuestos por el MTC para la sub-base y la base. Según el Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) que figura en la AASHTO (2015)¹⁷

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times CBR^{0.64}$$

El valor del CBR de la subrasante presente en el proyecto es de 7%, por lo que se obtiene un módulo igual a 8877 psi.

- Pérdida de serviciabilidad

En los pavimentos flexibles, el nivel de serviciabilidad inicial propuesto por la AASHTO en la página I-8 de la guía es de 4.0, y de acuerdo al tránsito promedio (ADT) que circulará por la autopista, se escogió el valor final de 2.5. Por tal motivo, la pérdida de serviciabilidad para el proyecto es 1.5.

El cuadro de resumen con los datos requeridos es el siguiente:

| Descripción | Valor | Unidad |
|---|----------------------|------------------------------|
| ESAL | 1.27x10 ⁷ | ejes equivalentes de 8.2 ton |
| Periodo de diseño | 15 | años |
| Confiabilidad (R) | 90 | % |
| Desviación estándar normal (Zr) | -1.282 | |
| Desviación estándar combinada o total (So) | 0.44 | |
| Índice de serviciabilidad inicial (PSIi) | 4 | |
| Índice de serviciabilidad final (PSIf) | 2.5 | |
| Δ PSI | 1.5 | |
| CBR de la subrasante | 7 | % |
| Módulo de resiliencia de la subrasante | 8877 | psi |

Tabla 7.2 Resumen de los parámetros requeridos para el diseño

¹⁷American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO (2015). *Mechanistic Empirical Pavement Design Guide* (MEPDG).

7.2.2 Cálculo de la estructura del pavimento

De acuerdo a la guía propuesta por la AASHTO, se obtiene el número estructural del sistema, de acuerdo al coeficiente estructura de cada capa y a su respectivo coeficiente de drenaje.

$$SN = a_1xD_1 + a_2xm_2xD_2 + a_3xm_3xD_3$$

Figura 7.2 Cálculo del número estructural de un pavimento flexible

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials)

Donde:

SN = número estructural

a_i = coeficiente estructural de cada capa

D_i = espesor de cada capa

m_i = coeficiente de drenaje de cada capa

- Número estructural

Es la capacidad estructural que tiene el pavimento para soportar una determinada carga, según las propiedades establecidas por las capas que lo componen. De acuerdo al nomograma propuesto en la página II-32 de la guía de la AASHTO, se obtiene el valor de 4.63.

- Coeficientes estructurales

Es el aporte estructural asignado por cada capa de acuerdo al tipo de material seleccionado.

De acuerdo a la guía de la AASHTO, en la página II-21, se puede asignar los coeficientes a la base y la sub-base, de acuerdo al CBR que pertenece a cada una de ellas.

| Tipo de capa | Coficiente estructural a |
|-------------------|----------------------------|
| Base CBR 100% | 0.14 |
| Sub-Base CBR 40% | 0.12 |
| Carpeta Asfáltica | 0.4 |

Tabla 7.3 Coeficientes estructurales de las capas del pavimento flexible

- Coeficientes de drenaje

Es la capacidad de drenaje propia del material teniendo en cuenta el porcentaje de tiempo bajo el estado de saturación. En la página II-25 de la guía de la AASHTO, mediante el uso del CBR de la capa, se puede determinar el coeficiente de drenaje perteneciente al material seleccionado.

| Tipo de capa | Coefficiente de drenaje m |
|--------------|---------------------------|
| Sub-Base | 1 |
| Base | 1 |

Tabla 7.4 Coeficientes de drenaje de las capas del pavimento rígido

Debido a que nos encontramos con una carga equivalente en el diseño mayor a 7×10^6 ejes equivalentes de 8.2 ton, la AASHTO recomienda unos valores mínimos para la carpeta asfáltica, el cual es 10 cm y la capa de base, 15 cm.

Gracias a esta recomendación, se puede a realizar la iteración teniendo en cuenta lo siguiente:

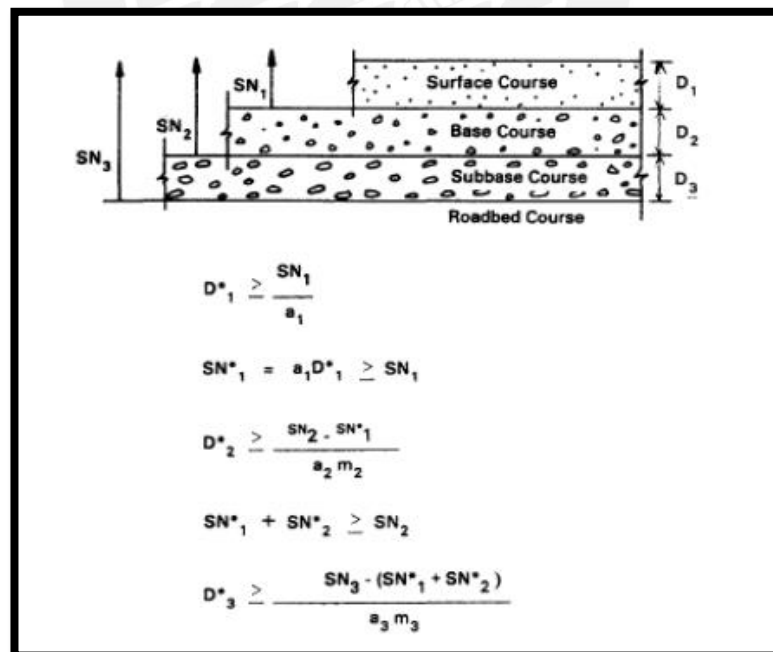


Figura 7.3 Condicionales de diseño para las capas de pavimento flexible

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials

El pavimento flexible a ser una estructura conformada por varias capas, es necesario conocer el aporte parcial y global de cada una de ellas. Por el motivo, es necesario conocer el número estructural requerido para cada capa.

| Tipo de Capa | Número estructural |
|-------------------|--------------------|
| Subrasante CBR 7% | 4.68 |
| Sub-Base CBR 40% | 3.00 |
| Base CBR 102% | 1.60 |

Tabla 7.5 Número estructural acumulado hasta cada capa en análisis

A partir de los parámetros establecidos, y teniendo en cuenta la recomendación de los valores mínimos propuestos por la AASHTO, se logran obtener las siguientes alternativas

| Alternativas | | |
|--------------------------|-------|-------|
| Carpeta Asfáltica | 10 cm | 10 cm |
| Base | 25 cm | 30 cm |
| Sub-Base | 35 cm | 30 cm |

Tabla 7.6 Alternativas obtenidas por el Diseño AASHTO

7.3 Método del Instituto de Asfalto para pavimentos flexibles

Este método busca poseer varias cartas de diseño en las cuales se relaciona la temperatura media del ambiente donde se va desarrollar el proyecto, y el tipo de material que será empleado para la base.

7.3.1 Datos de entrada

- Módulo de resiliencia de la subrasante

Debido a las características del suelo sobre el cual se realizará el proyecto se encuentran definidas, al momento de ejecutar el diseño, se debe utilizar el valor del módulo menor al 75% de los otros calculados debido a la variabilidad de resultados obtenidos en los ensayos. Al tener un valor promedio de los resultados para el diseño, se asume que se está cumpliendo con dicha condición.

De acuerdo con lo mencionado en el diseño anterior, el valor del módulo de resiliencia para la subrasante es de 8877 psi.

- Temperatura promedio del aire

El Instituto de Asfalto ha elaborado unas cartas de diseño en función de la temperatura del aire (7°C, 15.5°C y 24°C) que envuelve el proyecto conocidas como MATT.

La temperatura promedio de la zona en la que se encuentra la autopista es 5.5°C, por lo que se empleará la carta que tenga la temperatura con el valor más próximo al obtenido en la zona; por tal motivo, se hará uso de la carta MATT 7°C).

- Número de ejes equivalentes

Este parámetro fue definido en el capítulo 6. El valor obtenido es 1.27×10^7 ejes equivalentes de 8.2 ton.

7.3.2 Valores de la carpeta asfáltica para las diversas propuestas

En base a mencionado anteriormente, el Instituto de Asfalto trabaja con unas cartas de diseño elaboradas en base a la temperatura del aire presente en la zona del proyecto.

Debido a esta condición, se pueden obtener diseños para un pavimento conformado netamente por carpeta asfáltica, carpeta asfáltica y base de 15 cm y, carpeta asfáltica y base de 30 cm.

Al tener esta disyuntiva, se procede a obtener los números estructurales de cada una de las alternativas.

| Alternativas | | | |
|--------------------------------|----|----|----|
| Carpeta Asfáltica (cm.) | 21 | 18 | 18 |
| Base (cm.) | - | 15 | 30 |

Tabla 7.7 Alternativas obtenidas bajo las condiciones de diseño propuestas por el IA

7.3.3 Estructura del pavimento

Al existir una gran limitación en la conformación de capas por la presente metodología, se procede a complementar bajo el criterio establecido por la AASHTO, la equivalencia de números estructurales presentes en cada propuesta, para poder obtener la alternativa más económica. Debido a esto, es necesario trabajar con la propuesta que tenga el menor SN, ya que representa el sistema estructural con menor cantidad de espesor de capa que puede trabajar correctamente ante las cargas producidas por el tránsito vehicular.

| Alternativas | | | |
|--------------------------------|------|------|------|
| Carpeta Asfáltica (cm.) | 21 | 18 | 18 |
| Base (cm.) | - | 15 | 30 |
| Número estructural | | | |
| SN | 3.31 | 3.66 | 4.48 |

Tabla 7.8 Números estructurales pertenecientes a cada alternativa de diseño

Tomando en consideración las pautas establecida anteriormente y en conformidad por lo propuesto en la AASHTO, las alternativas obtenidas son las siguientes:

| Alternativas | | | |
|--------------------------------|----|----|----|
| Carpeta Asfáltica (cm.) | 10 | 10 | 10 |
| Base (cm.) | 15 | 20 | 25 |
| Sub-base (cm.) | 20 | 20 | 35 |

Tabla 7.9 Espesores de capas establecidos por la AASHTO – IA

7.4 Método AASHTO para pavimentos rígidos

Con la finalidad de obtener el espesor de losa de concreto requerido para las condiciones del proyecto bajo la metodología de la AASHTO, se empleará la siguiente ecuación:

$$\log_{10} W_{18} = z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_i) \times \log_{10} \left(\frac{s'_e \times c_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.32 \times J (D^{0.75} - \frac{18.42}{E_c})} \right) \left(\frac{E_c}{k_{effect}} \right)^{0.25}$$

Figura 7.4 Cálculo del espesor de losa de concreto – Metodología AASHTO

Fuente: American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (1993). *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos: American Association of State Highway and Transportation Officials

De igual manera, como método alternativo para la obtención del espesor de losa de concreto, se puede emplear el nomograma propuesto por la Guía de diseño propuesta por la AASHTO.

7.4.1 Datos de entrada

Para poder realizar el respectivo diseño, es necesario conocer diversos parámetros establecidos por la metodología con el fin de conocer el nivel servicio deseado a lo largo del tiempo de vida. Estos parámetros son los siguientes:

- Periodo de diseño

Se consideró un periodo de 15 años, debido a que se trata de un proyecto para el estado.

- Confiabilidad

La confiabilidad cuantifica el posible comportamiento de la estructura durante el tiempo de vida para el cual ha sido diseñado, a través de la capacidad estructural y funcionabilidad.

La selección va acompañada al tipo de vía que se requiere construir. La AASHTO clasifica, de acuerdo con su función, en lo siguiente:

- ❖ Interestatales
- ❖ Arteriales
- ❖ Colectoras
- ❖ Locales

Para la carretera interestatal definida en la presente tesis, se optó por el valor de 90% según la Tabla 2.2 de la página II-9 de la guía propuesta por la AASHTO.

- Desviación estándar normal

Valor relacionado directamente a la confiabilidad designada para el proyecto. De acuerdo a la Tabla 4.1, en la página I-62 de la guía, para una confiabilidad de 90% le corresponde una desviación estándar de -1.282.

- Desviación estándar combinada o total

La AASHTO propone en la sección 4.3, página I-62 el valor de 0.34 para pavimentos rígido, ya que se ha realizado el conteo y la clasificación de los vehículos que circulan en la vía existente.

- Perdida de servicio

En los pavimentos rígidos, el nivel de serviciabilidad inicial propuesto por la AASHTO en la página I-8 de la guía es de 4.5, y de acuerdo al tránsito promedio (ADT) que circulará por la autopista, se escogió el valor final de 3. Por tal motivo, la pérdida de serviciabilidad para el proyecto es 1.5

- Características del concreto

Es necesario conocer la capacidad de deformación en el rango elástico del concreto; para ello, se empleó la relación propuesta por la Norma Técnica Peruana E.060, la cuál es la siguiente:

$$E = 15000x^2\sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Siendo:

$f'c$ = Resistencia a la compresión desarrollada por el concreto a los 28 días.

De acuerdo con lo señalado por la Norma de Suelos – Geología. Geotecnia y Pavimentos propuesta por el MTC, corresponde un $f'c_{mín} = 300 \text{ kg/cm}^2$, decidiendo optar por el valor convencional del concreto de 350 kg/cm^2 . A partir de esto, se logró determinar un $E = 281000 \text{ kg/cm}^2$ ó $3.99 \times 10^6 \text{ psi}$. Teniendo en consideración dichos parámetros, empleando la propuesta recomendada por UNICON, se determinó un módulo de rotura de 48.45 kg/cm^2 o 689 psi.

- Módulo de reacción de la subrasante

Acorde a lo propuesto en la guía de diseño de la PCA, en base al valor de 7% de CBR para la subrasante obtenido de los ensayos de laboratorio, se optó por el valor de módulo de reacción de subrasante igual a 170 psi.

