

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN AL TEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad del periodo de vida útil de una carretera oscilan entre 20 a 25 años. Sin embargo, muchas de ellas están fallando prematuramente presentando fisuras, agrietamientos, huecos, ahuellamiento y otros debido a diferentes factores como ser pobres métodos constructivos, materiales inadecuados además de deficiencias en el diseño. Situación que se ve reflejado en numerosas calles y carreteras del país, donde se encuentra una gran cantidad de fallas a temprana edad.

Para garantizar que la vía ofrezca un nivel de servicialidad adecuado que genere bienestar, confort y seguridad tanto al comercio, al turismo y al transporte urbano, es necesaria una vía que se encuentre en buen estado y que se ajuste a las condiciones tanto de tránsito, nivel de importancia y tipo de terreno.

Lo que se pretende realizar en este trabajo es analizar los programas de mantenimiento para ajustarlos a los métodos de diseño de pavimentos mediante el estudio de tráfico y la calidad de los materiales de la subrasante, de tal manera que se pueda encontrar una relación entre los programas de mantenimiento y los métodos de diseño de pavimentos.

Este estudio podrá ser utilizado por las diferentes entidades públicas o privadas tales como la universidad autónoma Juan Misael Saracho, el servicio departamental de caminos como así también por profesionales entendidos en la materia como una referencia para otras infraestructuras viales.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el diseño y construcción de carreteras, en lo que se refiere a pavimentos es importante dar a conocer la relevancia de un programa de mantenimiento acorde a las necesidades de los pavimentos en el país, con el fin de evitar deterioros grandes que se traduzcan en la reconstrucción, implicando un mayor costo para nuestro país.

Se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se puede prolongar a menor costo y tiempo cuando se implementa el programa de mantenimiento adecuado por tal motivo es indispensable realizar el ajuste de programas de mantenimiento aplicando las metodologías de diseño para pavimentos y así determinar los tiempos oportunos de la intervención de un mantenimiento.

El deterioro de la infraestructura no es el resultado de las malas prácticas de diseño o construcción, sino que, es debido al uso y daños que se presentan durante el transcurso de los años. El deterioro gradual de un pavimento se debe a factores que incluyen: variaciones en el clima, drenaje, condiciones del suelo, tránsito de camiones, etcétera.

En nuestro país y particularmente en el Departamento de Tarija no existe un análisis sobre el ajuste de programas de mantenimiento por lo que es necesario realizar esta investigación que sería de utilidad para entidades como universidades y a otros profesionales entendidos en el tema.

Esta investigación busca conocer el programa de mantenimiento que menor tiempo y costo nos lleve en realizar esta operación en el departamento de Tarija.

Además, el aporte académico será importante ya que se aplicarán los conocimientos adquiridos que se disponen en la actualidad y por ende lograr el grado académico de licenciatura en ingeniería civil.

1.3. DISEÑO TEORICO

1.3.1. Determinación de la línea de investigación

1.3.1.1 Determinación de línea de estudio

La línea de investigación está referida a los programas de mantenimiento, los programas de mantenimiento están relacionados con el tráfico y con la calidad de materiales de la subrasante, cuando se lleva a cabo el programa de mantenimiento nos aseguramos que el pavimento cumpla con su periodo de vida útil.

1.3.1.2. Breve descripción de causales identificados

Los causales más relevantes fueron:

Hay muy poco conocimiento sobre la elaboración de programas de mantenimiento para pavimentos.

Hay poco conocimiento sobre la relación entre el tráfico y la calidad de los materiales con los programas de mantenimiento.

1.3.1.3. Identificación del objeto de estudio

El objeto de estudio del presente trabajo es el siguiente:

Los métodos de diseño de pavimentos.

1.3.1.4. Determinación de la perspectiva de solución

Analizar métodos de diseño de pavimentos utilizados para el ajuste de programas de mantenimiento.

1.4. MARCO TEORICO

1.4.1. Situación problemática

Los métodos de diseño de pavimentos cumplen un papel muy importante en la elaboración de programas de mantenimiento para pavimentos, evitando deterioros a corto, mediano y largo plazo. A las actividades del programa de mantenimiento se les debe realizar un seguimiento para que el pavimento llegue a cumplir su periodo de vida útil.

Cuando se presenta el problema de elegir un método de diseño para un pavimento se debe también tomar en cuenta el tipo de programa de mantenimiento ya que en nuestro país se identificó que el 80% de los pavimentos tienen problemas de baches y huecos profundos ya que carecen de un programa de mantenimiento adecuado, además de encontrarse sin señalización ni medidas de seguridad, lo que pone en riesgo la vida y seguridad no solo de los conductores, sino también de los pasajeros.

Por lo mencionado anteriormente es que surge la necesidad de realizar el análisis de los métodos de diseño de pavimentos para encontrar el programa de mantenimiento que más se adecue a los tramos en estudio.

1.4.2. Problema

¿Cuál será el programa de mantenimiento adecuado, que definan los métodos de diseño de pavimentos y permitan los ajustes correspondientes?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Analizar los métodos de diseño de pavimentos, en base a sus parámetros y resultados, de tal manera que permita ajustar los programas de mantenimiento a cada uno de los pavimentos tanto en flexibles, rígidos y otras aplicaciones en caminos de tierra.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar los parámetros y resultados de los métodos de diseño de pavimentos AASHTO, PCA y CBR.
- Analizar los programas de mantenimiento en pavimentos flexibles, rígidos y en caminos de tierra.
- Determinar los tramos de estudio y su ubicación.
- Ajustar los programas de mantenimiento a cada uno de los tramos en estudio.
- Establecer los parámetros y resultados que se relacionan con el mantenimiento.
- Realizar un programa de mantenimiento para cada tramo en estudio.

1.6. HIPÓTESIS

Si aplicamos los parámetros y resultados de los métodos de diseño de pavimentos, entonces podremos realizar el ajuste de programas de mantenimiento para cada uno de los tramos.

1.7. VARIABLES

Variable dependiente

Programas de mantenimiento

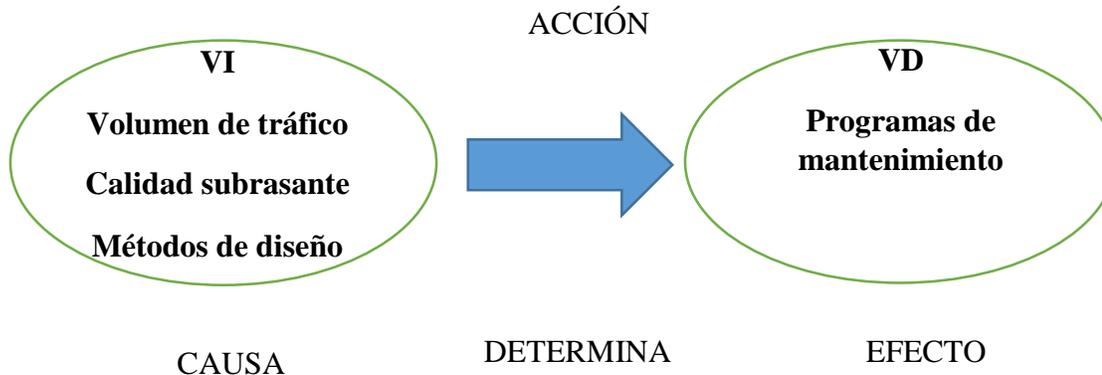
Variable independiente

Métodos de diseño

Volumen de tráfico

calidad de la subrasante

GRÁFICO VARIABLE DEPENDIENTE – VARIABLE INDEPENDIENTE



Conceptualización

Variable dependiente:

Ajuste de programas de mantenimiento: Adecuar un programa de mantenimiento ya establecido de tal manera que se ajuste a las condiciones de nuestro medio en el departamento de Tarija. De forma que ésta pueda cumplir sus funciones.

Variable independiente:

Volumen de tráfico y la calidad de la subrasante: Son factores para el diseño de pavimentos necesarios para relacionar los métodos de diseño y los programas de mantenimiento de pavimentos.

Métodos de diseño: Utilizados para diseñar los espesores del paquete estructural para cada tipo de pavimento tanto en flexible, rígido y de caminos de tierra.

1.8. MÉTODOS

El método a utilizar en el presente trabajo de estudio de aplicación es:

Método Hipotético – Deductivo

A partir de la hipótesis planteada "Si aplicamos los parámetros y resultados de los métodos de diseño de pavimentos, entonces podremos realizar el ajuste de programas de mantenimiento para cada uno de los tramos" voy a poder determinar las actividades de mantenimiento y el tiempo en años en el que se deben aplicar dichas actividades.

Listado de actividades a realizar

1. Ubicación de los tramos en estudio.
2. Caracterización de los materiales de cada uno de los tramos.
3. Aforos de tráfico para cada uno de los tramos.
4. Analizar los programas de mantenimiento y los métodos de diseño de pavimentos.
5. Diseñar el pavimento flexible con el método ASSHTO 93, el pavimento rígido con el método PCA y los caminos de tierra mediante el método CBR.
6. Ajustar los programas de mantenimiento a cada tramo mediante los parámetros y resultados de los métodos de diseño de pavimentos.
7. Encontrar la relación entre los programas de mantenimiento y los métodos de diseño de pavimentos.
8. Elaborar un informe donde indique las actividades y los tiempos en que se deben realizar el mantenimiento para que el pavimento cumpla con su periodo de vida útil.

1.9. TÉCNICAS

Investigación documental

En la presente investigación se va a recopilar toda la información relacionada con el tema en estudio en libros, internet, revistas y conferencias ya que la misma nos servirá para poder analizar los programas de mantenimiento y los métodos de diseño de pavimentos utilizados en nuestro país.

Extracción de muestras

Para la extracción de muestras de suelos utilizaremos la técnica de apiques que es un método destructivo en donde se realizara un hueco en el pavimento para poder caracterizar cada una de las capas del paquete estructural.

1.10. MEDIOS

Para la obtención de datos se necesitará la utilización de los siguientes equipos.

Nivel de ingeniero: Es un equipo de precisión utilizado para poder medir el desnivel entre puntos mediante una serie de cálculos manuales.

Fig. 1.1. Nivel de ingeniero



Fuente: Elaboración Propia

Odómetro: Es un instrumento que se utiliza para medir grandes distancias.

Fig. 1.2. Odómetro



Fuente: Elaboración Propia

Laboratorio de suelos: Los ensayos de suelos que se llevaran acabo son el contenido de humedad, límites de atteberg, compactación y CBR para poder conocer las características mecánicas de los suelos.