- Número de ejes equivalentes

Este parámetro fue definido en el capítulo 6. El valor obtenido es 1.44×10^7 ejes equivalentes de 8.2 ton.

- Coeficiente de transferencia de carga
Este parámetro cuantifica la capacidad de la estructura al momento de realizar la distribución de cargas. Depende del tipo de berma elegida y la presencia de dowels.
A partir de la delimitación, y tomando en consideración la propuesta de la AASHTO, se ha optado por un valor de 3.2, de acuerdo a la Tabla 2.6 de la página II-26.
- Coeficiente de drenaje
Dicho parámetro permite cuantificar la capacidad de drenaje del pavimento requerido para un determinado porcentaje de saturación sometida durante su tiempo de vida. A partir de la información obtenida del Estudio Pluviométrico, en base a la Tabla 2.5 de la página II-26 de la Guía de diseño propuesta por la AASHTO, se optó por el valor de 0.9.
- Módulo de reacción efectivo
De acuerdo al espesor inicial de 15 cm en la capa de subbase, empleando la Tabla 1 de página 6 en la guía de diseño propuesta por la PCA, se determinó un módulo de reacción efectivo de 203 pci.
Explicada las características del proyecto requeridas en el diseño del pavimento, se elaboró un cuadro de resumen con las propiedades en mención.

| DISEÑO PAVIMENTO RÍGIDO | | |
|--|--------------------|--------------------|
| Periodo de diseño(Y) | 15 | años |
| Índice de serviciabilidad inicial (Pt) | 4.5 | |
| Índice de serviciabilidad final (Po) | 3 | |
| Pérdida de servicio (ΔPSI) | 1.5 | |
| Confiabilidad (R) | 90 | % |
| Desviación estándar combinada o total (So) | 0.34 | |
| ESAL | 1.44×10^7 | ejes de 8.2 ton |
| Resistencia a la compresión del concreto en 28 días (f'c) | 350 | kg/cm ² |
| Módulo de elasticidad del concreto (Ec) | 4×10^6 | psi |
| Módulo de rotura del concreto (s'c) | 689 | psi |
| CBR Subrasante | 7 | % |
| Módulo de reacción de la subrasante (K) | 170 | psi |
| Desviación estándar (Zr) | -1.282 | |
| Coeficiente de drenaje (Cd) | 0.9 | |
| Coeficiente de transferencia de carga (J) | 3.2 | |
| Módulo de reacción efectivo (k_{effect}) | 203 | pci |

Tabla 7.10 Resumen de las propiedades de diseño requeridas por la Metodología de la AASHTO

7.4.2 Cálculo de la losa de concreto

Haciendo uso de la Figura 7.6 presentada en el inciso anterior, de acuerdo a las propiedades de diseño establecidas, en base a los criterios propuestos en la guía de diseño elaborada por la AASHTO, se logró encontrar diversas alternativas, de acuerdo al aumento del espesor en la capa de base.

| ESTRUCTURA | Alternativas | | | |
|-----------------------------------|--------------|-----|-----|-----|
| Losa de Concreto (cm.) | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Base (cm.) | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Módulo de reacción efectivo (pci) | 203 | 217 | 243 | 281 |

Tabla 7.11 Espesores de capa obtenidas por la Metodología propuesta por la AASHTO – Pavimento Rígido

De acuerdo con los resultados obtenidos por la metodología presentados en la Tabla 7.11, se puede observar que el espesor de la losa de concreto requiere gran cantidad de variación en la capa de base para reducir en 1cm su espesor, por lo que no es rentable su reducción.

7.5 Método de la PCA para pavimentos rígidos

Esta metodología nos permite conocer los espesores necesarios para cumplir con el nivel de servicio requerido para una determinada carga en un tiempo de vida determinado a través del análisis de fatiga y erosión, en donde a partir de las repeticiones esperadas durante el tipo de vida de la estructura, se puede conocer mediante el uso de tabla de diseño, el porcentaje de daño sufrido. Debido a esto, lo que se busca es obtener valores menores al 100%, ya que es un indicativo del daño sufriendo a lo largo de su tiempo de servicio.

7.5.1 Datos de entrada

- Módulo de rotura

De acuerdo a lo señalado por la Norma de Suelos – Geología. Geotecnia y Pavimentos propuesta por el MTC, corresponde un $f'_{cmín} = 300 \text{ kg/cm}^2$, decidiendo optar por el valor convencional del concreto de 350 kg/cm^2 .

En base a lo expuesto, el ACI determina una fórmula para el cálculo del módulo, utilizando como dato, la resistencia a la compresión del concreto en 28 días.

$$s'c = \alpha^2 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Figura 7.5 Estimación del módulo de rotura del concreto, según UNICON

Fuente: Unión de Concreteras S.A.(UNICON).(2016).UNICONSEJOS: La resistencia a la flexión en los pavimentos. 23 de Agosto del 2016.

De acuerdo a la recomendación de UNICON, el valor de α varía entre 1.99 y 3.18. Para simplificación de la propuesta, se optó por emplear el valor promedio igual a 2.59. A partir de esto, se obtuvo 48.45 kg/cm^2 (689 psi).

- Factor de seguridad de carga (LSF)

Debido a la presencia de un alto volumen de tránsito liviano y además, presencia de transporte mediano y pesado, la norma establece, para dichas condiciones, el valor de 1.1.

- Módulo de reacción de la subrasante

De acuerdo a la Figura 2 propuesta en la guía de diseño de la PCA, en base al valor de 7% de CBR para la subrasante obtenido de los ensayos de laboratorio, se optó por el valor de módulo de reacción de subrasante igual a 170 psi.

- Módulo de reacción efectivo

De acuerdo al espesor inicial de 15 cm en la capa de subbase, empleando la Tabla 1 de página 6 en la guía de diseño propuesta por la PCA, se determinó un módulo de reacción efectivo de 203 pci.

- Condiciones complementarias

Es necesario conocer las construcciones complementarias carril de rodadura, ya que son parámetros de diseño la presencia y dowels y bermas, según el tipo de material.

7.5.2 Cálculo de la losa de concreto

Es necesario conocer la distribución de cargas, según el tipo de vehículo, para cuantificar la cantidad de peso repartido por eje en base al flujo de tránsito evaluado en el Estudio de Tráfico.

| Tipo de Vehículos | N° Vehículos | Eje delantero | Cargas (ton) | | | Cargas (kips) | | | |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 eje | 2 eje | 3 eje | Eje delantero | 1 eje | 2 eje | 3 eje |
| Automóviles | 12315 | 1 | 1 | | | 2 | 2 | | |
| C2 | 412 | 7 | 11 | | | 15 | 24 | | |
| C3 | 0 | 7 | 18 | | | 15 | 40 | | |
| C4 | 88 | 7 | 23 | | | 15 | 51 | | |
| 8X4 | 42 | 7+7 | 18 | | | 15+15 | 40 | | |
| T2S1 | 56 | 7 | 11 | 11 | | 15 | 24 | 24 | |
| T2S2 | 0 | 7 | 11 | 18 | | 15 | 24 | 40 | |
| T2S3 | 62 | 7 | 11 | 25 | | 15 | 24 | 55 | |
| T2Se2 | 44 | 7 | 11 | 11 | 11 | 15 | 24 | 24 | 24 |
| T3S1 | 38 | 7 | 18 | 11 | | 15 | 40 | 24 | |
| T3S2 | 0 | 7 | 18 | 18 | | 15 | 40 | 40 | |
| T3Se2 | 18 | 7 | 18 | 11 | 11 | 15 | 40 | 24 | 24 |
| C2R3 | 49 | 7 | 11 | 11 | 18 | 15 | 24 | 24 | 40 |
| T3S3 | 28 | 7 | 18 | 25 | | 15 | 40 | 55 | |
| 8X4R3 | 0 | 7+7 | 18 | 11 | 18 | 15+15 | 40 | 24 | 40 |
| 8X4R4 | 0 | 7+7 | 18 | 18 | 18 | 15+15 | 40 | 40 | 40 |
| B3-1 | 126 | 7 | 16 | | | 15 | 35 | | |
| B4-1 | 169 | 7+7 | 16 | | | 15+15 | 35 | | |

Tabla 7.12 Relación de pesos, según el tipo de vehículo, establecido por el Reglamento Nacional Vehicular

En la Tabla 7.12, se puede apreciar el tipo de carga repartida al pavimento, de acuerdo a la clase de vehículo presente en el Reglamento Nacional Vehicular, para el periodo actual.

A partir de este punto, empleando los parámetros obtenidos en el Estudio de Tráfico, tales como el factor de distribución direccional, factor de crecimiento y el número de días del año, se puede estimar la cantidad de repeticiones esperadas a lo largo del tiempo de vida.

| CARGA (kips) | REPETICIONES ACTUALES | REPETICIONES EN EL PERIODO DE DISEÑO |
|----------------|-----------------------|--------------------------------------|
| SIMPLES | | |
| 2 | 24630 | 74'167,087.5 |
| 15 | 1343 | 4'044,108.75 |
| 24 | 890 | 2'680,012.5 |
| TANDEM | | |
| 35 | 295 | 888,318.75 |
| 40 | 175 | 526,968.75 |
| TRIDEM | | |
| 51 | 88 | 264,990 |
| 55 | 90 | 271,012.5 |

Tabla 7.13 Repeticiones esperadas durante el periodo de diseño según el tipo de carga

Para la evaluación de daño por erosión y fatiga, es necesario emplear la Tabla 6.a ubicada en la página 14 de la guía, en donde se podrá obtener la relación de esfuerzos requerida. Además de lo mencionado, para el factor de erosión, es necesario ubicar la Tabla 7.a en la página 16. Esta información es empleada para los ejes simple y tandem. Para el caso del eje tridem, se requiere emplear las Tablas C1 y C2 del apéndice para el factor de erosión y la relación de esfuerzos necesaria. A partir de los datos obtenidos, se realizará el análisis respectivo según las capas analizadas.

| | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|--|---------------------|---------|
| Proyecto: | DISEÑO DE LA AUTOPISTA JULIACA - PUNO | | | Junta con pasadores | SI |
| Espesor de tanteo | 26 | cm | | Espesor de base | 15 cm |
| k Conjunto Subrasante/Sub-base | 200 | pci | | Bermas de concreto | NO |
| Módulo de rotura | 690 | psi | | Periodo de diseño | 15 años |
| Factor de seguridad, LSF | 1.1 | | | | |

| Tipo de eje | Carga por eje Kips | Carga x LSF | Repeticiones esperadas | Análisis de fatiga | | Análisis de erosión | |
|--------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Fatiga | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Daño |
| EJES SIMPLES | Esfuerzo equivalente | | | 137 | | Factor de erosión | 2.51 |
| | Relación de esfuerzos | | | 0.199 | | %Daño parcial | 14.9 |
| | 2 | 2.2 | 74167087.5 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 15 | 16.5 | 4044108.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| EJES TANDEM | 24 | 26.4 | 2680012.5 | ILIMITADO | - | 18000000 | 14.9 |
| | Esfuerzo equivalente | | | 130 | | Factor de erosión | 2.58 |
| | Relación de esfuerzos | | | 0.189 | | %Daño parcial | 1.4 |
| | 35 | 38.5 | 888318.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| EJES TRIDEM | 40 | 44 | 526968.75 | ILIMITADO | - | 40000000 | 1.4 |
| | Esfuerzo equivalente | | | - | | Factor de erosión | 2.83 |
| | Relación de esfuerzos | | | - | | %Daño parcial | 8.2 |
| | 51 | 56.1 | 264990 | ILIMITADO | - | 10000000 | 2.7 |
| | 55 | 60.5 | 271012.5 | ILIMITADO | - | 5000000 | 5.5 |
| | | | | | | DAÑO TOTAL | 24.5 |

Tabla 7.14 Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 26 y 15 cm. respectivamente

| | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|---------------------|---------|
| Proyecto: | DISEÑO DE LA AUTOPISTA JULIACA - PUNO | | Junta con pasadores | SI |
| Espesor de tanteo | 26 | cm | Espesor de base | 30 cm |
| k Conjunto Subrasante/Sub-base | 280 | pci | Bermas de concreto | NO |
| Módulo de rotura | 690 | psi | Periodo de diseño | 15 años |
| Factor de seguridad, LSF | 1.1 | | | |

| Tipo de eje | Carga por eje Kips | Carga x LSF | Repeticiones esperadas | Análisis de fatiga | | Análisis de erosión | |
|--------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Fatiga | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Daño |
| EJES SIMPLES | Esfuerzo equivalente | | | 129 | Factor de erosión | 2.5 | |
| | Relación de esfuerzos | | | 0.187 | %Daño parcial | 9 | |
| | 2 | 2.2 | 74167087.5 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 15 | 16.5 | 4044108.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 24 | 26.4 | 2680012.5 | ILIMITADO | - | 30000000 | 9 |
| EJES TANDEM | Esfuerzo equivalente | | | 119 | Factor de erosión | 2.64 | |
| | Relación de esfuerzos | | | 0.173 | %Daño parcial | 1.8 | |
| | 35 | 38.5 | 888318.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 40 | 44 | 526968.75 | ILIMITADO | - | 30000000 | 1.8 |
| EJES TRIDEM | Esfuerzo equivalente | | | - | Factor de erosión | 2.77 | |
| | Relación de esfuerzos | | | - | %Daño parcial | 1.5 | |
| | 51 | 56.1 | 264990 | ILIMITADO | - | 60000000 | 0.5 |
| | 55 | 60.5 | 271012.5 | ILIMITADO | - | 30000000 | 1 |
| | | | | | | DAÑO TOTAL | 12.3 |