Fig. 1.3. Horno



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 1.4. Límites de Atterberg



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 1.5. Ensayo de compactación



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 1.6. Equipos de CBR



Fuente: Elaboración Propia

1.11. Alcance

Dentro del alcance que se tiene previsto para esta investigación se efectuara lo siguiente:

- Analizar los parámetros, procesos y resultados de los métodos de diseño de pavimentos: American Association of State Highway and Transportation Officials "AASHTO", California Bearing Ratio "CBR" y Portland Cement Association "PCA".
- Analizar los programas de mantenimiento periódico, rutinario y de emergencia para conocer las diferentes actividades que se realizan en cada uno de los programas.
- Realizar la extracción de muestras de suelo por el método destructivo "calicatas" para poder realizar los estudios de suelos, mediante el cual se obtendrá el CBR de cada una de las capas para poder calcular las propiedades de los materiales utilizados en el paquete estructural.
- Aplicar los parámetros y resultados de los métodos de diseño AASHTO, PCA y CBR de diseño de pavimentos para poder ajustar los programas de mantenimiento a cada uno de los tramos garantizando la durabilidad y funcionalidad durante el periodo de su vida útil.
- Obtener un informe en donde se describan las actividades y el tipo de mantenimiento que se van a llevar acabo en los años de vida útil del pavimento para cada uno de los tramos en estudio.

CAPÍTULO 2

CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

2.1. PAVIMENTO

Del latín pavementum, el pavimento es la capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural. El pavimento funciona como sustento de los seres vivos y de las cosas.

Estructura de las vías de comunicación terrestre, formada por una o más capas de materiales elaborados o no, colocados sobre el terreno acondicionado, que tiene como función el permitir el tránsito de vehículos: Con seguridad. Con comodidad Con el costo óptimo de operación Superficie uniforme. Superficie impermeable. Color y textura adecuados. Resistencia a la repetición de cargas. Resistencia a la acción del medio ambiente. Que no trasmita a las capas inferiores esfuerzos mayores a su resistencia. Es importante tener en cuenta que el pavimento puede revestirse con diferentes materiales, como piedras o maderas. El término, sin embargo, suele asociarse en algunos países al asfalto, el material utilizado para construir calles, rutas y otras vías de comunicación. Las denominadas mezclas asfálticas y el hormigón son los materiales más habituales para crear el pavimento urbano, ya que tienen un buen rendimiento de soporte y permiten el paso constante de vehículos sin sufrir grandes daños. En los últimos años se ha promovido el desarrollo de pavimento que sea sostenible y que respete el medio ambiente. En este sentido cabe mencionar la creación de pavimento que combina el asfalto con el polvo de caucho que se obtiene a partir de neumáticos reciclados y la utilización del producto conocido como noxer, que tiene la capacidad de absorber la contaminación que producen los tubos de escape de los vehículos.

La importancia de construir pavimentos resistentes

Dado que un gran porcentaje de los accidentes automovilísticos que tienen lugar todos los días en las grandes ciudades están relacionados con el deterioro de las calles, resulta de gran importancia prolongar la vida de los pavimentos. Esto se logra estudiando potenciales cambios en sus diseños, de manera que el desgaste producido

por los vehículos afecte tan sólo la capa superficial y no genere daños de tipo estructural. Es evidente que los beneficios de dichos avances repercutirían tanto en la seguridad vial como en la economía.

Por otro lado, en países con un alto grado de industrialización, cada año crece el número de vehículos pesados que recorren sus rutas sin piedad, lo que acelera exponencialmente el desgaste de las carreteras. Si no se busca una alternativa a la estructura actual, las interrupciones de tráfico para realizar tareas de mantenimiento y reconstrucción serán cada vez más frecuentes, lo que acarreará problemas tales como embotellamientos, contaminación acústica, mayor nivel de estrés y violencia.

Pero este problema va de la mano del exceso de automóviles en las ciudades, cuestión que algunos gobiernos intentan combatir promoviendo el uso del transporte público. Las razones más comunes para no utilizar el propio coche suelen estar relacionadas con las tarifas de los estacionamientos privados o de los tickets emitidos por las máquinas, y no por ansiar una vida más sana, con menos ruido y transitando calles libres de smog. Es todavía menos esperable que alguien se preocupe por la integridad del asfalto; este tema sólo resulta preocupante cuando amenaza con destruir nuestros vehículos.

Se pueden buscar soluciones coyunturales a dichas cuestiones, como revolucionar la composición del pavimento para conseguir una resistencia mucho mayor sin aumentar el espesor, o multiplicar la cantidad de autopistas para pintar cuadros propios de las películas de ciencia ficción, pero eso sólo constituye una serie de parches que disimulan por un tiempo un problema mucho mayor, presente en la raíz de las sociedades que buscan acelerar sus vidas hasta perder el control.

2.1.1. Pavimento Flexible

Pavimentos Flexibles o Asfálticos. En general, están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular. Estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante.

Fig. 2.1 Paquete estructural pavimento flexible

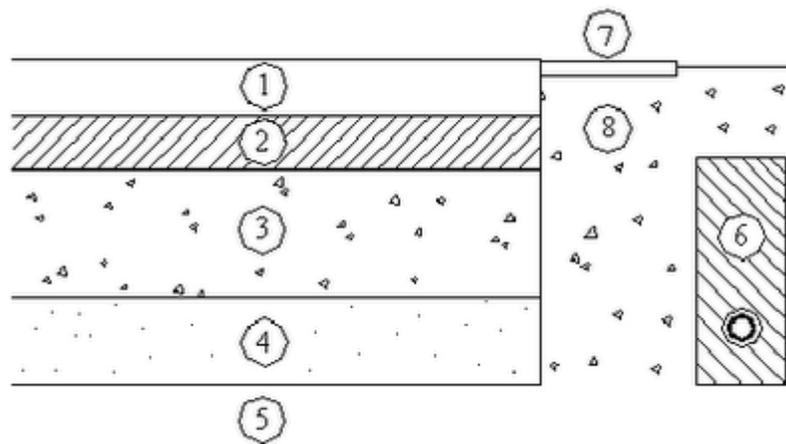


Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

La capa de rodadura de un pavimento flexible puede construirse con un hormigón bituminoso, mezclas de arena y betún, o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos. Está sometida a los esfuerzos máximos y condiciones más severas impuestas por el clima y el tráfico. La capa de base se compone generalmente de áridos, que han sido tratados o no con cemento portland, cal, asfalto u otros agentes estabilizantes. Esta capa tiene como principal función, la de soportar las cargas aplicadas y distribuir estas cargas a la sub-base o al terreno. La capa de sub-base se compone de materiales menor calidad y costo que los empleados en la capa de base. Se componen de materiales estabilizados o no, o de terreno estabilizado. Las sub-bases transmiten cargas al terreno y en algunos casos pueden actuar de colaborador del drenaje de las aguas del subsuelo y para prevenir la acción destructiva de las heladas.

En la figura se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico (Estructural de un Pavimento Flexible). Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

Fig.2.2 Componentes principales de un pavimento flexible



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

Sección típica de un pavimento flexible (Capas que componen la estructura).

Capa de Rodadura.

Capa Base.

Capa Subbase.

Suelo Compactado (Terraplen o Subrasante mejorada).

Subrasante.

Sub-drenaje longitudinal.

Revestimiento de Hombreras.

Sub-base de Hombreras.

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico tiene las siguientes funciones:

Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.

Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.

Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base tiene las siguientes funciones:

Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural.

Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.

Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales.

La capa sub-base está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado y se utiliza para permitir la reducción del espesor de la capa base.

La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para poder reducir el espesor de la capa sub-base.

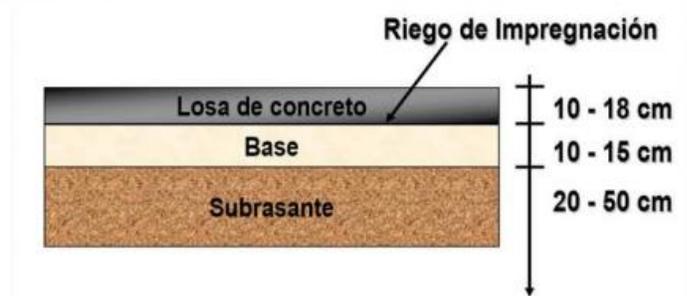
El suelo compactado o subrasante mejorada, es el mismo suelo del terraplén, que esta escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto.

2.1.2. Pavimento Rígido

Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto.

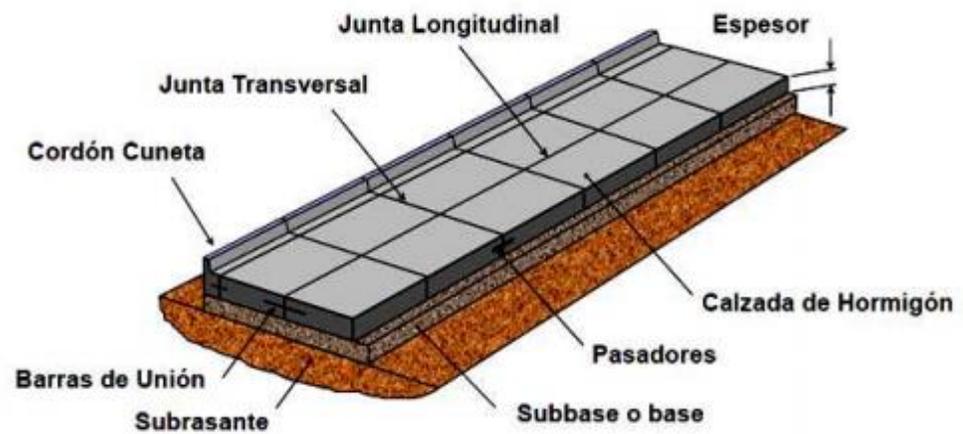
Fig. 2.3 Paquete estructural pavimento rígido

Corte transversal.



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

Fig. 2.4 Componentes principales de un pavimento rígido



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

Juntas

Son las que finalmente determinarán las dimensiones de las losas del pavimento y permiten controlar la formación de fisuras intermedias, tanto a edad temprana como en servicio.

Funciones

Delimitar el tamaño de losas.

Brindar Transferencia de carga.

Permitir el movimiento.

Dividir la construcción.

Para controlar y reducir los efectos perjudiciales del agrietado, o para transferir las cargas entre losas adyacentes, se acude al uso de hierros redondos de distribución o barras de anclaje y pasadores.