Tabla 7.15 Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 26 y 30 cm. respectivamente

| | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|---------------------|---------|
| Proyecto: | DISEÑO DE LA AUTOPISTA JULIACA - PUNO | | Junta con pasadores | SI |
| Espesor de tanteo | 27 | cm | Espesor de base | 15 cm |
| k Conjunto Subrasante/Sub-base | 200 | pci | Bermas de concreto | NO |
| Módulo de rotura | 690 | psi | Periodo de diseño | 15 años |
| Factor de seguridad, LSF | 1.1 | | | |

| Tipo de eje | Carga por eje Kips | Carga x LSF | Repeticiones esperadas | Análisis de fatiga | | Análisis de erosión | |
|--------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Fatiga | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Daño |
| EJES SIMPLES | Esfuerzo equivalente | | | 145 | Factor de erosión | 2.45 | |
| | Relación de esfuerzos | | | 0.211 | %Daño parcial | 9 | |
| | 2 | 2.2 | 74167087.5 | ILIMITADO | - | - | - |
| | 15 | 16.5 | 4044108.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 24 | 26.4 | 2680012.5 | ILIMITADO | - | 30000000 | 9 |
| EJES TANDEM | Esfuerzo equivalente | | | 136 | Factor de erosión | 2.63 | |
| | Relación de esfuerzos | | | 0.198 | %Daño parcial | 4.2 | |
| | 35 | 38.5 | 888318.75 | ILIMITADO | - | 60000000 | 1.5 |
| | 40 | 44 | 526968.75 | ILIMITADO | - | 20000000 | 2.7 |
| EJES TRIDEM | Esfuerzo equivalente | | | - | Factor de erosión | 2.73 | |
| | Relación de esfuerzos | | | - | %Daño parcial | 3.1 | |
| | 51 | 56.1 | 264990 | ILIMITADO | - | 20000000 | 1.4 |
| | 55 | 60.5 | 271012.5 | ILIMITADO | - | 16000000 | 1.7 |
| | | | | | | DAÑO TOTAL | 16.3 |

Tabla 7.16 Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 27 y 15 cm. respectivamente

| | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|--|---------------------|---------|
| Proyecto: | DISEÑO DE LA AUTOPISTA JULIACA - PUNO | | | Junta con pasadores | SI |
| Espesor de tanteo | 27 | cm | | Espesor de base | 30 cm |
| k Conjunto Subrasante/Sub-base | 280 | pci | | Bermas de concreto | NO |
| Módulo de rotura | 690 | psi | | Periodo de diseño | 15 años |
| Factor de seguridad, LSF | 1.1 | | | | |

| Tipo de eje | Carga por eje Kips | Carga x LSF | Repeticiones esperadas | Análisis de fatiga | | Análisis de erosión | |
|--------------|---|-------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Fatiga | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Daño |
| EJES SIMPLES | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | 137 0.199 | Factor de erosión %Daño parcial | 2.44 9 | |
| | 2 | 2.2 | 74167087.5 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 15 | 16.5 | 4044108.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 24 | 26.4 | 2680012.5 | ILIMITADO | - | 30000000 | 9 |
| EJES TANDEM | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | 125 0.182 | Factor de erosión %Daño parcial | 2.59 1.4 | |
| | 35 | 38.5 | 888318.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 40 | 44 | 526968.75 | ILIMITADO | - | 40000000 | 1.4 |
| EJES TRIDEM | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | - - | Factor de erosión %Daño parcial | 2.69 1.9 | |
| | 51 | 56.1 | 264990 | ILIMITADO | - | 60000000 | 0.5 |
| | 55 | 60.5 | 271012.5 | ILIMITADO | - | 20000000 | 1.4 |
| | DAÑO TOTAL | | | | | | |

Tabla 7.17 Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 27 y 30 cm. respectivamente

| | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|--|---------------------|---------|
| Proyecto: | DISEÑO DE LA AUTOPISTA JULIACA - PUNO | | | Junta con pasadores | SI |
| Espesor de tanteo | 28 | cm | | Espesor de base | 15 cm |
| k Conjunto Subrasante/Sub-base | 200 | pci | | Bermas de concreto | NO |
| Módulo de rotura | 690 | psi | | Periodo de diseño | 15 años |
| Factor de seguridad, LSF | 1.1 | | | | |

| Tipo de eje | Carga por eje Kips | Carga x LSF | Repeticiones esperadas | Análisis de fatiga | | Análisis de erosión | |
|--------------|---|-------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Fatiga | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Daño |
| EJES SIMPLES | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | 154 0.224 | Factor de erosión %Daño parcial | 2.39 4.5 | |
| | 2 | 2.2 | 74187087.5 | ILIMITADO | - | - | - |
| | 15 | 16.5 | 4044108.75 | ILIMITADO | - | - | - |
| | 24 | 26.4 | 2680012.5 | ILIMITADO | - | 60000000 | 4.5 |
| EJES TANDEM | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | 143 0.208 | Factor de erosión %Daño parcial | 2.58 1.4 | |
| | 35 | 38.5 | 888318.75 | ILIMITADO | - | - | - |
| | 40 | 44 | 526968.75 | ILIMITADO | - | 40000000 | 1.4 |
| EJES TRIDEM | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | - - | Factor de erosión %Daño parcial | 2.74 3.7 | |
| | 51 | 56.1 | 264990 | ILIMITADO | - | 30000000 | 0.9 |
| | 55 | 60.5 | 271012.5 | ILIMITADO | - | 10000000 | 2.8 |
| | DAÑO TOTAL | | | | | | |

Tabla 7.18 Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 28 y 15 cm. respectivamente

| | | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----|---------------------|---------|
| Proyecto: | DISEÑO DE LA AUTOPISTA JULIACA - PUNO | | Junta con pasadores | SI |
| Espesor de tanteo | 28 | cm | Espesor de base | 30 cm |
| k Conjunto Subrasante/Sub-base | 280 | pci | Bermas de concreto | NO |
| Módulo de rotura | 690 | psi | Periodo de diseño | 15 años |
| Factor de seguridad, LSF | 1.1 | | | |

| Tipo de eje | Carga por eje Kips | Carga x LSF | Repeticiones esperadas | Análisis de fatiga | | Análisis de erosión | |
|--------------|---|-------------|------------------------|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| | | | | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Fatiga | Repeticiones Admisibles | Porcentaje de Daño |
| EJES SIMPLES | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | 146 0.212 | Factor de erosión %Daño parcial | 2.38 0 | |
| | 2 | 2.2 | 74167087.5 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 15 | 16.5 | 4044108.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 24 | 26.4 | 2680012.5 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| EJES TANDEM | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | 132 0.192 | Factor de erosión %Daño parcial | 2.54 0.7 | |
| | 35 | 38.5 | 888318.75 | ILIMITADO | - | ILIMITADO | - |
| | 40 | 44 | 526968.75 | ILIMITADO | - | 80000000 | 0.7 |
| | | | | | | | |
| EJES TRIDEM | Esfuerzo equivalente Relación de esfuerzos | | | - - | Factor de erosión %Daño parcial | 2.69 1.7 | |
| | 51 | 56.1 | 264390 | ILIMITADO | - | 40000000 | 0.7 |
| | 55 | 60.5 | 271012.5 | ILIMITADO | - | 30000000 | 1 |
| | | | | | | DAÑO TOTAL | 2.4 |

Tabla 7.19 Análisis de erosión y fatiga, según la Metodología de la PCA, para un espesor de losa de concreto y base, 28 y 30 cm. respectivamente

Culminado el análisis de daño, se presentará las alternativas obtenidas de acuerdo a las iteraciones asumidas.

| ESTRUCTURA | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 |
|------------------------|-------------|------|------|------|------|-----|
| Losa de Concreto (cm.) | 26 | 26 | 27 | 27 | 28 | 28 |
| Base (cm.) | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 |
| % Daño | Fatiga (%) | - | - | - | - | - |
| | Erosión (%) | 24.5 | 12.3 | 16.3 | 12.3 | 9.6 |

Tabla 7.20 Espesores de capa obtenidos por la Metodología de la PCA

En base a los resultados presentados en la Tabla 7.16, se puede observar que se desprecia el análisis por fatiga, debido al tipo de volumen vehicular que transitará por la vía, ya que no hay restricción en las repeticiones admisible. Por tal motivo, se procede a comprar el análisis de erosión, lo que conlleva a la selección de la alternativa con el espesor más bajo y un daño relativamente bajo.

CAPÍTULO 8: MANTENIMIENTO DEL PAVIMENTO

Las carreteras son inversiones importantes que demandan atención permanente a través de trabajos de mantenimiento con la finalidad de contar, el mayor tiempo posible, con un medio de acceso en buenas condiciones que facilite la circulación de los vehículos.

La ejecución de la carretera requiere una planificación integral en políticas de mantenimiento de manera una continuidad y nivel de servicio adecuado.

8.1 Objetivos del Mantenimiento Vial

Se definen los siguientes objetivos con el propósito de asegurar la calidad de servicio vial para el periodo de diseño elaborado (20 años).

Mantener la continuidad del servicio ofrecido, de tal manera que sea posible la circulación del tránsito frente incluso a evento de naturaleza que dañen la carretera dentro de los límites anuales normales.

No está contemplado durante el periodo de mantenimiento, el acontecimiento de eventos mayores, causados anormalmente por la naturaleza, por ejemplo: lluvias excepcionales o terremotos que pudieran determinar graves daños a la carretera. Mantener un nivel de servicio adecuado, referido a la seguridad y al confort durante la conducción del vehículo.

8.2 Políticas de Mantenimiento Vial

El mantenimiento vial, en general, es el conjunto de actividades que se realizan para conservar en buen estado las condiciones físicas de los diferentes elementos que constituyen el camino, mejorando la transitabilidad y el nivel de servicio, con el propósito de reducir el impacto sobre los costos operativos de los usuarios y preservar el patrimonio vial.

Las políticas de mantenimiento adoptar estarán en función de la magnitud de los trabajos a realizar, desde una intervención sencilla pero permanente (mantenimiento rutinario), hasta una intervención más costosa y complicada (mantenimiento periódico).

8.2.1 Mantenimiento Rutinario

Es el conjunto de actividades que se ejecutan dentro de un plazo no mayor a un año para conservar la calzada, el sistema de drenaje, área lateral, la señalización y las obras de arte en general. Estos trabajos tienen el carácter de preventivo y se ejecutan, según sea el caso en diversa magnitud (limitada e ilimitada), durante todo el año para conservar la adecuada transitabilidad y evitar el deterioro prematuro de la carretera, de acuerdo a una programación elaborada en función de prioridades, estacionalidad y características de la carretera.

8.2.2 Mantenimiento Periódico

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en periodos mayores a un año, según el efecto del tránsito y que tienen el propósito de evitar la aparición o el agravamiento de defectos mayores, preservar las características superficiales, conservar la integridad estructural de la vía y de corregir algunos defectos puntuales mayores.

En la conservación periódica no se incluyen correspondientes a la conservación del derecho de vía, explanaciones, drenaje, cauces, estructuras y señalización, las mismas que están cubiertas absolutamente por la conservación rutinaria y/o las obras de conservación puntual complementarias, actividades que deben evitar el deterioro de la carretera.

En tal sentido, la conservación periódica es la actividad que se ejecuta sólo para re conformar y restablecer las características de la superficie de rodadura.

8.2.3 Mantenimiento de Emergencia

Es el conjunto de actividades que se ejecutan para recupera la inmediata transitabilidad de la carretera afectada en varios sectores por un evento extraordinario o de fuerza mayor.

De acuerdo con lo expresado, el MTC clasifica de la siguiente manera las actividades para la conservación del pavimento.

| PAVIMENTO FLEXIBLE | TIPO DE ACTIVIDAD |
|--|-------------------|
| SELLADO DE FISURAS Y GRIETAS EN LA CALZADA | RUTINARIO |
| PARCHADO SUPERFICIAL EN LA CALZADA | RUTINARIO |
| PARCHADO PROFUNDO EN CALZADA | RUTINARIO |
| TRATAMIENTO DE ZONAS CON EXUDACIÓN EN LA CALZADA | RUTINARIO |
| SELLOS ASFÁLTICOS | PERIÓDICO |
| RECAPADOS ASFÁLTICOS | PERIÓDICO |
| FRESADO DE CARPETA ASFÁLTICA | PERIÓDICO |
| MICROFRESADO DE CARPETA ASFÁLTICA | PERIÓDICO |

Tabla 8.1 Tipos de Mantenimiento – Pavimento Flexible

Fuente: Manual de Mantenimiento Vial – MTC 2013

| PAVIMENTO RÍGIDO | TIPO DE ACTIVIDAD |
|--|-------------------|
| SELLADO DE FISURAS Y GRIETAS EN LA CALZADA | RUTINARIO |
| REPARACIÓN DE LOSAS DE CALZADA EN ESPESOR PARCIAL | RUTINARIO |
| COLOCACIÓN DE BARRAS DE TRANSFERENCIA DE CARGA | RUTINARIO |
| REPARACIÓN DE LOSAS DE CALZADA EN ESPESOR TOTAL | PERIÓDICO |
| MICROFRESADO DE LOSAS EN LA CALZADA | PERIÓDICO |
| REEMPLAZO DE LOSAS EN CALZADA | PERIÓDICO |
| REEMPLAZO DE LOSAS POR PAVIMENTO FLEXIBLE EN CALZADA | PERIÓDICO |

Tabla 8.2 Tipos de Mantenimiento – Pavimento Rígido

Fuente: Manual de Mantenimiento Vial – MTC 2013

8.3 Niveles de Servicio

El nivel de servicio es indicador que califica y cuantifica el estado en el cual se encuentra una vía, se emplea como límite admisible para verificar el estado superficial, funcional, estructural y seguridad. Los indicadores son diferenciados de acuerdo con el tipo de vía analizado, relacionado directamente con los factores técnicos y económicos dentro de un marco de satisfacción por parte del usuario. Debido a la necesidad de cumplir con los parámetros expresados, según el MTC, es necesario cumplir con lo siguiente:

- Requerimiento para el Pavimento Flexible, de acuerdo con el Manual de Conservación Vial, emitido por el MTC

| | | Nivel de Servicio (Tratamiento Superficial) | | | | | |
|---|---|---|------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| | | Tipo de Vía | | | | | |
| | | Autopista 1era Clase | Autopista 2da Clase | Carretera 1era Clase | Segunda Clase | Tercera Clase | Bajo Volumen de Tránsito Pavimentado |
| Parámetro | Medida | IMD > 6000(*) | 6000<IMD< 4001(*) | 4000<IMD<2001(*) | 2001<IMD<401(*) | 400<IMD< 201(*) | IMD≤200 |
| Piel de cocodrilo | Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo | - | - | - | - | - | 0% |
| Fisuras Longitudinales | Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3mm. de grosor | - | - | - | - | - | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. de grosor. | - | - | - | - | - | 5% |
| Deformación por deficiencia estructural | Porcentaje máximo de áreas de hundimiento mayores a 25 mm. | - | - | - | - | - | 0% |
| Ahuellamiento | Porcentaje máximo de áreas de hundimiento mayor a 12 mm. | - | - | - | - | - | 5% |
| Reparaciones o parchados | Porcentaje máximo de parches en mal estado | - | - | - | - | - | 0% |
| Peladura y desprendimiento | Porcentaje máximo de áreas con peladuras | - | - | - | - | - | 5% |
| | Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento | - | - | - | - | - | 0% |
| Baches (Huecos) | Porcentaje máximo de áreas con baches (huecos) | - | - | - | - | - | 0% |
| Fisuras transversales | Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3mm. de grosor | - | - | - | - | - | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. de grosor. | - | - | - | - | - | 5% |
| Exudación | Porcentaje máximo de áreas con exudación | - | - | - | - | - | 5% |
| Desprendimiento de bordes | Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes | - | - | - | - | - | 5% |
| Rugosidad Obra Nueva | Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo) | - | - | - | - | - | 3.0*IRIc(1) |
| Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica | Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica) | - | - | - | - | - | 3.5*IRIc(1) |
| Rugosidad Periodo de Servicio | Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio) | - | - | - | - | - | 4.3*IRIc(1) |
| Fricción Superficial | Coefficiente de fricción medido en el pavimento mojado | - | - | - | - | - | No menor de 0.5 |

Tabla 8.3 Cuantificación de los Niveles de Servicio para Tratamiento Superficial – Pavimento Flexible

Fuente: Manual de Mantenimiento Vial – MTC 2013

| | | Nivel de Servicio (Concreto Asfáltico) | | | | | |
|---|---|--|------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| | | Tipo de Vía | | | | | |
| | | Autopista 1era Clase | Autopista 2da Clase | Carretera 1era Clase | Segunda Clase | Tercera Clase | Bajo Volumen de Tránsito Pavimentado |
| Parámetro | Medida | IMD > 6000 | 6000<IMD< 4001 | 4000<IMD<2001 | 2001<IMD<401 | 400<IMD< 201 | IMD≤200 |
| Piel de cocodrilo | Porcentaje máximo de área con piel de cocodrilo | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Fisuras Longitudinales | Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3mm. de grosor | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. de grosor. | 3% | 3% | 3% | 5% | 5% | 5% |
| Deformación por deficiencia estructural | Porcentaje máximo de áreas de hundimiento mayores a 25 mm. | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Ahuellamiento | Porcentaje máximo de áreas de hundimiento mayor a 12 mm. | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% |
| Reparaciones o parchados | Porcentaje máximo de parches en mal estado | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Peladura y desprendimiento | Porcentaje máximo de áreas con peladuras | 0% | 0% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| | Porcentaje máximo de áreas con desprendimiento | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Baches (Huecos) | Porcentaje máximo de áreas con baches (huecos) | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Fisuras transversales | Porcentaje máximo de área con fisuras mayores a 3mm. de grosor | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. de grosor. | 2% | 2% | 2% | 5% | 5% | 5% |
| Exudación | Porcentaje máximo de áreas con exudación | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 5% |
| Desprendimiento de bordes | Porcentaje máximo de longitud con desprendimiento de bordes | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% |
| Rugosidad Obra Nueva | Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo) | 2.0 IRlc (1) | 2.0 IRlc (1) | 2.2 IRlc (2) | 2.4 IRlc (3) | 2.6 IRlc (4) | 2.8 IRlc (5) |
| Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica | Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica) | 2.5 IRlc (1) | 2.5 IRlc (1) | 2.7 IRlc (2) | 2.9 IRlc (3) | 3.1 IRlc (4) | 3.3 IRlc (5) |
| Rugosidad Periodo de Servicio | Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio) | 3.3 IRlc (1) | 3.3 IRlc (1) | 3.5 IRlc (2) | 3.7 IRlc (3) | 3.9 IRlc (4) | 4.1 IRlc (5) |
| Fricción Superficial | Coefficiente de fricción medido en el pavimento mojado | No menor de 0.55 | No menor de 0.55 | No menor de 0.55 | No menor de 0.50 | No menor de 0.50 | No menor de 0.50 |

Tabla 8.4 Cuantificación de los Niveles de Servicio para Concreto Asfáltico – Pavimento Flexible

Fuente: Manual de Mantenimiento Vial – MTC 2013

- Requerimiento para el Pavimento Rígido, de acuerdo con el Manual de Conservación Vial, emitido por el M

| | | Nivel de Servicio (Calzada) | | | | | |
|---|--|-----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------------------|--|
| | | Tipo de Vía | | | | | |
| Parámetro | Medida | Autopista 1era Clase | Autopista 2da Clase | Carretera 1era Clase | Segunda Clase | Tercera Clase | Bajo Volumen de Tránsito Pavimentado |
| | | IMD > 6000 | 6000<IMD< 4001 | 4000<IMD<2001 | 2001<IMD<401 | 400<IMD< 201 | IMD≤200 |
| Desnivel entre losas | Porcentaje máximo de longitud con desnivel≥10mm. | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% | 5% |
| Fisuras Longitudinales | Porcentaje máximo de áreas con fisuras mayores a 3mm. de grosor | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. | 3% | 3% | 3% | 5% | 5% | 5% |
| Fisuras Transversales | Porcentaje máximo de áreas con fisuras mayores a 3mm. de grosor | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. | 2% | 2% | 5% | 5% | 5% | 5% |
| Fisuras de Esquina | Porcentaje máximo de áreas con fisuras en esquina | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 5% |
| Fisuras Oblicuas | Porcentaje máximo de áreas con fisuras mayores a 3mm. de grosor | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | Porcentaje máximo de áreas con fisuras entre 1 y 3 mm. | 0% | 0% | 0% | 5% | 5% | 5% |
| Reparaciones o parchados | Porcentaje máximo de parches en mal estado | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Despostillamiento de juntas | Porcentaje máximo de áreas de despostillamiento de juntas | 0% | 0% | 0% | 5% | 5% | 5% |
| Desprendimiento | Porcentaje máximo de área con desprendimiento | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Baches o Huecos | Porcentaje máximo de área con baches o huecos | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Tratamiento Superficial o Carpeta Asfáltica | Porcentaje máximo de área con desprendimiento de tratamiento superficial o de la carpeta asfáltica | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Rugosidad Obra Nueva | Rugosidad característica del tramo (TSB nuevo) | 2.0 IRlc (1) | 2.0 IRlc (1) | 2.2 IRlc (2) | 2.4 IRlc (3) | 2.6 IRlc (4) | 2.8 IRlc (5) |
| Rugosidad Obra con Recapa Asfáltica | Rugosidad característica del tramo (TSB con Recapa Asfáltica) | 2.5 IRlc (1) | 2.5 IRlc (1) | 2.7 IRlc (2) | 2.9 IRlc (3) | 3.1 IRlc (4) | 3.3 IRlc (5) |
| Rugosidad Periodo de Servicio | Rugosidad característica del tramo (TSB Periodo de Servicio) | 3.3 IRlc (1) | 3.3 IRlc (1) | 3.5 IRlc (2) | 3.7 IRlc (3) | 3.9 IRlc (4) | 4.1 IRlc (5) |
| Fricción Superficial | Coefficiente de fricción medido en el pavimento mojado | No menor de 0.55 | No menor de 0.55 | No menor de 0.55 | No menor de 0.50 | No menor de 0.50 | No menor de 0.50 |

Tabla 8.5 Cuantificación de los Niveles de Servicio para Calzada – Pavimento Rígido

Fuente: Manual de Mantenimiento Vial – MTC 2013

CAPÍTULO 9: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS

A lo largo del desarrollo del capítulo 7, se desarrolló las alternativas de diseño para las metodologías planteadas según el tipo de pavimento, adicionalmente, según lo explicado en el capítulo 8, el mantenimiento es necesario ser considerado para poder garantizar el servicio de diseño durante el periodo de vida de la carretera. A partir de esto, se procederá a realizar un comparativo de las alternativas, según los resultados obtenidos, con la finalidad de obtener la alternativa más económica.

9.1 Análisis de los precios unitarios

Se presentarán las partidas que serán empleadas en el desarrollo del presupuesto para cada una de las alternativas, según el tipo de estructura.

- Pavimento Flexible

| PERFILADO Y COMPATACIÓN DE SUBRASANTE | | | | | | | |
|--|----------------|-----|--------------|----------|--------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | m2k/día | MO. | 3,220 | EQ | 3,220 | Costo unitario m3 | 1.52 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$l. | Parcial \$l. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0025 | 24.12 | 0.06 | |
| PEON | | hh | 4.0000 | 0.0099 | 14.83 | 0.15 | |
| | | | | | | 0.21 | |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | %MO | | 3.0000 | 0.21 | 0.01 | |
| RODILLO PATA DE CABRA VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135 HP 10-12 ton | | hm | 1.0000 | 0.0025 | 140.00 | 0.35 | |
| MOTONIVELADORA DE 130-135 HP | | hm | 1.0000 | 0.0025 | 176.98 | 0.44 | |
| | | | | | | 0.80 | |
| Subcontratos | | | | | | | |
| AGUA PARA LA CONSTRUCCIÓN (INC. RIEGO) | | m3 | | 0.0300 | 17.22 | 0.52 | |
| | | | | | | 0.52 | |

Tabla 9.1 Análisis de precios unitarios para Perfilado y Conformación de Subrasante – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| SUB-BASE GRANULAR | | | | | | | |
|--|---------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3/día | MO. | 485 | EQ | 485 | Costo unitario m3 | 30.80 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0165 | 24.12 | 0.40 | |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0165 | 16.50 | 0.27 | |
| PEÓN | | hh | 4.0000 | 0.0660 | 14.83 | 0.98 | |
| | | | | | | 1.65 | |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ¼MO | | 5.0000 | 1.65 | 0.08 | |
| MOTONIVELADORA DE 145-150 HP | | hm | 1.0000 | 0.0165 | 212.27 | 3.50 | |
| RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10-12 TON | | hm | 1.0000 | 0.0165 | 157.09 | 2.59 | |
| | | | | | | 6.17 | |
| Subpartidas | | | | | | | |
| MATERIAL DE BASE | | m3 | 1.0000 | 1.2000 | 17.37 | 20.81 | |
| AGUA PARA LA OBRA | | m3 | 1.0000 | 0.1200 | 18.02 | 2.16 | |
| | | | | | | 22.97 | |

Tabla 9.2 Análisis de precios unitarios para Sub-base Granular – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| BASE GRANULAR | | | | | | | |
|--|---------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3/día | MO. | 455 | EQ | 455 | Costo unitario m3 | 48.36 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0176 | 24.12 | 0.42 | |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0176 | 16.50 | 0.29 | |
| PEÓN | | hh | 4.0000 | 0.0703 | 14.83 | 1.04 | |
| | | | | | | 1.76 | |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ¼MO | | 5.0000 | 1.76 | 0.09 | |
| MOTONIVELADORA DE 145-150 HP | | hm | 1.0000 | 0.0176 | 212.27 | 3.73 | |
| RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10-12 TON | | hm | 1.0000 | 0.0176 | 157.09 | 2.76 | |
| | | | | | | 6.58 | |
| Subpartidas | | | | | | | |
| MATERIAL DE BASE | | m3 | 1.0000 | 1.2000 | 31.55 | 37.86 | |
| AGUA PARA LA OBRA | | m3 | 1.0000 | 0.1200 | 18.02 | 2.16 | |
| | | | | | | 40.02 | |

Tabla 9.3 Análisis de precios unitarios para Base Granular – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO EN CALIENTE | | | | | | | |
|--|---------------|-----|------------|-----------|------------|-------------------|---------------|
| Rendimiento | m3/día | MO. | 250 | EQ | 250 | Costo unitario m3 | 617.77 |
| Descripción de Recurso | | UM. | | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Subpartidas | | | | | | | |
| PREPARACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE | | m3 | | | 1.2000 | 503.01 | 603.61 |
| EXTENDIDO Y COMPACTADO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE | | m3 | | | 1.0000 | 14.16 | 14.16 |
| | | | | | | | 617.77 |

Tabla 9.4 Análisis de precios unitarios para Pavimento de Concreto Asfáltico – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA | | | | | | | |
|------------------------------------|---------------|-----|--------------|-----------|--------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m2/día | MO. | 4,400 | EQ | 4,400 | Costo unitario m3 | 2.36 |
| Descripción de Recurso | | UM. | | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | | 1.0000 | 0.0018 | 24.12 | 0.42 |
| PEÓN | | hh | | 6.0000 | 0.0109 | 14.83 | 0.16 |
| | | | | | | | 0.21 |
| Materiales | | | | | | | |
| ASFALTO DILUIDO TIPO MC-30 | | gln | | | 0.3000 | 4.45 | 1.34 |
| | | | | | | | 1.34 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS | | %MO | | | 5.0000 | 0.21 | 0.01 |
| BARREDORA MECÁNICA | | hm | hm | 1.0000 | 0.0018 | 49.20 | 0.09 |
| COMPRESORA NEUMÁTICA, 87HP, 250- | | hm | hm | 1.0000 | 0.0018 | 77.42 | 0.14 |
| CAMIÓN IMPRIMADOR 210 HP, 2000 GLN | | hm | hm | 1.0000 | 0.0018 | 122.24 | 0.22 |
| TRACTOR DE TIRO MF 290/4, 80 HP | | hm | hm | 1.0000 | 0.0018 | 75.13 | 0.14 |
| | | | | | | | 0.60 |
| Subpartidas | | | | | | | |
| ARENA ZARANDEADA | | m3 | | | 0.0080 | 26.18 | 0.21 |
| | | | | | | | 0.21 |

Tabla 9.5 Análisis de precios unitarios para Imprimación Asfáltica – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| RIEGO DE LIGA | | | | | | | |
|------------------------------|---------------|-----|-----------------|----------|-----------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | m2/día | MO. | 4500.000 | EQ | 4500.000 | Costo unitario m3 | 0.62 |
| Mano de Obra | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0018 | 24.12 | 0.04 | |
| OPERARIO | | hh | 1.0000 | 0.0018 | 20.10 | 0.04 | |
| PEON | | hh | 5.0000 | 0.0089 | 14.83 | 0.13 | 0.21 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 3.0000 | 0.12 | | |
| BARREDORA MECÁNICA | | hm | 1.0000 | 0.0018 | 45.57 | 0.08 | |
| TRACTOR DE TIRO DE 80 HP | | hm | 1.0000 | 0.0018 | 67.41 | 0.12 | |
| CAMION IMPRIMADOR DE 1800 gl | | hm | 1.0000 | 0.0018 | 112.64 | 0.20 | 0.41 |

Tabla 9.6 Análisis de precios unitarios para Riego de Liga – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA (D<=1KM) | | | | | | | |
|--|----------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 375 | EQ | 375 | Costo unitario m3 | 7.64 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| OFICIAL | | hh | 0.4800 | 0.0102 | 16.50 | 0.21 | 0.21 |
| Equipos | | | | | | | |
| CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP | | hm | 0.4800 | 0.0102 | 235.40 | 2.40 | |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | hm | 1.0000 | 0.0213 | 251.45 | 5.03 | 7.43 |

Tabla 9.7 Análisis de precios unitarios para Transporte de material a obra <=1km. – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA (D>1KM) | | | | | | | |
|---|----------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 315 | EQ | 315 | Costo unitario m3 | 1.63 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Equipos | | | | | | | |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | hm | 1 | 0.0065 | 251.45 | 1.63 | 1.63 |

Tabla 9.8 Análisis de precios unitarios para Transporte de material a obra >1km. – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA A OBRA(D<=1KM) | | | | | | | |
|---|----------------|-----|------------|-----------|------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 375 | EQ | 375 | Costo unitario m3 | 12.72 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| OFICIAL | | | hh | 0.4800 | 0.0385 | 16.50 | 0.64 |
| | | | | | | | 0.64 |
| Equipos | | | | | | | |
| CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP | | | hm | 0.4800 | 0.0102 | 235.40 | 2.40 |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | | hm | 1.0000 | 0.0385 | 251.45 | 9.68 |
| | | | | | | | 12.08 |

Tabla 9.9 Análisis de precios unitarios para Transporte de mezcla asfáltica <=1km. – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA A OBRA (D>1KM) | | | | | | | |
|---|----------------|-----|--------------|-----------|--------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 1,240 | EQ | 1,240 | Costo unitario m3 | 1.79 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Equipos | | | | | | | |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | | hm | 1 | 0.0071 | 251.45 | 1.79 |
| | | | | | | | 1.79 |

Tabla 9.10 Análisis de precios unitarios para Transporte de mezcla asfáltica >1km. – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

| TRATAMIENTO DE FISURAS | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|-----|------------|-----------|------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m2/día | MO. | 200 | EQ | 200 | Costo unitario m3 | 2.37 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | | hh | 0.1000 | 0.0040 | 11.27 | 0.05 |
| OPERARIO | | | hh | 1.0000 | 0.0400 | 9.07 | 0.36 |
| PEÓN | | | hh | 1.0000 | 0.0400 | 8.16 | 0.33 |
| | | | | | | | 0.74 |
| Materiales | | | | | | | |
| ARENA FINA | | | m3 | | 0.0015 | 21.00 | 0.03 |
| EMULSIÓN ASFÁLTICA CSE(INCLUYE | | | gln | | 0.0700 | 15.00 | 1.05 |
| | | | | | | | 1.08 |
| Equipos | | | | | | | |
| CAMIONETA SIMPLE TRACCIÓN | | | hm | | 0.0025 | 20 | 0.05 |
| COMPRESORA NEUMÁTICA 76 HP 125 | | | hm | 0.2500 | 0.0100 | 50 | 0.50 |
| | | | | | | | 0.55 |

Tabla 9.11 Análisis de precios unitarios para Tratamiento de Fisuras – Pavimento Flexible

Fuente: Elaboración propia

- Pavimento Rígido

| PERFILADO Y COMPACTACIÓN DE SUBRASANTE | | | | | | | |
|--|---------------------------|----------------|--------------|----------|--------------|-------------------------------|-------------|
| Rendimiento | m²k/día | MO. | 3,220 | EQ | 3,220 | Costo unitario m ³ | 1.52 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0025 | 24.12 | 0.06 | |
| PEON | | hh | 4.0000 | 0.0099 | 14.83 | 0.15 | |
| | | | | | | | 0.21 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 3.0000 | 0.21 | 0.01 | |
| RODILLO PATA DE CABRA VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-135 HP 10-12 ton | | hm | 1.0000 | 0.0025 | 140.00 | 0.35 | |
| MOTONIVELADORA DE 130-135 HP | | hm | 1.0000 | 0.0025 | 176.98 | 0.44 | |
| | | | | | | | 0.80 |
| Subcontratos | | | | | | | |
| AGUA PARA LA CONSTRUCCIÓN (INC. RIEGO) | | m ³ | | 0.0300 | 17.22 | 0.52 | |
| | | | | | | | 0.52 |

Tabla 9.12 Análisis de Precios Unitarios para Perfilado y Compactación de Subrasante – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| BASE GRANULAR | | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------|------------|----------|-------------|-------------------------------|--------------|
| Rendimiento | m³/día | MO. | 455 | EQ | 455 | Costo unitario m ³ | 48.36 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0176 | 24.12 | 0.42 | |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0176 | 16.50 | 0.29 | |
| PEÓN | | hh | 4.0000 | 0.0703 | 14.83 | 1.04 | |
| | | | | | | | 1.76 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 5.0000 | 1.76 | 0.09 | |
| MOTONIVELADORA DE 145-150 HP | | hm | 1.0000 | 0.0176 | 212.27 | 3.73 | |
| RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10-12 TON | | hm | 1.0000 | 0.0176 | 157.09 | 2.76 | |
| | | | | | | | 6.58 |
| Subpartidas | | | | | | | |
| MATERIAL DE BASE | | m ³ | 1.0000 | 1.2000 | 31.55 | 37.86 | |
| AGUA PARA LA OBRA | | m ³ | 1.0000 | 0.1200 | 18.02 | 2.16 | |
| | | | | | | | 40.02 |

Tabla 9.13 Análisis de Precios Unitarios para Base Granular – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| CONCRETO F'C=350 KG/CM2 PARA PAVIMENTO RÍGIDO | | | | | | | |
|--|---------------|-----|-----------|----------|-------------|-------------------|---------------|
| Rendimiento | m3/día | MO. | 12 | EQ | 12 | Costo unitario m3 | 578.41 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 1.0000 | 0.0667 | 24.12 | 1.61 | |
| OPERARIO | | hh | 4.0000 | 2.8667 | 20.10 | 53.60 | |
| OFICIAL | | hh | 2.0000 | 1.3333 | 16.50 | 22.00 | |
| PEÓN | | hh | 6.0000 | 4.0000 | 14.83 | 59.32 | |
| | | | | | | | 136.53 |
| Materiales | | | | | | | |
| PIEDRA CHANCADA | | m3 | | 0.8500 | 84.75 | 72.04 | |
| ARENA GRUESA | | m3 | | 0.5000 | 46.61 | 23.31 | |
| CEMENTO PORTLAND | | bls | | 15.0000 | 21.20 | 318.00 | |
| CURADOR QUÍMICO | | gln | | 0.1500 | 19.31 | 2.90 | |
| AGUA | | m3 | | 0.1840 | 12.71 | 2.34 | |
| | | | | | | | 418.55 |
| Herramientas | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 3.0000 | 136.53 | 4.1 | |
| MEZCLADORA DE CONCRETO DE 11P3- | | hm | 1.0000 | 0.6667 | 23.31 | 15.54 | |
| VIBRADOR DE CONCRETO 4HP 2.40" | | hm | 1 | 0.6667 | 5.54 | 3.69 | |
| | | | | | | | 23.33 |

Tabla 9.14 Análisis de Precios Unitarios para Concreto f'c=350 kg/cm2 – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| DOWELS φ1 1/4" x 0.46m. @ 0.30m. | | | | | | | |
|---|---------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | kg/día | MO. | 290 | EQ | 290 | Costo unitario m3 | 4.31 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0276 | 16.50 | 0.46 | |
| CAPATAZ | | hh | 0.0100 | 0.0003 | 24.12 | 0.01 | |
| | | | | | | | 0.47 |
| Materiales | | | | | | | |
| FIERRO LISO 1 1/4" | | kg | | 1.0000 | 3.76 | 3.76 | |
| | | | | | | | 3.76 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 5.0000 | 0.46 | 0.02 | |
| CIZALLA | | hm | 1.0000 | 0.0276 | 2.00 | 0.06 | |
| | | | | | | | 0.08 |

Tabla 9.15 Análisis de Precios Unitarios para Dowels – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| BARRAS DE SUJECIÓN ϕ5/8"X1m@1.20m. | | | | | | | |
|---|---------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | kg/día | MO. | 290 | EQ | 290 | Costo unitario m3 | 2.66 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| OFICIAL | | hh | 1.0000 | 0.0276 | 16.50 | 0.46 | |
| CAPATAZ | | hh | 0.0100 | 0.0003 | 24.12 | 0.01 | |
| | | | | | | | 0.47 |
| Materiales | | | | | | | |
| FIERRO LISO 1 1/4" | | kg | | 1.0000 | 2.12 | 2.12 | |
| | | | | | | | 2.12 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 5.0000 | 0.46 | 0.01 | |
| CIZALLA | | hm | 1.0000 | 0.0276 | 2.00 | 0.06 | |
| | | | | | | | 0.07 |

Tabla 9.16 Análisis de Precios Unitarios para Barras de Sujeción – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| CORTE DE JUNTAS | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | m/día | MO. | 200 | EQ | 200 | Costo unitario m3 | 4.09 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | hh | 0.5000 | 0.2000 | 24.12 | 0.48 | |
| OPERARIO | | hh | 1.0000 | 0.0400 | 20.10 | 0.80 | |
| PEÓN | | hh | 1.0000 | 0.0400 | 14.83 | 0.59 | |
| | | | | | | | 1.88 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | ½MO | | 5.0000 | 1.88 | 0.09 | |
| CORTADORA DE PAVIMENTO CON DISCO | | hm | 1.0000 | 0.0400 | 7.75 | 0.31 | |
| | | | | | | | 0.40 |
| Subpartidas | | | | | | | |
| AGUA PARA LA OBRA | | m3 | | 0.1000 | 18.02 | 1.80 | |
| | | | | | | | 1.80 |

Tabla 9.17 Análisis de Precios Unitarios para Corte de Juntas – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA (D<=1KM) | | | | | | | |
|--|----------------|-----|------------|----------|-------------|-------------------|-------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 375 | EQ | 375 | Costo unitario m3 | 7.64 |
| Descripción de Recurso | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. | |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| OFICIAL | | hh | | 0.4800 | 0.0102 | 16.50 | 0.21 |
| | | | | | | | 0.21 |
| Equipos | | | | | | | |
| CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP | | hm | | 0.4800 | 0.0102 | 235.40 | 2.40 |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | hm | | 1.0000 | 0.0213 | 251.45 | 5.03 |
| | | | | | | | 7.43 |

Tabla 9.18 Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Material <=1km. – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA (D>1KM) | | | | | | | |
|---------------------------------------|----------------|-----|------------|-----------|------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 315 | EQ | 315 | Costo unitario m3 | 1.63 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Equipos | | | | | | | |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | | hm | 1 | 0.0065 | 251.45 | 1.63 |
| | | | | | | | 1.63 |

Tabla 9.19 Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Material >1km. – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| SELLADOR DE JUNTAS | | | | | | | |
|------------------------------------|--------------|-----|------------|-----------|------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m/día | MO. | 750 | EQ | 750 | Costo unitario m3 | 9.51 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | | hh | 0.1000 | 0.0011 | 24.12 | 0.03 |
| OPERARIO | | | hh | 6.0000 | 0.0640 | 20.10 | 1.29 |
| PEÓN | | | hh | 2.0000 | 0.0213 | 14.83 | 0.32 |
| | | | | | | | 1.64 |
| Materiales | | | | | | | |
| CORDÓN DE RESPALDO (BACKERROD.) | | | m | | 1.0000 | 0.92 | 0.92 |
| IMPRIMANTE PARA SELLANTE DE JUNTAS | | | m | | 1.0000 | 1.03 | 1.03 |
| SELLADOR DE JUNTAS | | | m | | 1.0000 | 5.85 | 5.85 |
| | | | | | | | 7.80 |
| Equipos | | | | | | | |
| HERRAMIENTAS MANUALES | | | ½MO | | 5.0000 | 1.63 | 0.07 |
| | | | | | | | 0.07 |