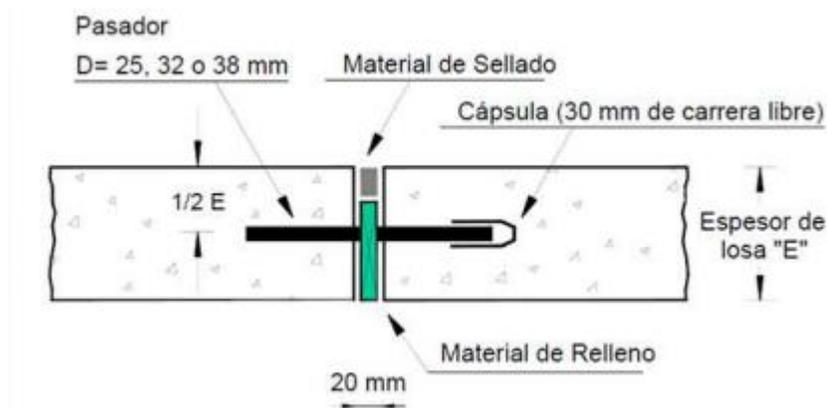
Pasadores

Son barras de acero lisas colocadas en las juntas transversales para transferir cargas, sin restringir el movimiento horizontal de las losas.

Barras de Unión

Se colocan en las juntas longitudinales para mantener ancladas las mismas garantizando de esta manera que estas provean una transferencia de carga.

Fig. 2.5 Juntas de dilatación



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

Subrasante

Es el suelo de cimentación del pavimento, pudiendo ser suelo natural, debidamente perfilado y compactado; o material de préstamo, cuando el suelo natural es deficiente o por requerimiento del diseño geométrico de la vía a proyectar.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular.

Subbase

Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. Deberá ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. El empleo de una sub base implica mejorar la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

Base

Para el pavimento de concreto no es común, pero podría darse el caso en situaciones extremas. En ese caso la base constituye la capa intermedia entre la sub base y la carpeta de rodadura y utiliza materiales granulares de excelente gradación.

Bases estabilizadas con cemento

Las bases estabilizadas permiten el empleo de materiales locales y reciclados, teniendo como ventajas: subbases menos erosionables, reducción de esfuerzos de tensiones y de flexiones, mejoramiento de la transferencia de carga entre paños, entre otras.

Se podrá estabilizar con cemento siempre y cuando el material a estabilizar sea libre de partículas orgánicas, con equivalentes de arena superiores a veinte.

Carpeta de rodadura

Está conformada por mezcla de concreto hidráulico. Los métodos de diseño especifican diseños de mezcla con Módulo de Rotura a la Flexión (MR) superiores a 42 Kg/cm², o su equivalente a $f'c = 280 \text{ Kg./cm}^2$.

Juntas transversales y longitudinales

Es necesario para controlar la fisuración en la losa y permitir el movimiento relativo entre paños adyacentes.

Las juntas son longitudinales y transversales y tienen el rol de inducir fisuras por contracción del concreto, aislar el movimiento de los paños de elementos ajenos al pavimento, como buzones, por ejemplo, y siendo incluso parte del procedimiento constructivo.

Texturizado

El objetivo de texturizar la superficie del concreto es entregarle al pavimento las cualidades necesarias para el contacto pavimento – neumático que permita el tránsito de los vehículos en condiciones seguras. Pueden ser de dos tipos: micro y macro texturizado.

El micro texturizado es el que se logra aplicando una llana húmeda sobre la superficie del pavimento.

El macro texturizado se logra mediante herramientas mecánicas, como peines con cerdas metálicas o aparatos más sofisticados que pueden ser incorporados en el tren de pavimentado.

Barras de amarre

Son barras de acero corrugado que controla el movimiento lateral de los carriles, las mismas que sirven de anclaje.

2.1.3. Caminos de Tierra

Un camino de tierra es un tipo de camino no asfaltado hecho con el material propio de la superficie que atraviesa. Los caminos de tierra requieren mayor mantenimiento para estar en condiciones ya que son propensos a generar barro con las lluvias y a levantar mucha polvareda. Por esto, brindan una menor transitabilidad que los caminos de ripio y los asfaltados, pero también requieren un menor costo de inversión.

Los caminos de tierra tienen diferentes características de acuerdo con el suelo y la geología del lugar por el que pasan. Pueden ser de tierra colorada (por ejemplo, en la provincia argentina de Misiones y sur de Brasil) o negra, más o menos arenosos, tener más o menos componentes de piedra.

Típico camino rural de tierra colorada (laterita), en la provincia de Misiones, Argentina.

Son caminos comunes en áreas rurales y por lo general son estrechos y de bajo tránsito, aunque en muchos países también puede haber rutas nacionales de tierra. En muchos países en vías de desarrollo son parte de las áreas metropolitanas de algunas ciudades, y pueden incluso ser calles y avenidas importantes, de un ancho considerable.

Mientras que los caminos de ripio normalmente pueden ser transitados por automóviles comunes, los caminos de tierra muchas veces pueden ser transitados solamente por camiones o vehículos cuatro por cuatro, especialmente en épocas de lluvia ya que es fácil quedar atascado en arena o barro.

Fig. 2.6 Camino de tierra



Fuente: Elaboración Propia

2.2. METODOLOGÍA PARA DISEÑO DE PAVIMENTO

2.2.1. Método AASHTO 93

A partir de los resultados del AASHTO Road Test, el comité de diseño de la AASHTO produjo en 1972 la “Guía provisional AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles”, la cual se basó, en los procedimientos de diseño existentes. Después de haber sido utilizado por algunos años, éste fue ajustado dando origen a la versión de 1993, a la cual se incorporó nuevas consideraciones entre las que cabe mencionar la confiabilidad del diseño, los módulos de elasticidad de la subrasante, las capas del pavimento, los factores ambientales de temperatura, humedad, el drenaje, aspectos económicos, procedimientos de diseño por construcción por etapas y el conocimiento de los diseños de tipo empírico.

El diseño se basa principalmente en encontrar un número estructural “SN”, para que el pavimento flexible pueda soportar al tránsito admisible en ejes equivalentes estándar acumulados de 18,000 lbs (8.2 ton). Para determinar el número estructural SN requerido y el tránsito en ejes equivalentes acumulados, el método proporciona la ecuación general y el nomograma. Para obtener el número estructural de las capas de la estructura del pavimento se determina considerando los siguientes parámetros:

Tráfico (ESALs)

El procedimiento de diseño para carreteras con volúmenes de tráfico tanto altos como bajos está basado en los ESALS acumulados esperados durante el período de diseño, donde el ESAL (Equivalent Simple Axial Load) es la conversión de las cargas, a un número de repeticiones de cargas equivalente de un eje simple de ruedas duales de carga estándar de 18,000 lb. Para la obtención de este valor es necesario el análisis a partir de la composición del tráfico.

El nivel de confiabilidad (R)

Con el parámetro de Confiabilidad “R”, se trata de llegar a cierto grado de certeza en el método de diseño, para asegurar que las diversas alternativas de la sección estructural que se obtengan, durarán como mínimo el período de diseño. Se consideran posibles variaciones en las predicciones del tránsito en ejes acumulados y en el comportamiento de la sección diseñada.

El actual método AASHTO para el diseño de la sección estructural de pavimentos flexibles, recomienda valores desde 50 y hasta 99.9 para el parámetro “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales, notándose que los niveles más altos corresponden a obras que estarán sujetas a un uso intensivo, mientras que los niveles más bajos corresponden a obras o caminos locales y secundarios.

Tabla 2.1. Valores de “R” de confiabilidad

Niveles de confiabilidad	
Clasificación funcional	Nivel recomendado por AASHTO para carreteras
Carretera Interestatal o Autopista	80-100
Red principal o Federal	75-95
Red secundaria o Estatal	75-95
Red Rural o local	50-80

Fuente: Diseño de Pavimentos (AASHTO 97)

Desviación estándar total (S_o)

La desviación estándar S_o , toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

La Guía AASHTO' 97 aconseja valores para la desviación estándar S_o , desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito.

En la Tabla 2.2. se dan los valores recomendados por AASHTO' 97 para pavimentos flexibles.

Tabla 2.2. Valores de Desviación Estándar

Condición de diseño	Desvío estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.49

Fuente: Diseño de Pavimentos (ASSHTO-97)

El módulo resiliente de la subrasante (MR) y de materiales granulares (CBR)

La base para la caracterización de los materiales de subrasante en este método, es el módulo resiliente o elástico. Este módulo se determina con un equipo especial que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones para determinarlo a partir de otros ensayos como por ejemplo el CBR.

La correlación que se utiliza para el presente proyecto es:

$$M_R \text{ (MPa)} = 22.1 * CBR^{0.55} \text{ (12 < CBR < 80)}$$

La pérdida de nivel de servicio durante el periodo de diseño $\Delta PSI = P_o - P_t$

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La serviciabilidad inicial P_o es función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La serviciabilidad final o terminal P_t es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados por la AASHTO 97 están indicados a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$P_o = 4.5$ para Pavimentos Rígidos

$P_o = 4.2$ para Pavimentos Flexibles

Serviciabilidad terminal

$P_t = 2.5$ o más para caminos muy importantes

$P_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito

Espesores mínimos requeridos para las carreteras de altas especificaciones de la SCT, que se deben considerar en las capas de diseño del pavimento flexible:

Tabla. 2.3. Espesores mínimos de las capas del pavimento

Cargas equivalentes	Espesor mínimo (cm)	
	Carpeta asfáltica	Base y subbase hca.
< 50000	2.5	10
50000 - 150000	5	10
150000 - 500000	6.25	10
500000 - 2000000	7.5	15
2000000 - 7000000	8.75	15
> 7000000	10	15

Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO 93)

Ecuación empírica

Esta es la ecuación utilizada para el diseño de pavimentos, derivada de tramos experimentales por la AASHO ROAD TEST.

$$\log(W_{18}) = Z_r \times S_0 + 9.36 \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log(Mr) - 8.07$$

VARIABLES DE ENTRADA A CONSIDERAR

ΣL = Tránsito equivalente, en repeticiones acumuladas de ejes estándar (8.2 ton de peso en eje sencillo y presión de inflado de los neumáticos de 5.8 kg/cm²).

t_{qu} (Z_R) = Coeficiente de student para un nivel de confianza (QU) conforme al tipo de carretera. S_0 : Desviación estándar global combinado para las predicciones del tránsito, de la calidad de la construcción y del desempeño del pavimento.