Tabla 9.20 Análisis de Precios Unitarios para Sellador de Juntas – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA A OBRA(D<=1KM) | | | | | | | |
|---|----------------|-----|------------|-----------|------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 375 | EQ | 375 | Costo unitario m3 | 12.72 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| OFICIAL | | | hh | 0.4800 | 0.0385 | 16.50 | 0.64 |
| | | | | | | | 0.64 |
| Equipos | | | | | | | |
| CARGADOR SOBRE LLANTAS 200-250 HP | | | hm | 0.4800 | 0.0102 | 235.40 | 2.40 |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | | hm | 1.0000 | 0.0385 | 251.45 | 9.68 |
| | | | | | | | 12.08 |

Tabla 9.21 Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Mezcla Asfáltica <=1km. – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA A OBRA (D> 1KM) | | | | | | | |
|--|----------------|-----|--------------|-----------|--------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m3k/día | MO. | 1,240 | EQ | 1,240 | Costo unitario m3 | 1.79 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Equipos | | | | | | | |
| VOLQUETE 6X4, 330 HP, 15M3 | | | hm | 1 | 0.0071 | 251.45 | 1.79 |
| | | | | | | | 1.79 |

Tabla 9.22 Análisis de Precios Unitarios para Transporte de Mezcla Asfáltica>1km. – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

| SELLO ASFÁLTICO C/ EQUIPO | | | | | | | |
|--|---------------|-----|-------------|-----------|-------------|-------------------|--------------|
| Rendimiento | m2/día | MO. | 6150 | EQ | 6150 | Costo unitario m3 | 4.33 |
| Descripción de Recurso | | | UM. | Cuadrilla | Cantidad | Precio \$/. | Parcial \$/. |
| Mano de Obra | | | | | | | |
| CAPATAZ | | | hh | 1.0000 | 0.0013 | 11.27 | 0.01 |
| OPERARIO | | | hh | 1.0000 | 0.0013 | 9.07 | 0.01 |
| PEÓN | | | hh | 6.0000 | 0.0078 | 8.16 | 0.06 |
| | | | | | | | 0.08 |
| Materiales | | | | | | | |
| ARENA GRUESA | | | m3 | | 0.0120 | 21.00 | 0.25 |
| CONFITILLO 3/8" | | | m3 | | 0.0080 | 35.29 | 0.28 |
| ASFALTO RC-250 | | | gln | | 0.4000 | 8.55 | 3.42 |
| | | | | | | | 3.95 |
| Equipos | | | | | | | |
| RODILLO TANDEM ESTÁTIC AUT 58-70 HP 8-10 TON | | | hm | 1.0000 | 0.0013 | 100.00 | 0.13 |
| CAMIÓN IMPRIMADOR 6X2 178-210 HP 1800 G | | | hm | 1.0000 | 0.0013 | 130.00 | 0.17 |
| | | | | | | | 0.30 |

Tabla 9.23 Análisis de Precios Unitarios para Sello Asfáltico – Pavimento Rígido

Fuente: Elaboración propia

9.2 Presupuesto de la construcción y mantenimiento

Para realizar el proceso de la construcción, es necesario considerar las partidas principales requeridas en el proceso, tomando en consideración solamente material requerido proveniente de las canteras y complementos requeridos en el proceso constructivo; así mismo, es necesaria la inclusión del costo requerido para el mantenimiento, debido a que durante su periodo de vida, es necesario garantizar el nivel de servicio para lo cual se encuentra diseñada la estructura.

A partir de esto, se podrá realizar un comparativo de influencia de las partidas .en referencia al costo final, de acuerdo al tipo de pavimento.

| ESTRUCTURA | | |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| ELEMENTO | PAVIMENTO RÍGIDO | PAVIMENTO FLEXIBLE |
| CONFORMACIÓN Y PERFILADO | 0.79% | 1.45% |
| BASE GRANULAR | 5.65% | 8.06% |
| SUB-BASE GRANULAR | -- | 7.87% |
| LOSA DE CONCRETO | 82.32% | -- |
| CARPETA ASFÁLTICA | -- | 58.86% |
| DOWELS | 3.71% | -- |
| BARRAS DE SUJECIÓN | 0.27% | -- |
| IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA | -- | 2.25% |
| RIEGO DE LIGA | -- | 0.59% |
| TRANSPORTE DE MATERIAL | 1.08% | 5.12% |
| MANTENIMIENTO | 3.69% | 15.81% |

Tabla 9.24 Cuadro comparativo de influencia de partidas según el tipo de pavimento

De acuerdo con la Tabla 9.24, se puede apreciar la gran influencia en el pavimento rígido de la losa de concreto, por lo que, al momento de realizar el diseño, se ha tomado en consideración la reducción de dicha capa, ya que es la que brinda mayor aporte al prepuesto para ese tipo de pavimento.

De igual manera, para el pavimento flexible, la influencia de la carpeta asfáltica es considerable; además de ello, se debe considerar los espesores de las capas posteriores, ya que es mucho más balanceado su aporte, a diferencia del pavimento rígido, por lo que se debe encontrar un equilibrio entre las 3 capas para reducir el precio.

Por tal motivo, es necesario considerar la incidencia del mantenimiento real de la estructura, debido a que nos permite analizar de manera más precisa el costo real de la estructura, ya que el gran intemperismo propio de la zona, es la causa principal de la pérdida acelerada del nivel de servicio considerado para el diseño del pavimento.

Así mismo, es necesario mencionar que, para el desarrollo del pavimento, solo se han empleado las partidas de rehabilitación por recomendación del fabricante, debido a que el daño ocasionado por el uso, solo puede ser conocido, luego de que pueda ser construida la autopista, puesta a servicio.

9.3 Elección de la mejor alternativa

Para poder conocer el presupuesto de cada alternativa, es necesario detallar los espesores obtenidos por cada metodología, según el tipo de pavimento a diseñar.

| ALTERNATIVAS - PAVIMENTO FLEXIBLE | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|----|----|--------|----|
| ESTRUCTURA | A1 | A2 | A3 | A5 | A6 |
| Carpeta Asfáltica (cm.) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Base (cm.) | 15 | 20 | 25 | 25 | 30 |
| Sub-base (cm.) | 20 | 20 | 35 | 35 | 30 |
| Metodología | Instituto de Asfalto | | | AASHTO | |

Tabla 9.25 Alternativas de diseño para pavimento flexible

| ALTERNATIVAS - PAVIMENTO RÍGIDO | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|----|----|----|----|----|--------|----|----|-----|
| ESTRUCTURA | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
| Losa de Concreto (cm.) | 26 | 26 | 27 | 27 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 | 28 |
| Base (cm.) | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 30 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Metodología | Portland Cement Association | | | | | | AASHTO | | | |

Tabla 9.26 Alternativas de diseño para pavimento rígido

En base a los espesores calculados, se realizará el presupuesto para cada una de las alternativas teniendo en consideración las partidas de base granular, sub-base granular, imprimación asfáltica y concreto asfáltico en caliente para el pavimento flexible; mientras que, en el caso del pavimento rígido, se tomará en consideración los precios unitarios para los dowels, base y losa de concreto. Para el metrado correspondiente, el ancho de vía es de 6.6 m y un largo de 1000 m.

Además de ello, es necesario considerar la frecuencia establecida para el mantenimiento, de acuerdo con el tipo de pavimento. Por tal motivo, se detallará las partidas a considerar y el periodo de rehabilitación, según el tipo de mantenimiento y estructura.

| TIPO DE MANTENIMIENTO | FRECUENCIA DE REHABILITACIÓN | | PORCENTAJE DE CONSIDERACIÓN | |
|-----------------------|------------------------------|---------|-----------------------------|--------|
| | FLEXIBLE | RÍGIDO | FLEXIBLE | RÍGIDO |
| FRECUENTE | 2 años | 5 años | 100% | 100% |
| PERIÓDICO | 5 años | 10 años | 25% | 15% |

Tabla 9.27 Frecuencia de Mantenimiento y Porcentaje de Consideración por Tipo de Pavimento

De acuerdo con el Manual de Conservación Vial, es necesaria establecer una diferencia entre las frecuencias de rehabilitación y porcentaje de consideración, según el tipo de pavimento, debido a la diferencia de pérdida de niveles de servicio. El pavimento asfáltico requiere de un mantenimiento desde los 2 años, mientras que el pavimento rígido, puede darse inicio a partir de los 10 años; la rigidez presente en el pavimento rígido permite la distribución de la carga sobre una mayor área de la subrasante, lo que conlleva a la disminución de los esfuerzos de compresión a nivel de fundación, por lo que la estructura se encuentra sometida a esfuerzos inferiores a los distribuidos en un pavimento flexible.

PRESUPUESTOS DE LAS ALTERNATIVAS OBTENIDAS

- PAVIMENTO FLEXIBLE

| PARTIDAS | P.U. (S/.) | PAVIMENTO FLEXIBLE | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 |
| CONFORMACIÓN Y PERFILADO | 1.52 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 |
| SUB-BASE | 30.8 | 71,148.00 | 56,918.40 | 50,820.00 | 36,590.40 | 60,984.00 |
| BASE | 48.36 | 47,876.40 | 63,835.20 | 47,876.40 | 63,835.20 | 47,876.40 |
| MEZCLA ASFÁLTICA | 617.77 | 407,728.20 | 407,728.20 | 407,728.20 | 407,728.20 | 407,728.20 |
| IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA | 2.36 | 15,576.00 | 15,576.00 | 15,576.00 | 15,576.00 | 15,576.00 |
| RIEGO DE LIGA | 0.62 | 4,092.00 | 4,092.00 | 4,092.00 | 4,092.00 | 4,092.00 |
| TRANSPORTE DE MATERIAL<=1km | 7.64 | 25,212.00 | 24,203.52 | 20,169.60 | 19,161.12 | 22,690.80 |
| TRANSPORTE DE MATERIAL>1km | 1.63 | 5,379.00 | 5,163.84 | 4,303.20 | 4,088.04 | 4,841.10 |
| TRANSPORTE DE MAC<=1km | 12.72 | 7,135.92 | 7,135.92 | 7,135.92 | 7,135.92 | 7,135.92 |
| TRANSPORTE DE MAC>1km | 1.79 | 1,181.40 | 1,181.40 | 1,181.40 | 1,181.40 | 1,181.40 |
| TRATAMIENTO DE FISURAS | 2.37 | 109,494.00 | 109,494.00 | 109,494.00 | 109,494.00 | 109,494.00 |
| SUBTOTAL | | 1,707,570.15 | 1,708,607.67 | 1,777,987.20 | 1,779,024.72 | 1,789,880.40 |

Tabla 9.28 Presupuesto de alternativas – Pavimento Flexible

- PAVIMENTO RÍGIDO

| PARTIDAS | P.U. (S/.) | PAVIMENTO RÍGIDO | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 |
| CONFORMACIÓN Y PERFILADO | 1.52 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 | 10,032.00 |
| CONCRETO F'C=350 KG/CM2 | 578.41 | 992,551.56 | 992,551.56 | 1,030,726.62 | 1,030,726.62 | 1,068,901.68 | 1,068,901.68 | 1,068,901.68 | 1,068,901.68 | 1,068,901.68 | 1,068,901.68 |
| BASE | 48.36 | 47,876.40 | 95,752.80 | 47,876.40 | 95,752.80 | 47,876.40 | 95,752.80 | 47,876.40 | 63,835.20 | 79,794.00 | 95,752.80 |
| DOWELS | 4.31 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 | 47,168.21 |
| BARRAS DE SUJECCIÓN | 2.66 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 | 3,444.70 |
| CORTE DE JUNTAS | 4.09 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 | 9,488.80 |
| SELLADOR DE JUNTAS | 9.51 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 | 22,063.20 |
| TRANSPORTE DE MATERIAL<=1km | 7.64 | 7,563.60 | 15,127.20 | 7,563.60 | 15,127.20 | 7,563.60 | 15,127.20 | 7,563.60 | 10,084.80 | 12,606.00 | 15,127.20 |
| TRANSPORTE DE MATERIAL>1km | 1.63 | 1,613.70 | 3,227.40 | 1,613.70 | 3,227.40 | 1,613.70 | 3,227.40 | 1,613.70 | 2,151.60 | 2,689.50 | 3,227.40 |
| SELLO ASFÁLTICO | 2.37 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 | 46,926.00 |
| SUBTOTAL | | 1,705,052.00 | 1,758,116.00 | 1,754,710.39 | 1,807,774.39 | 1,804,368.79 | 1,857,432.79 | 1,804,368.79 | 1,822,056.79 | 1,839,744.79 | 1,857,432.79 |

Tabla 9.29 Presupuesto de alternativas – Pavimento Rígido

PRESUPUESTO – TIPO DE PAVIMENTO

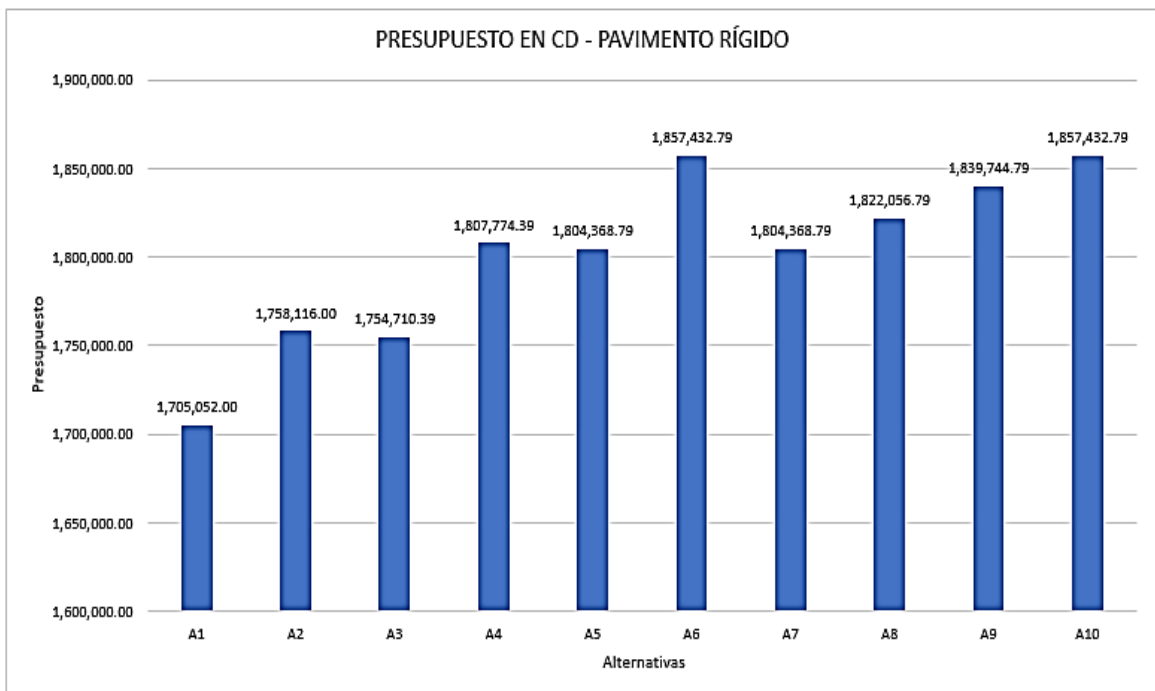
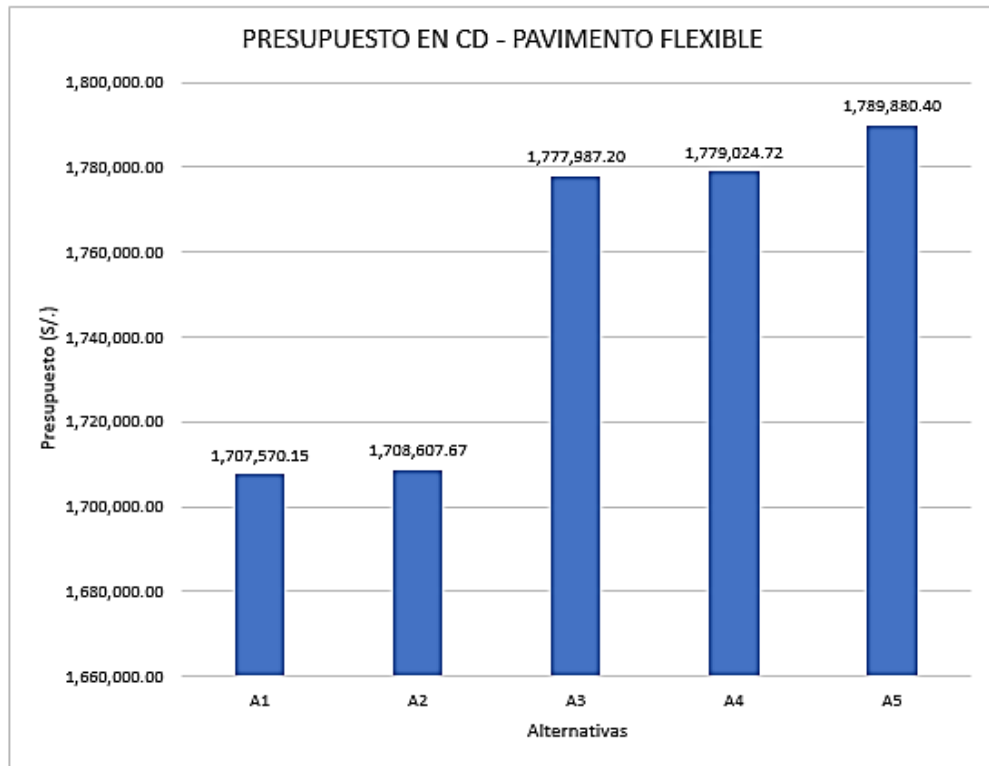
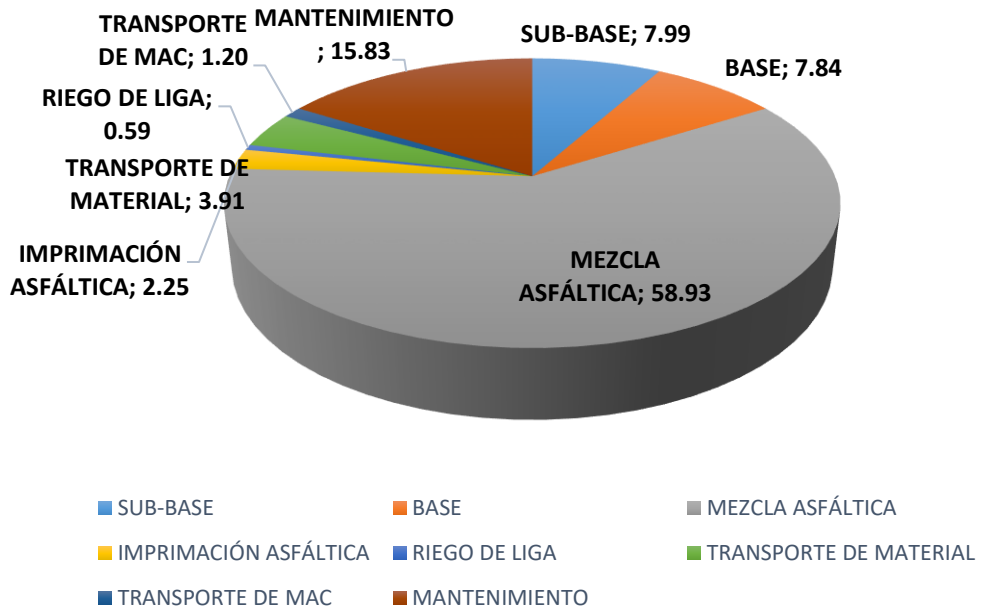


Tabla 9.30 Comparativo de presupuestos por alternativa según tipo de Pavimento

PORCENTAJE DE INCIDENCIA DE LAS PARTIDAS – TIPO DE PAVIMENTO

Porcentaje de Incidencia - Pavimento Flexible



Porcentaje de Incidencia - Pavimento Rígido

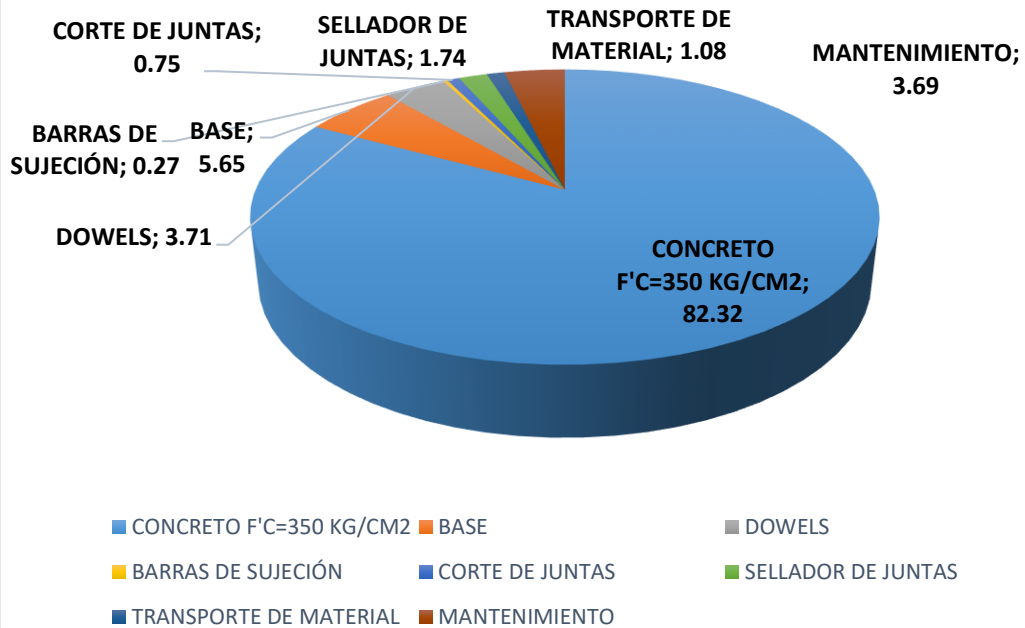


Tabla 9.31 Comparativo de porcentajes de incidencia según tipo de Pavimento

CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones a las que se puede llegar y brindar mediante el desarrollo de la presente tesis son las siguientes:

- De acuerdo al estudio de tráfico, se puede apreciar el alto flujo de vehículos livianos a lo largo de la carretera. Por tal motivo, se puede apreciar un valor de ESAL de gran importancia para el desarrollo de los diseños.
- En base a la información referente al estudio de mecánica de suelos, brindada por el asesor, se puede apreciar la presencia de arcilla en la subrasante, con un CBR de 7%; por tal motivo, es necesario utilizar un rodillo pata de cabra al momento durante el proceso de conformación, por tratarse de un suelo cohesivo.
- Acorde al estudio pluviométrico, se determinó que la temperatura media de la zona del proyecto es de 5°C, con un clima semiseco y frío.
- Concordante al estudio de canteras, se puede concluir que no es necesario realizar un refuerzo para el material de sub-base y base, ya que se cumple con el CBR_{mín} establecido por la norma.
- A partir de los diseños obtenidos, a través de la metodología de la PCA, se puede observar que no existe variación de resultados a diferentes espesores de losa para el nivel de servicio, por lo que la alternativa viable bajo dichas condiciones es la más económica, debido que todas cumplen con el requisito de serviciabilidad.
- La opción determinada para el pavimento rígida es la Alternativa 1, obtenida por la metodología de la PCA.
- La propuesta seleccionada para el pavimento flexible es la Alternativa 1, obtenida por la metodología del IA
- La diferencia de resultados entre las diferentes metodologías de diseño radica en el enfoque aplicado. Para el caso del pavimento rígido, la AASHTO emplea los conceptos de confiabilidad, desviación estándar combinada y pérdida de serviciabilidad, mientras que la PCA se enfoca en el análisis de fatiga y erosión, lo que evalúa el porcentaje de daño en el pavimento durante su periodo de servicio.

Por tal motivo, en ambos casos se está logrando cumplir con lo solicitado, a través del nivel de servicio requerido y además, se considera la pérdida del mismo, durante su periodo de vida, por lo que los resultados de ambas metodologías pueden ser empleados para el diseño final de la estructura, optando por la alternativa viable, la más económica.

- En el pavimento rígido, se puede apreciar la notable influencia del espesor de la losa de concreto al momento de realizar el cálculo del presupuesto, por lo que una alternativa para reducir el costo de la propuesta es disminuir el espesor de la misma.
- Se puede observar una gran diferencia entre presupuestos, lo cual se debe a la gran influencia del espesor de la losa en el presupuesto de construcción y mantenimiento, mencionado anteriormente.
- En el pavimento flexible, existe gran incidencia de la carpeta asfáltica, al momento de realizar el presupuesto; por ello, es necesario optimizar el empleo de dicha capa, logrando de esta manera poder cumplir con el nivel de servicio requerido a través del número estructural, planteando diferentes alternativas que puedan equiparar el desempeño de la carpeta, a través del uso de geosintéticos, lo que pueda mejorar las condiciones iniciales de diseño, para que de esta manera, disminuyan los espesores empleados.
- El análisis económico ha sido realizado en la fase de proceso constructivo y su periodo de rehabilitación, tomando en consideración el precio de los diversos tipos de materiales empleados para la construcción del pavimento, además, se tomó en consideración, la distancia unificada de las canteras y la planta de mezcla asfáltica, con la finalidad de poder notar de manera equitativa, la incidencia de cada uno de los indicadores.
- Se optó por la alternativa 1, calculada en el diseño de pavimento rígido, ya que cuenta con el presupuesto más bajo y cumple con las características de servicio requeridos durante el tiempo de vida del proyecto; además, al tratarse de una estructura de concreto armado, su resistencia al intemperismo de la zona permite obtener una mayor durabilidad.

- Es de precisar que las metodologías empleadas en la presente tesis no son las únicas existentes para el fin correspondiente, ya que se pueden emplear metodologías empíricas modelando el tipo de pavimento a través de diversas teorías de comportamiento del pavimento.
- El análisis de mantenimiento es necesario para poder decidir por la alternativa de diseño y ejecución de una carretera, ya que es necesario mantener un nivel de servicio constante durante el periodo de un pavimento, debido a que la finalidad de la construcción es brindar un medio de conexión seguro, eficiente y acorde a la demanda solicitada según el estudio de tráfico; así mismo, es necesario acortar que durante el análisis de mantenimiento realizado para las diversas metodologías, se consideró las actividades recomendadas por el proveedor de los productos durante el periodo de vida establecido; sin embargo, para obtener el costo final de la estructura, debe considerarse las reparaciones requeridas debido a la puesta de servicio de la estructura.
- Para definir la viabilidad de un proyecto de carreteras, es necesario considerar diversos factores, entre ellos: construcción de carretera, mantenimiento y periodo de retorno de inversión, a través del desarrollo económico de las poblaciones afectadas directa e indirectamente por la construcción de la misma.
- Durante el desarrollo de la presente tesis, se ha podido observar la influencia de las diversas variables al momento de emplear diferentes metodologías de diseño; por tal motivo, es necesario realizar un mapeo de sensibilidad en cada metodología, con la finalidad de poder ajustar las alternativas de mayor incidencia en el resultado final.