SN = Número estructural correspondiente a la(s) capa(s) analizadas(s).

ΔIS = $ISI - ISR$ = Caída del índice de servicio (ISA), para un periodo de vida dado de un pavimento.

ISI= Índice de servicio esperado en la carretera al inicio de su operación.

ISR= Índice de servicio de rechazo, al final de la vida útil de la carretera (criterio de falla funcional).

MR= Módulo de rigidez de la capa de sustentación de la(s) capa(s) analizada(s) (psi).

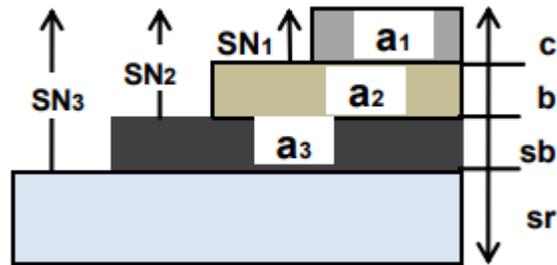
El número estructural (SN), es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de un pavimento requerido, para una combinación dada de soporte del suelo (M_r) del tránsito total (W_{18}), de la servicialidad terminal y de las condiciones ambientales.

Determinación de los espesores de capa

Determinando el número estructural, el paso siguiente consiste en identificar un conjunto de capas cuyos espesores, respetando los espesores mínimos que deberán cumplirse para que cada capa del pavimento pueda lograr la estabilidad y capacidad portante correspondiente a dicho SN.

Siendo el pavimento un sistema multicapa, la distribución de los espesores debe hacerse de acuerdo con los principios que muestra la siguiente figura. Primero se calcula el SN de la subrasante. Del mismo modo, se hallan los SN necesarios sobre las capas de subbase y base, usando los valores aplicables de resistencia en cada caso. Trabajando con las diferencias entre los SN calculados como necesarios sobre cada capa, se determina el espesor máximo permisible de cada uno. Por citar un ejemplo el SN admisible para el material de base debe ser igual a la diferencia entre el SN Total y el que se requiere sobre dicha capa.

Fig. 2.7 Esquema estructural de un sistema multicapa elástico.



Fuente: Diseño de pavimentos (AASHTO 93)

La siguiente ecuación puede utilizarse para determinar los espesores de cada capa de la estructura del pavimento, es decir, la superficie de rodamiento o carpeta de concreto asfáltico, base, subbase hidráulica y los coeficientes de drenaje.

$$SN_3 = a_1 c + a_2 b m_2 + a_1 sb m_3$$

a_n = Coeficientes estructurales experimentales, de cada capa (1/cm)

c, b, sb = Espesores mínimos de carpeta, base y sub-base, respectivamente (cm)

m_n = Coeficientes de drenaje para cada capa de agregados sin estabilizar.

Esta expresión no conduce a una solución única, sino que se presenta muchas combinaciones técnicamente posibles. Al elegir los espesores de las diferentes capas, debe tenerse presente que, desde el punto de vista de costos, si la relación de costo entre las capas 1 y 2, es menor que la relación correspondiente del producto $a_i \cdot m_i$, el diseño óptimo económico es aquel que considera un espesor mínimo de base.

Ecuaciones propuestas AASHTO

$$C^* = \frac{SN_1}{a_1} \geq C$$

$$SN_1 = a_1 C^* \geq SN_1$$

$$b^* \geq \frac{SN_2 + SN_1^*}{a_2 m_2} \geq b$$

$$SN_1^* + SN_2^* = a_1 c^* + a_2 m_2 b^* \geq SN_2$$

$$sb^* \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a_3 m_3} \geq sb$$

n^* , SN^* n espesor de capa o número estructural real, el cual debe ser igual o mayor al valor requerido. La solución de las ecuaciones se presenta a continuación:

$$C^* = \frac{SN1}{a1} \geq C$$

Para esta ecuación, tanto para el número estructural como para el coeficiente de capa, son valores que ya se tienen; por tanto, se puede sustituir directamente. Este valor representa el espesor teórico final de la carpeta asfáltica. Se tendrá que calcular un nuevo número estructural de acuerdo al espesor teórico de la carpeta, calculando con la ecuación anterior:

$$SN1 = a1C^* \geq SN1$$

Este valor es el número estructural que le corresponde a la carpeta asfáltica y servirá para calcular los demás espesores. Para el espesor de la base se utiliza la ecuación siguiente:

$$b^* \geq \frac{SN2 + SN_1^*}{a2m2} \geq b$$

Lo anterior representa el espesor teórico de la base. El número estructural para la base se obtiene de despejar $SN2^*$ de la siguiente expresión:

$$SN_1^* + SN_2^* = a1c^* + a2m2b^* \geq sb$$

Finalmente, para el espesor de la sub-base se utiliza la siguiente expresión:

$$sb^* \geq \frac{SN3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{a3m3} \geq sb$$

Una vez que se ha resuelto el pavimento multicapa, se procede a comprobar los cálculos mediante la ecuación del número estructural, sustituyendo los valores conocidos de los coeficientes de capa y drenaje, con los espesores de capa calculados con las ecuaciones anteriores.

$$SN_3 = a_1 c + a_2 b m^2 + a_3 b m^3$$

El resultado debe coincidir con el número estructural calculado con el nomograma o la ecuación general de diseño. El método establece los espesores mínimos que deberán cumplirse para cada capa del pavimento para lograr la estabilidad y cohesión deseadas, en función de los ejes equivalentes de carga.

Una vez obtenido el número estructural para la sección estructural del pavimento utilizando el gráfico o la ecuación general básica de diseño, donde se involucraron parámetros anteriormente descritos (tránsito, R, So, Mr y ΔPsi) se requiere ahora determinar una sección multicapa que en conjunto provea de suficiente capacidad de soporte equivalente al número estructural de diseño original.

El método asigna a cada capa del pavimento un coeficiente (D_i), los cuales son requeridos para el diseño estructural normal de los pavimentos flexibles. Estos coeficientes permiten convertir los espesores reales a números estructurales (SN), Siendo cada coeficiente una medida de la capacidad relativa de cada material para funcionar como parte de la estructura del pavimento.

El método presenta cinco categorías de estos coeficientes, de acuerdo con el tipo y la función de la capa considerada: concreto asfáltico, base granular, subbase granular, bases tratadas con cemento portland y base asfáltica.

Concreto Asfáltico: En la tabla de correlaciones estructurales derivadas de los tramos de la AASHTO, se pueden obtener parámetros de rangos de coeficientes estructurales para estimar el coeficiente (a_1) de la capa estructural de rodadura de concreto asfáltico de gradación densa, con base a un módulo elástico (resiliente o dinámico) a 20 °C.

Bases granulares: Se muestran gráficas y correlaciones estructurales que pueden emplearse para estimar el coeficiente estructural (a_2).

Bases estabilizadas: Se muestran gráficas y correlaciones estructurales que pueden emplearse para estimar el coeficiente estructural a_2 de una base de suelo cemento, a partir de su módulo elástico o de su resistencia a compresión a 7 días y gráficas

presentan el ábaco para encontrar el coeficiente correspondiente a las bases asfálticas, en función de su módulo o su estabilidad Marshall.

Subbases granulares: Se puede determinar el coeficiente (a_3) para una subbase granular, en función de los mismos ensayos considerados para las bases granulares.

2.2.2. Método PCA

La metodología de la PCA del año 1984 de pavimentos rígidos está basada casi en su totalidad en conceptos de mecánica de materiales más que empíricos.

La PCA usa el análisis de espectro de carga para calcular los esfuerzos y deformaciones debido a varias cargas y configuraciones de ejes. Tres métodos pueden ser usados para determinar los esfuerzos y deformaciones en pavimentos de concreto: formulas, cartas de influencia y elementos finitos.

Factores de diseño

Soporte

Módulo de reacción (k) de la sub rasante o del conjunto subrasante – subbase, si esta última se coloca.

La resistencia de cada suelo se debe expresar en términos del módulo de reacción (k), no se requiere realizar correcciones de (k) por efectos estacionales, se permite la determinación de (k) por correlación con el CBR.

Tabla. 2.4. Correlación con el CBR

CBR (%)	3	4	5	8	10	20
K (pci)	100	120	140	175	200	250

Fuente: Libro de Diseño de Espesor para Carreteras de Hormigón y Pavimentos de Calles (PCA)

La colocación de una subbase para prevenir el bombeo (granular o estabilizada) y para brindar un apoyo más uniforme a las losas, se traduce en un incremento del módulo de reacción del soporte (k), el cual se aprovecha en el diseño del espesor de las losas.

Tabla. 2.5 Soporte del pavimento

Efecto de una subbase granular sobre el valor k				
k subrasante (psi/pg)	Valor k combinado (psi/pg)			
	4 pg	6 pg	9 pg	12 pg
75	85	96	117	140
150	165	180	210	243
225	235	242	280	330
300	320	330	367	430
Efecto de una subbase tratada con cemento sobre el valor k				
k subrasante (psi/pg)	Valor k combinado (psi/pg)			
	4 pg	6 pg	9 pg	12 pg
75	220	294	386	496
150	367	477	680	845
225	514	698	900	--

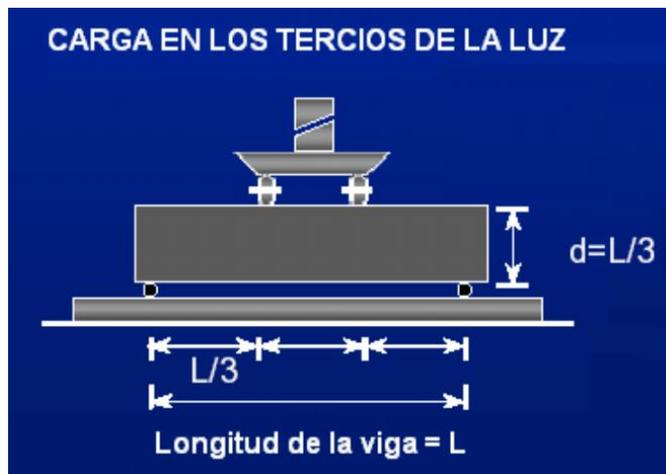
Fuente: Libro de Diseño de Espesor para Carreteras de Hormigón y Pavimentos de Calles (PCA)

Resistencia del concreto

Resistencia de tracción por flexión con carga en los tercios medios. Se utiliza una resistencia de diseño de 28 días de curado de la mezcla y se denomina módulo de rotura.