CAPÍTULO 11: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HUANG, Y.

2004 *Pavement analysis and design*. Traducción propia. Segunda edición Estados Unidos: Pearson Prentice Hall.

MONTEJO, A.

2006 *Ingeniería de pavimentos: Fundamentos, estudios básicos y diseño*. Tercera edición. Colombia: Universidad Católica de Colombia.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES

2016 Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Manual de Ensayo de Materiales EM-2016*. (En línea). Consulta 13 de junio del 2016
<https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf>

HIGUERA, C.

2010 *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos de carreteras. Volumen 1*. Tunja: Uptc.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO

2008 *Mechanistic Empirical Pavement Design Guide*. Estados Unidos: American Association Of State Highway And Transportation Officials.

FERNANDEZ, H.

1985 *Conferencias de pavimentos*. Popayán: Universidad del Cauca.

RONDÓN, H., REYES F.

2015 *Pavimentos: materiales, construcción y diseño*. Miraflores: Macro.

SALAZAR, A.

1998 *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. México D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

ASPHALT INSTITUTE.

1981 *Thickness Design: Asphalt Pavements For Highways and Streets*, Manual Series No. I (MS-1). Estados Unidos: College Park, MD.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND
TRANSPORTATION OFFICIALS – AASHTO

1993 *Guide for design of pavement structures*. Estados Unidos:
American Association Of State Highway And Transportation
Officials.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI

2005 *High-strength concrete (ACI-363R)*. Estados Unidos:
American Concrete Institute ACI.

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES

2003 Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Reglamento
Nacional de Vehículos* (En línea). Consulta 7 de septiembre
del 2016
<[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/
1_0_70.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_70.pdf)>

PACKARD, R.G.

1984 *Thickness Design for Concrete Highway and Streets
Pavements*. Estados Unidos: Portland Cement Association.

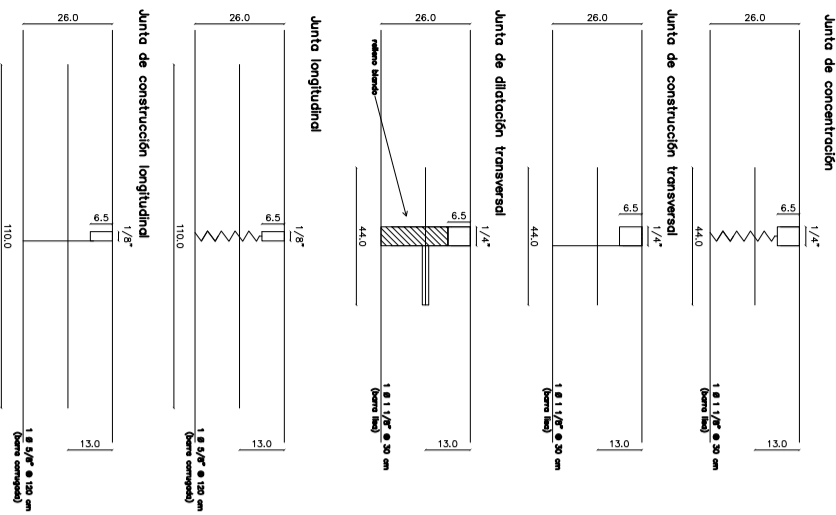
HIGUERA, C.

2010 *Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de
pavimentos de carreteras. Volumen 2*. Tunja: Uptc.

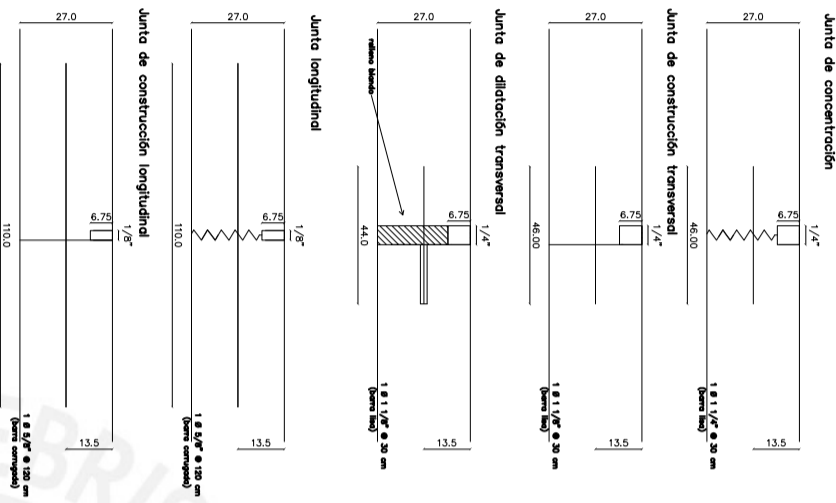
MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES

2013 Ministerio de Transporte y Comunicaciones. *Manual de
Carreteras y Conservación Vial. Volumen 3*. (En línea).
Consulta: 3 de octubre del 2017
<[http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/487
7.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4877.pdf)>

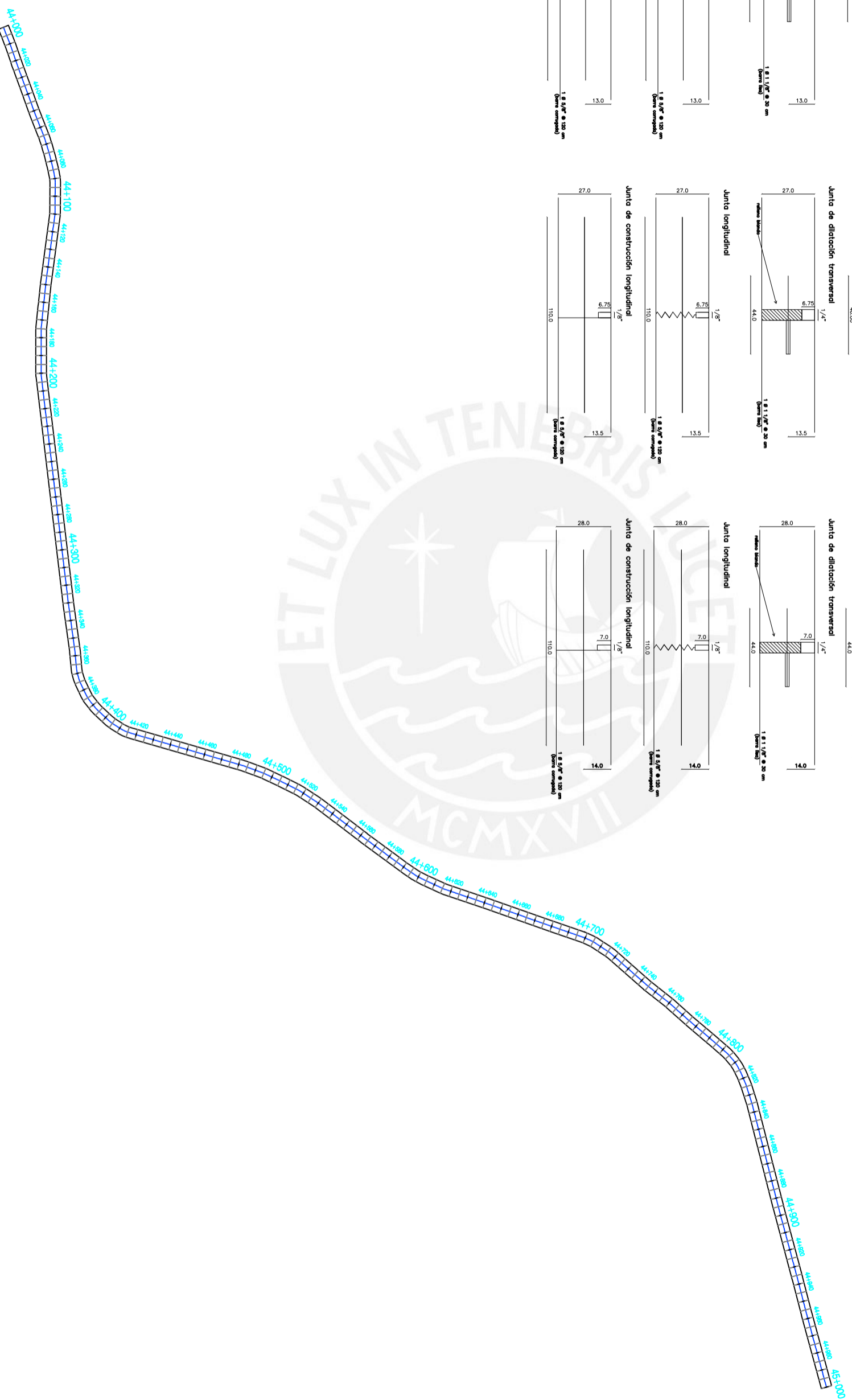
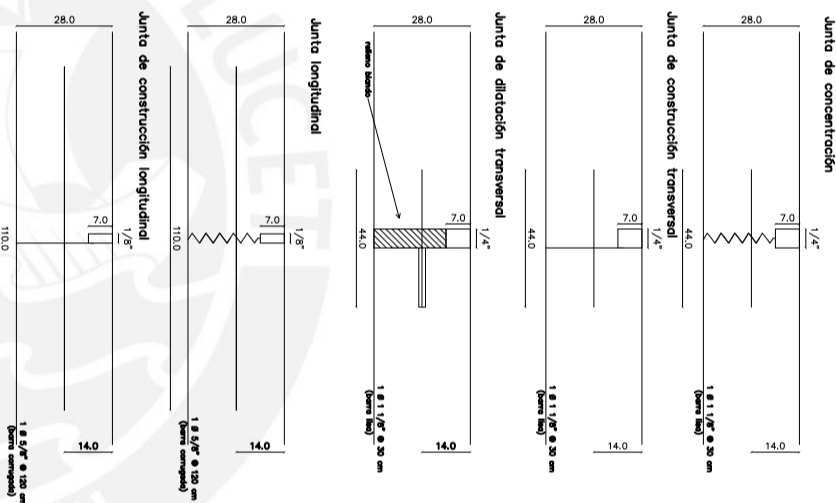
Para losa de 26 cm:



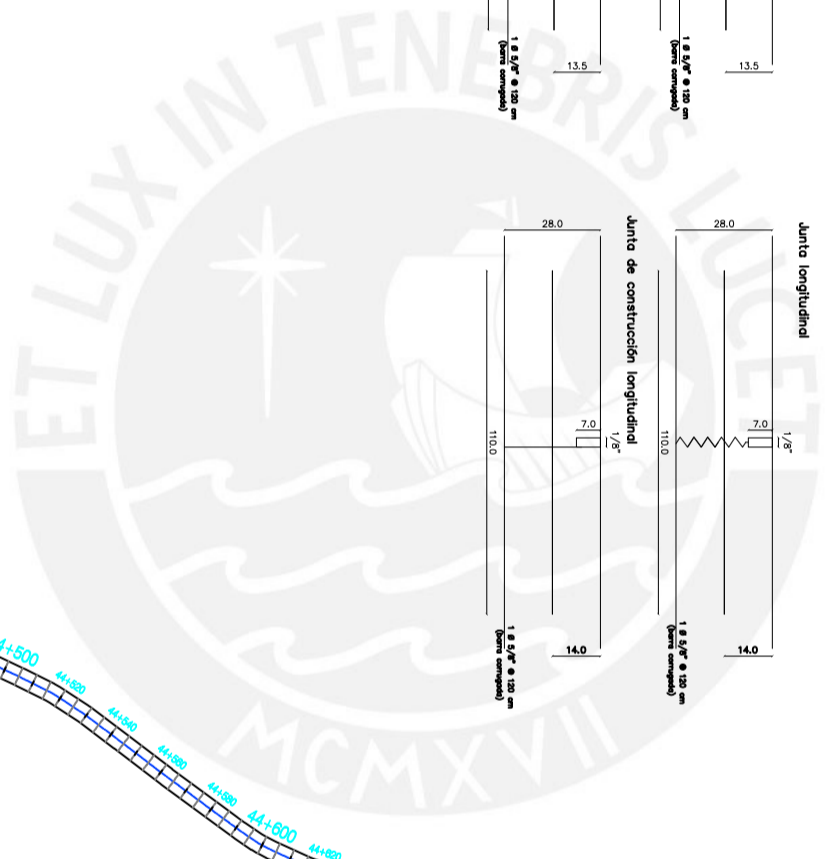
Para losa de 27 cm:



Para losa de 28 cm:



| LEYENDA | |
|---------|----------------------------------|
| | Eje de vía |
| | Junta longitudinal y transversal |
| | Progresivo |



| | |
|-----------|-----|
| DESIG.: | LZR |
| DESEC.: | LZR |
| VERIFIC.: | LZR |
| PRESENT.: | LZR |

| | |
|----------|--|
| APROBÓ : | |
|----------|--|

| REVISIONES | |
|------------|-------|
| N° | FECHA |
| | |
| | |
| | |

PROYECTO: "DISEÑO DE 1 KM. DE PAVIMENTO CARRETERA JULIACA - PUNO Km. 44+000 AL Km. 45+000"

DISEÑO DE JUNTAS
AUTOPISTA JULIACA - PUNO
Km. 44+000 - Km. 45+000

| | |
|---------|---------------|
| ESCALA: | 1/1250 |
| FECHA: | AGOSTO - 2018 |
| CODIGO: | NYP-2018PT-01 |
| REV.: | A |