Los esfuerzos que sufre un pavimento rígido bajo carga son de compresión y tensión, los esfuerzos de compresión son muy bajos respecto de la resistencia a la compresión del concreto, los esfuerzos de tensión pueden representar una fracción importante de resistencia a flexión, razón por la cual son estos los que se consideran en el diseño del pavimento.

Fig. 2.8. Resistencia del concreto a flexión



Fuente: Libro de Diseño de Espesor para Carreteras de Hormigón y Pavimentos de Calles (PCA)

Cargas de tránsito

El método exige el conocimiento del espectro de cargas por eje, discriminado por tipo de eje (simple, tándem, triple), El espectro actual debe proyectarse al futuro de acuerdo con la tasa de crecimiento anual de tránsito, para determinar el número esperado de aplicaciones de cada grupo de carga por eje durante el periodo de diseño que generalmente es de 20 años.

2.2.3. Método CBR

Los diseños flexibles en pavimentos deben proporcionar suficiente compactación de la subrasante y de cada capa durante la construcción para evitar asentamientos objetables en el tráfico, proporcionar el adecuado espesor por encima de la sub-base y encima de cada capa, junto con la calidad adecuada de los materiales de la base y subbase para evitar la deformación de corte en detrimento del tráfico, con drenaje suficiente controlar o reducir a límites aceptables los efectos del levantamiento por helada o la degradación del permafrost, y proporcionar una forma estable, resistente a la intemperie, resistente al desgaste y el pavimento impermeable.

También se debe prestar atención a proporcionar las características adecuadas de fricción.

Base para el diseño

El diseño de procedimientos de espesor incluidas en este documento para la construcción de pavimentos se basa en métodos de diseño de CBR. procedimientos de diseño de pavimentos que se basan en modificaciones de los procedimientos convencionales utilizando espesor equivalente desarrollado a partir de la investigación y la experiencia de campo.

Curvas

Espesor de diseño por 10 a 32 son las curvas de diseño para su uso en la determinación del espesor del pavimento requerido para el Ejército, la Armada, Infantería de Marina y la Fuerza Aérea de aeródromo. Las curvas individuales indican el espesor total del pavimento.

Diseño espesor

El procedimiento de diseño de espesor consiste en determinar el CBR del material a utilizar en una determinada capa y la aplicación de este CBR a las curvas de diseño para determinar el espesor necesario por encima de la capa para evitar la deformación en detrimento de corte.

Los pasos específicos a seguir son los siguientes:

Determinar el diseño CBR de la subrasante.

Determinar espesor total por encima de la subrasante.

Determinar el diseño de CBR de sub-base.

Determinación de espesor de material necesario por encima de la sub-base mediante la introducción de un diseño apropiado.

Determine el espesor mínimo de la superficie y el nivel base de las tablas 8-3, 8-4, o 8-5.

Obtención de espesores de un pavimento flexible

La ecuación puede ser resuelta en forma manual, lo cual es muy tedioso, o por medio de ábacos, como el de la figura, que es más rápido, aunque menos preciso por los errores al trazar las líneas, es posible por ello desarrollar un programa en Excel para determinar el valor de SN.

Para el método de diseño AASHTO 86 y 93 la fórmula de diseño es:

$$\text{Log}W18 = ZRSO + 9.36\text{Log}(SN+1) + [(0.40) + (1094 / (SN+1)^{3.19})] + 2.32\text{log}MR - 8.07$$

Donde:

SN= Número estructural (pulg)

W18= Número de cargas de 18 Kips (80 KN) previstas

ZR= Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

So= Desviación estándar de todas las variables

APSI= Perdida de serviciabilidad

MR= Módulo resiliente de la subrasante (psi)

Con la fórmula de diseño se obtiene un valor llamado numero estructural SN y en función al mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

Las variables de entrada en este ábaco de diseño son:

Transito estimado por carril, W18 a lo largo de la vida útil del pavimento.

Confiabilidad R

Desvío estándar de todas las variables So

Módulo resiliente efectivo (que tenga en cuenta las variaciones a lo largo del año) de la subrasante Mr

Perdida de serviciabilidad ΔPSI

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa es:

$$SN = a_1D_1 + a_2m_2D_2 + a_3m_3D_3 + \dots$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 son los coeficientes estructurales o de capa, adimensionales.

m_1, m_2, m_3 son los coeficientes de drenaje D_1, D_2, D_3 son los espesores de capas, en pulg o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

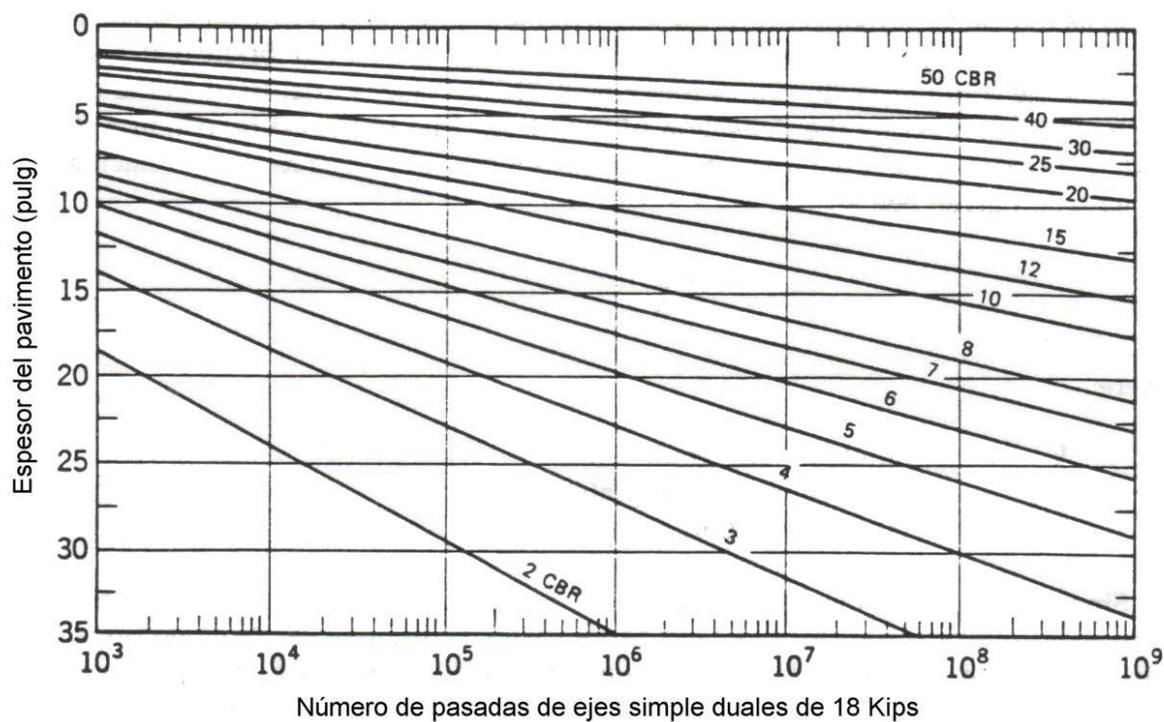
Esta ecuación no tiene una única solución, hay prácticamente un infinito número de combinaciones de espesores que la pueden satisfacer, no obstante, esto, se dan normativas tendientes a dar espesores de capas que puedan ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes por las capas superiores más resistentes. A este método se denomina “Diseño con Verificación de capas”, a continuación, se hablará sobre estas normativas

Los espesores empleados para los recubrimientos ultra delgados varían entre 5 cm. a 10 cm.; para espesores mayores del hormigón se trata de recubrimientos convencionales.

Aunque la diferencia entre estos espesores es convencional, desde un punto de vista conceptual, el diseño del recubrimiento tiene una diferencia significativa: usualmente los recubrimientos convencionales se diseñan “no adheridos”, en tanto que para los ultras delgados se contempla la adherencia con el pavimento asfáltico subyacente. Se consigue así una sección monolítica, que reduce las tensiones de trabajo del recubrimiento y posibilita su menor espesor.

La necesidad de contar con adecuada adherencia y mantenerla en servicio es un factor crítico y condiciona fuertemente el diseño y ejecución de este tipo de recubrimiento.

Figura. 2.9. Abaco espesor pavimento Vs número de pasadas



Fuente: Diseño de Pavimento (AASHTO 93)

2.3. FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.3.1. Piel de Cocodrilo

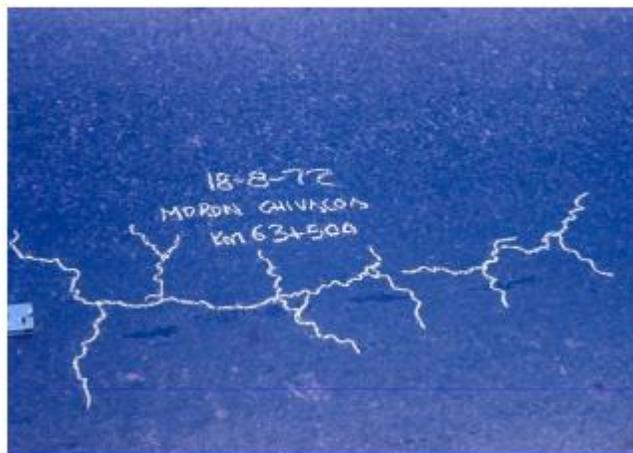
Las grietas de piel de cocodrilo son una serie de grietas interconectadas cuyo origen es la falla por fatiga de la capa de rodadura asfáltica bajo acción repetida de las cargas de tránsito; la piel de cocodrilo se considera como un daño estructural importante y usualmente se presenta acompañado por ahuellamiento.

Fig. 2.10. Piel de Cocodrilo

Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

Niveles de severidad para la falla tipo piel de Cocodrilo**Nivel de severidad Bajo**

Grietas finas capilares y longitudinales que se desarrollan de forma paralela con unas pocas o ninguna interconectadas. Las grietas no están descascaradas, es decir, no presentan rotura del material a lo largo de los lados de la grieta.

Fig. 2.11. Piel de Cocodrilo severidad Baja

Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

Nivel de severidad Medio

Desarrollo posterior de grietas piel de cocodrilo del nivel bajo, en un patrón o red de grietas que pueden estar ligeramente descascaradas.

Fig. 2.12. Piel de Cocodrilo severidad Media



Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

Nivel de severidad Alto

Red o patrón de grietas que ha evolucionado de tal forma que las piezas o pedazos están bien definidos y descascarados los bordes. Algunos pedazos pueden moverse bajo el tránsito.

Fig. 2.13. Piel de Cocodrilo severidad Alta



Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

2.3.2. Mancha en Pavimentos (Exudación)

Es la presencia de una película de material bituminoso en pavimento, la cual forma una superficie brillante, cristalina y reflectora que usualmente llega a ser pegajosa.

La “**mancha**” es originada por exceso de asfalto en la mezcla, exceso de aplicación de un sellante asfáltico o un bajo contenido de vacíos de aire, o por deposición de aceites caído de los vehículos, o por concentración de residuos de combustibles no quemados.

Fig. 2.14. Exudación



Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

Niveles de severidad para la falla mancha en pavimentos (Exudación)

Nivel de severidad Bajo

La mancha ha ocurrido solamente en un grado muy ligero y es detectable únicamente durante unos pocos días del año. El asfalto no se pega a los zapatos o a los neumáticos.

Fig. 2.15. Exudación Baja



Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

Nivel de severidad Medio

La mancha ha ocurrido hasta un punto en el cual el asfalto se pega a los zapatos y neumáticos únicamente durante unas pocas semanas del año.

Fig. 2.16. Exudación Media

Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

Nivel de severidad Alto

La mancha ha ocurrido de forma extensa y gran cantidad de asfalto se pega a los zapatos y neumáticos al menos durante varias semanas al año.

Fig. 2.17. Exudación Alta

Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

2.3.3. Ahuellamiento

El ahuellamiento se deriva de una deformación permanente en cualquiera de las capas del pavimento o la sub-rasante, usualmente producida por consolidación o movimiento lateral de los materiales debidos a la carga del tránsito.

Fig. 2.18. Ahuellamiento



Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

2.3.4. Baches

Un bache es un área de pavimento la cual ha sido remplazada con material nuevo para reparar el pavimento existente.

Los baches se consideran un defecto no importa que tan bien se comporte (usualmente, un área bacheada o el área adyacente no se comportan tan bien como la sección original de pavimento).

Fig. 2.19. Baches



Fuente: www.fallasenpavimentoflexible.blogspot.com

2.4. FALLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.4.1. Deficiencias del Sellado

Se refiere a cualquier condición que posibilite la acumulación de material en las juntas o permita una significativa infiltración de agua. La acumulación de material incompresible impide el movimiento de la losa, posibilitando que se produzcan fallas, como levantamiento o despostillamientos de juntas.

Fig. 2.20. Deficiencia de Sellado



Fuente: www.cybertesis.uach.cl

Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son:
Endurecimiento por oxidación del material de sello.

Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.

Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.

Escasez o ausencia del material de sello.

Material de sello inadecuado.

2.4.2. Juntas saltadas

Rotura, fracturación o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.50 metros de una junta o una esquina y generalmente no se extiende más allá de esa distancia. Además, no se extiende verticalmente a través de la losa, sino que intersectan la junta en ángulo.

Fig.2.21. Juntas saltadas

Fuente: www.cybertesis.uach.cl

Posibles causas: Los despostillamientos se producen como consecuencia de diversos factores que pueden actuar aislada o combinadamente; excesivas tensiones en las juntas ocasionadas por las cargas del tránsito y/o por infiltración de materiales incompresibles; debilidad del hormigón en la proximidad de la junta debido a un sobre acabado y excesiva disturbación durante la ejecución de la junta; deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga de la junta; acumulación de agua a nivel de las juntas.

2.4.3. Grietas de esquina

Es una fisura que intersecta la junta o borde que delimita la losa a una distancia menor de 1.30 m a cada lado medida desde la esquina. Las fisuras de esquina se extienden verticalmente a través de todo el espesor de la losa.

Fig. 2.22. Grietas de esquina



Fuente: www.cybertesis.uach.cl

Posibles Causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas (fatiga del hormigón) combinadas con la acción drenante, que debilita y erosiona el apoyo de la fundación, así como también por una deficiente transferencia de cargas a través de la junta, que favorece el que se produzcan altas deflexiones de esquina.

2.4.4. Grietas longitudinales

Fracturamiento de la losa que ocurre aproximadamente paralela al eje de la carretera, dividiendo la misma en dos planos.

Fig. 2.23. Grietas longitudinales



Fuente: www.cybertesis.uach.cl

Posibles causas: Son causadas por la repetición de cargas pesadas, pérdida de soporte de la fundación, gradientes de tensiones originados por cambios de temperatura y humedad, o por las deficiencias en la ejecución de éstas y/o sus juntas longitudinales. Con frecuencia la ausencia de juntas 29 longitudinales y/o losas, con relación ancho / longitud excesiva, conducen también al desarrollo de fisuras longitudinales.

2.4.5. Baches

Descomposición o desintegración la losa de hormigón y su remoción en una cierta área, formando una cavidad de bordes irregulares.

Fig. 2.24. Baches en Rígido

Fuente: www.cybertesis.uach.cl

Posibles causas: Los baches se producen por conjunción de varias causas: fundaciones y capas inferiores inestables; espesores del pavimento estructuralmente insuficientes; defectos constructivos; retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. La acción abrasiva del tránsito sobre sectores localizados de mayor debilidad del pavimento o sobre áreas en las que se han desarrollado fisuras en bloque, que han alcanzado un alto nivel 31 de severidad, provoca la desintegración y posterior remoción de parte de la superficie del pavimento, originando un bache.

2.5. TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.5.1. Mantenimiento Periódico

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

Implica trabajos de mayor tiempo de ejecución, con el fin de evitar la aparición de daños en la estructura de rodadura y evitar la aparición de daños o el empeoramiento

de los defectos existentes tales como baches, agrietamiento, asentamientos y deformaciones en general haciendo que se conserve la integridad estructural de la vía.

En la conservación periódica no se incluye n las correspondientes a la conservación de vía, explanaciones, drenajes, 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 solo para reconfortar y restablecer las características de la superficie de rodadura.

El objetivo de este mantenimiento está enfocado a preservar las buenas características de la superficie de rodadura, a conservar la integridad de la misma y a corregir los defectos puntuales mayores. También se pueden incluir actividades socio-ambientales y de atención de emergencias viales como la remoción y extracción de derrumbes menores.

2.5.2. Mantenimiento rutinario

Modalidad de mantenimiento preventivo que comprende un conjunto de actividades que se realizan en la calzada y el entorno de una vía pavimentada, cuando menos una vez al año, para retrasar todo lo posible el proceso de degradación de las características funcionales o estructurales del pavimento, así como para corregir los impactos negativos del entorno que, sin suponer degradaciones de los elementos del pavimento, también impiden o dificultan la correcta realización de su función.

El mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se ejecutan en forma permanente y sistemática a lo largo de la calzada y en las zonas aledañas, que consiste en la reparación de pequeños defectos en la superficie de rodadura, limpieza de cunetas, descoles, alcantarillas y demás obras, remoción de pequeños derrumbes, rocería de taludes y zonas laterales o bordes. Se aplica con regularidad una o más veces al año, dependiendo de las condiciones específicas de la vía.

Implica la ejecución de trabajos menores considerados como repetitivos, es decir de corrección de fallas o deterioros ocasionados por el tránsito y/o agentes climáticos.

No por ser trabajos menores dejan de ser importantes, ya que evitan la prolongación del deterioro.

Aunque el mantenimiento rutinario se debe realizar durante todo el periodo de vida del pavimento, constituye prácticamente la única actividad que se ejecuta durante su etapa inicial de servicio.

Lo expuesto anteriormente nos indica que debemos cambiar el pensamiento de realizar labores de corrección (reparar lo dañado), por labores de prevención (evitar que se dañe).

2.5.3. Mantenimiento menor

Dentro del mantenimiento menor se contemplan acciones aplicadas localmente, entre las cuales se pueden mencionar: a. Sellado de b. Bacheo c. Sello asfáltico localizado d. Nivelación localizada e. Fresado y texturización localizada El mantenimiento menor preventivo consiste en aquellas acciones que se ejecutan para proteger el pavimento y corregir fallas incipientes en su estado inicial de evolución. El mantenimiento correctivo se refiere a acciones ejecutadas para corregir o reparar fallas que afectan el nivel de servicio del pavimento, o presentan peligro para los usuarios. Si la condición del pavimento alcanza un alto grado de deterioro, las acciones de mantenimiento menor se hacen costosas y poco efectivas, difícilmente pueden mejorar la condición integral de la vía, y solo se logra mantenerla en una condición deficiente a un altísimo costo. Estos dos aspectos, tanto el nivel de calidad; como el costo del mantenimiento menor son indicadores de falla y de que el pavimento requiere acciones de mantenimiento mayor.

Acciones de Mantenimiento Menor

Como se ha indicado, las acciones de mantenimiento menor son aquellas que se aplican a pequeñas áreas del pavimento para corregir fallas localizadas, mejorar o corregir un problema específico y/o prevenir el crecimiento de fallas puntuales, disminuyendo de esta forma la rata de deterioro del pavimento. Dentro de estas acciones se incluyen:

Sellado de grietas

Bacheo – de emergencia – bacheo superficial – de carpeta – profundo

Sello asfáltico localizado

Nivelación localizada

Fresado y/o texturización localizada

Con la finalidad de hacer una diferenciación entre acciones de mantenimiento menor (puntual localizado) y mayor, para los efectos de este manual se definen como acciones de mantenimiento menor aquellas que se aplican en áreas inferiores a 300 m². Esta limitación sirve además para clarificar aspectos administrativos de contratación de obras.

Sellado de Grietas

El sellado de grietas es una actividad que consiste básicamente en limpieza de las grietas –suficientemente anchas– y sellado de las mismas con productos asfálticos, lechada o mezcla asfáltica, a fin de prevenir la entrada de agua y otros materiales a la estructura del pavimento.

Esta acción es conveniente y efectiva para grietas aisladas, especialmente de tipo longitudinal, transversal, de borde, de reflexión y en algunos casos de contracción o bloque. Su aplicación es por lo general poco efectiva, además de costosa, en el caso de grietas generalizadas, piel de cocodrilo y de deslizamiento.

Su objetivo principal es evitar la entrada de agua a la subrasante y bases granulares, con la consecuente pérdida de soporte. Por sí sola esta acción tiene poco o ningún beneficio estructural, sin embargo, es aceptado que reduce la rata de deterioro del pavimento siendo recomendable su ejecución antes del comienzo de la época de lluvias.

En otros casos puede ser recomendable antes de la ejecución de una acción de mantenimiento mayor a fin de evitar o retardar la reflexión de grietas.

El proceso de ejecución requiere limpieza de la grieta con herramientas menores y/o aire comprimido o equipos especiales, y su posterior sellado –de acuerdo con su

ancho– con materiales asfálticos líquidos, lechada asfáltica o mezclas asfálticas en frío o en caliente.

Nota: Procedimientos similares pueden utilizarse para el mantenimiento y sellado de juntas en pavimentos de concreto Portland.

Bacheo

Las acciones de bacheo son las más comunes en la reparación de fallas localizadas en pavimentos. El bacheo es generalmente entendido como la remoción y reposición de un área localizada severamente dañada, o el relleno de huecos producidos por disgregación. Así mismo, se realiza para corregir fallas estructurales manifestadas por la aparición de grietas del tipo piel de cocodrilo de severidad media y alta, ahuellamiento profundo, grietas de deslizamiento y fallas puntuales como huecos, quiebres, hundimientos, etc.

Algunas agencias clasifican las acciones de bacheo como: Provisional y Permanente, entendiéndose por bache provisional aquel que se realiza, generalmente, por emergencia, debido a la aparición súbita de una falla que no pueda ser reparada en forma permanente debido a: condiciones climáticas, falta de materiales y/o equipos, etc. Se acepta que su duración es corta y que en poco tiempo debe ejecutarse una reparación permanente. Este tipo de acciones son generalmente realizadas por la propia agencia por cuanto no pueden planificarse.

El bacheo permanente se ejecuta como mantenimiento menor preventivo o correctivo, o como una actividad preparatoria, previa a una acción de mantenimiento mayor. El bacheo permanente debe llevar la condición del área tratada a la condición de resistencia original del pavimento.

Una reparación por bacheo tendrá distinta duración dependiendo del tipo de falla, causa y tipo de reparación.

El bacheo provisional puede durar de días a semanas, mientras que el permanente meses a años. En este aspecto debe señalarse que el bacheo debe ejecutarse siguiendo procedimientos que aseguren su calidad y durabilidad. El Ing. Augusto Jugo B. 19

bacheo provisional debe reducirse a un mínimo posible, ya que debido a la corta duración su costo final es elevado.

Debe tenerse en cuenta que el costo de los materiales en bacheo es solo una pequeña parte del costo total, generalmente inferior al 30%. El componente mayor de costo está representado por equipos y transporte de materiales, mano de obra y controles de tráfico. De aquí que la ejecución de un bacheo permanente de calidad es altamente beneficioso debido a la reducción de costos y mayor rendimiento -en el tiempo- de las labores, ya que se podrán reparar nuevas áreas en lugar de efectuar una segunda o tercera reparación en fallas defectuosamente corregidas.

Es recomendable que las acciones de bacheo se realicen bajo condiciones atmosféricas favorables, especialmente en época seca.

Para los propósitos de este Manual, las acciones de bacheo se han dividido en:

Bacheo de emergencia.

Bacheo de superficie.

Bacheo de carpeta.

Bacheo profundo.

Tratamiento Superficial (Sello) localizado

Esta acción consiste en la aplicación de un sello asfáltico o tratamiento superficial en sitios localizados menores de 300 m² de área. La acción consiste en: (1) un riego con material asfáltico cubierto con agregados, ó (2) lechada asfáltica (slurry seal). Su ejecución es conveniente sobre pavimentos envejecidos y oxidados, que presenten grietas finas y/o pérdida de agregado por disgregación menor. Así mismo, pueden ser utilizados para corregir problemas de textura y mejorar la resistencia al deslizamiento en puntos críticos como: curvas, intersecciones, pendientes, etc. Generalmente no son recomendables para vías de alto volumen y tráfico pesado, así como en pavimentos que presenten fallas estructurales severas.

La ejecución de esta acción requiere –en algunos casos– acciones previas sobre la superficie a tratar, estas pueden incluir: bacheo, sellado de grietas anchas, nivelación localizada en áreas deformadas, además de barrido y limpieza de la superficie.

Las acciones más comunes son:

Capa de sello con piedra o grava picada.

Capa de sello con arena.

Lechada asfáltica.

Uno de los aspectos más importantes a cuidar en la ejecución de sellos está el extendido uniforme del material asfáltico en la cantidad requerida. Este puede ser cemento asfáltico, asfalto líquido o emulsión, según el caso. Los agregados deben ser limpios y duros, cumplir con los requisitos granulométricos y de forma cúbica, evitando partículas alargadas. En el caso de sellos es necesario –una vez extendido el agregado– “pisarlo” empleando compactadora de neumáticos, a fin de mejorar su adherencia con el asfalto.

La lechada asfáltica es una mezcla homogénea de emulsión asfáltica, agua y agregados finos bien gradados, mezclados y extendidos por un equipo especialmente diseñado. El producto final tiene una apariencia cremosa y fluida, cuando es proporcionado y mezclado en forma correcta.

Fresado y/o texturización localizada

El fresado en frío es un proceso por el cual un equipo provisto de un cilindro rotatorio, con dientes de especial dureza, remueve pavimentos de concreto asfáltico (o concreto Portland), hasta una profundidad especificada. Estos equipos cuentan con sistemas de nivelación automática y son capaces de operar con buena precisión.

Esta acción específica se refiere, en el caso de fresado, a la remoción de 1 a 3 cm. de pavimento con la finalidad de alisar áreas deformadas con elevaciones y corrugaciones, ahuellamientos menores, superficies agrietadas y disgregadas.

El equipo remueve el material sin dañar las capas inferiores, deja una superficie rugosa y nivelada que facilita la colocación de nuevas capas de espesor uniforme, además de mejorar la adherencia. Otras ventajas del uso de este equipo son:

Elimina el uso de capas de nivelación y reduce las elevaciones de rasante que afectan drenajes, aceras, reducción de altura libre en puentes, sobrecargas en estructuras, etc. Se puede utilizar para tratar áreas de cualquier tamaño.

El material removido es reutilizable, bien para ser reciclado en mezclas o como base en nuevos pavimentos o baches.

Los trabajos de remoción producen menos molestias, al tráfico, ya que el equipo fresador carga el material removido en forma simultánea. Adicionalmente la superficie tratada puede ser usada en forma temporal.

Por su parte la texturización se refiere al fresado o remoción de un espesor entre 3 a 10 mm), con la finalidad de mejorar la fricción del pavimento. Para el texturizado o fresado fino debe usarse una alineación especial de dientes en el cilindro.

Estas acciones pueden ejecutarse como previas a acciones de mantenimiento mayor.

2.5.4. Mantenimiento mayor

Las acciones de mantenimiento mayor son aquellas que se aplican a toda el área de una vía o a una sección importante de la misma. Son acciones programadas para producir un mejoramiento sustancial del pavimento, tanto funcional como estructural, aumentando su vida útil en un periodo considerable de tiempo. Generalmente, están dirigidas a mejorar la calidad de rodaje del pavimento, su fricción y/o su capacidad estructural.

Las acciones de mantenimiento mayor consideradas en este Manual son las siguientes:

Tratamientos superficiales – capas de sello con agregado – lechada asfáltica.

Capas asfálticas – nivelación – fricción o sello – refuerzo estructural.

Remoción por fresado.

Reciclado de capas asfálticas – en frío – en caliente.

El proceso de definición de acciones de mantenimiento mayor es complejo debido a que no existen procedimientos claramente definidos y deben considerarse una importante cantidad de aspectos, con la finalidad de definir una solución “óptima”. Es importante que se haga un completo análisis del proyecto, el cual debe complementarse con buen criterio técnico. No hay soluciones "correctas" o "erradas" en rehabilitación, sino "óptimas" o "preferidas". Estas deben ser económicas y técnicamente efectivas, convenientes y ejecutables. Es fundamental que la estrategia aplicada ataque la causa del problema, no sólo que corrija las fallas que presente el pavimento.

Tratamientos superficiales (capas de sello)

La construcción de capas de sello se encuentra claramente documentada en las normas COVENIN C-12-20. Para la lechada asfáltica (Slurry Seal) se han preparado una especificación especial, C-12-21. Los aspectos constructivos generales son similares a los descritos para Sello Asfáltico Localizado (mantenimiento menor).

Los sellos o tratamientos superficiales constituyen una excelente alternativa de rehabilitación, especialmente recomendable para vías de bajo y medio volumen de tráfico y cargas. Son adecuados y económicos para proteger superficies viejas y oxidadas, sellar grietas y corregir fallas menores.

Los sellos asfálticos por sí solos no aportan un significativo incremento estructural al pavimento. Sin embargo, al sellar grietas, es decir, impermeabilizando la superficie, se reduce la rata de deterioro y produce un incremento en la vida de éste. En todo caso debe entenderse que éstos no son solución a problemas estructurales, siendo poco efectivos en vías de alto volumen de tráfico con problemas estructurales y síntomas de fatiga. Para el buen comportamiento de un sello es importante que se realice una preparación adecuada de la superficie. Esta debe incluir reparaciones localizadas, bacheo, nivelación y/o fresado, sello de grietas anchas, reparación de zanjas, barrido, etc.

La duración de un sello asfáltico es variable y depende de la condición del pavimento original, calidad del sello y características del tráfico. Por lo general, puede esperarse una duración entre 4 y 8 años.

Remoción por fresado

La remoción por fresado de pavimentos asfálticos ofrece una excelente alternativa para evitar algunos de los problemas que se generan con la colocación de capas asfálticas, especialmente en vías urbanas. Su uso es conveniente para alisar superficies deformadas, remover elevaciones y corrugaciones, o reducir el ahuellamiento antes de la ejecución de otras acciones de M&R. Existen equipos capaces de remover más de 10 cm. en una sola pasada. En algunos casos el procedimiento puede ser especialmente beneficioso, específicamente en vías multicanal pueden lograrse importantes economías cuando se encuentra un canal más deteriorado que los adyacentes. En este caso el fresado permite remover – con precisión– el canal fallado y aplicar un correctivo específico, no necesariamente requerido por toda la calzada. Otro caso común es cuando un canal de una vía, generalmente el externo en vías multicanal, requiere mayor refuerzo estructural que los adyacentes. En este caso al remover parte de la capa asfáltica en el canal fallado, y colocar el refuerzo que éste requiere, la nueva rasante no obliga un sobre-espesor en los canales adyacentes –menos deteriorados– lográndose significativa economía.

El aparte referente a fresado y/o texturización localizada (Mantenimiento Menor) incluye algunos aspectos y ventajas de este procedimiento, entre las que se destacan el no producir daño a las bases y capas inferiores, reutilización del material removido y el causar poca molestia al tráfico.

Esta alternativa debe tenerse presente y considerarse en programas de M&R importantes, ya que, en muchos casos, - mediante un sencillo análisis económico se puede determinar su bondad y la conveniencia de su aplicación. El problema principal de ésta acción se encuentra en el costo de los equipos y su poca disponibilidad a nivel nacional.

2.6. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

Es un procedimiento documentado que señala cada una de las actividades y que tiene que ver con las fechas o plazos para que se cumplan estas tareas, este proceso es muy importante porque no basta con decir el lunes se lubrica esta máquina, es lograr que se cumpla y bien.

CAPÍTULO 3

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

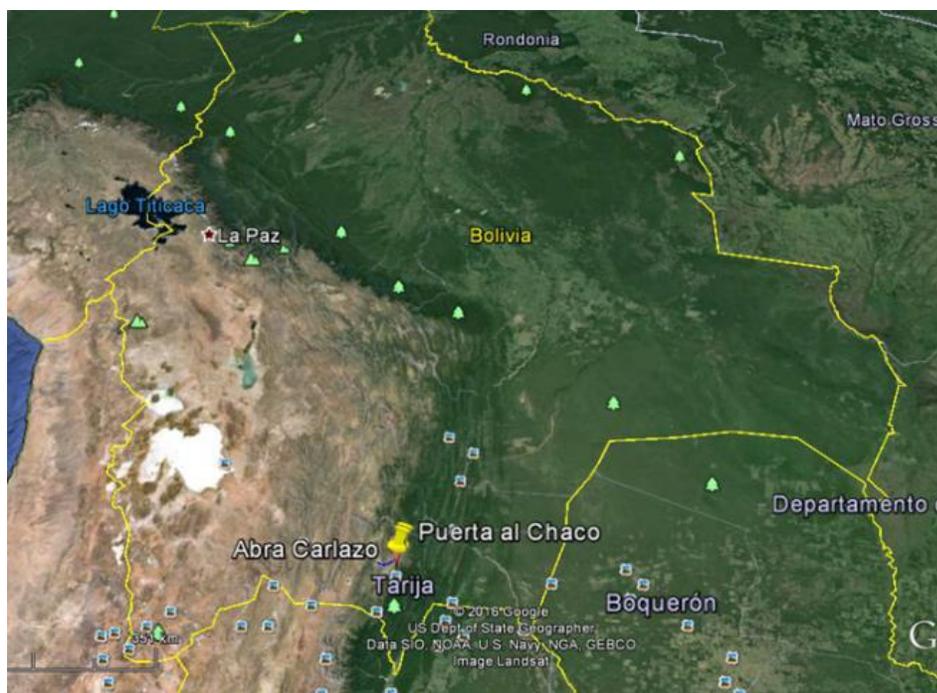
3.1. UBICACIÓN

3.1.1. Tramo Puerta al Chaco - Carlazo

El tramo en estudio “Puerta al Chaco – Carlazo” con una longitud de 6.43 km de pavimento flexible está situado en la provincia Cercado del departamento de Tarija (Bolivia), se encuentra enlazando como tal, las provincias Cercado, O`Connor y Gran Chaco del departamento de Tarija, a una distancia de 15 km de la ciudad capital.

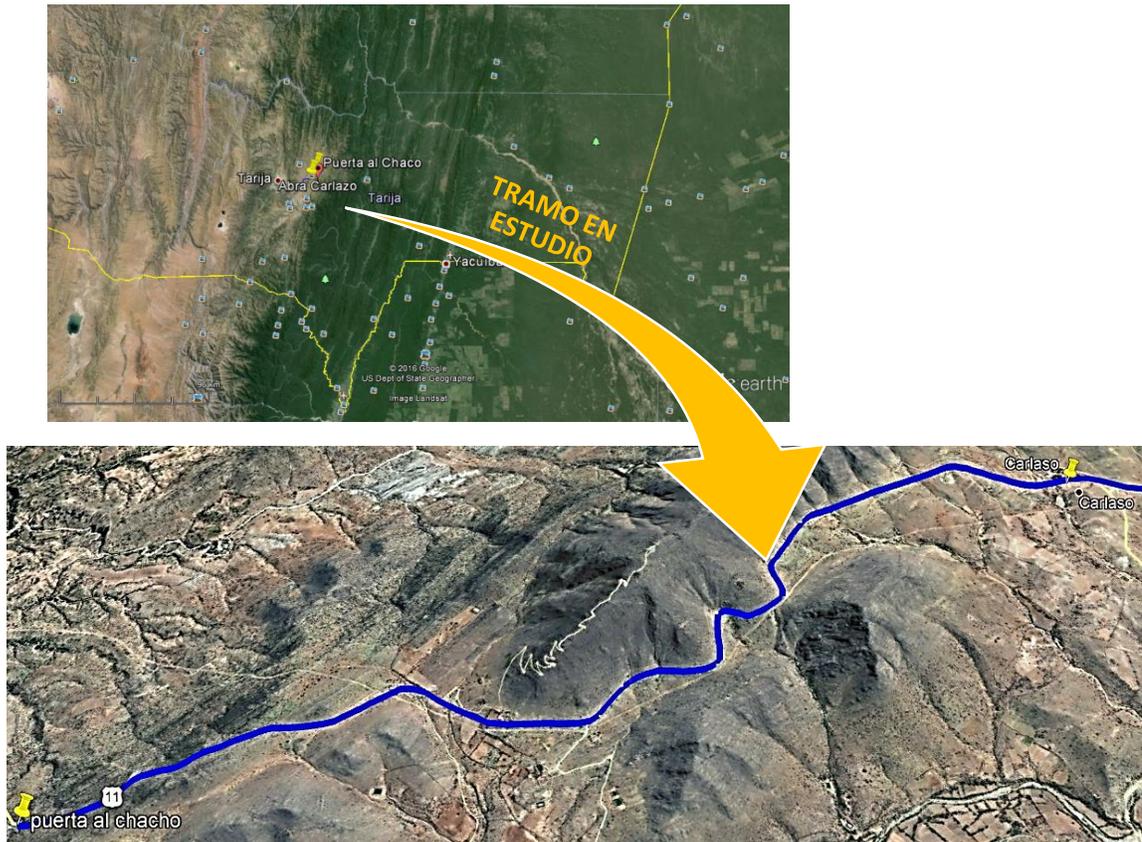
Está ubicada en la faja sub-andina entre una zona media del Valle Central y comienzo del Chaco Tarijeño. Morfológicamente está caracterizado por serranías bajas y llanuras en las que predominan las rocas sedimentarias y sedimento sueltos cuaternarios.

Fig. 3.1. Ubicación de los tramos en el mapa de Bolivia



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 3.2. Ubicación del tramo (Puerta al Chaco – Carlaso)



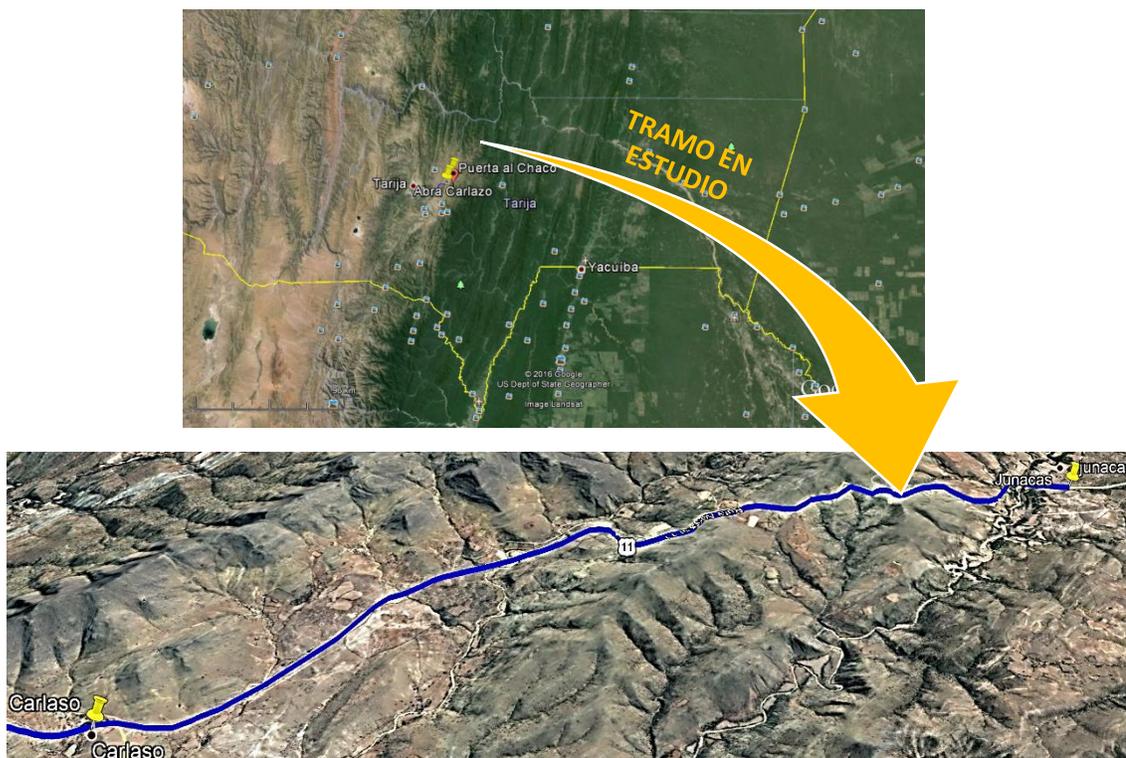
Fuente: Elaboración Propia

3.1.2. Tramo Carlaso – Junacas

El tramo Carlaso – Junacas tiene una longitud de 8.21 km de pavimentos flexibles está situado en la provincia cercado del departamento de Tarija (Bolivia), se encuentra enlazando como tal las provincias Cercado, O'Connor y Gran Chaco del departamento de Tarija, a una distancia de 15 km de la ciudad capital.

Está ubicada en la faja sub-andina entre una zona media del Valle Central y comienzo del Chaco Tarijeño. Morfológicamente está caracterizado por serranías bajas y llanuras en las que predominan las rocas sedimentarias y sedimento sueltos cuaternarios.

Fig. 3.3. Ubicación del tramo (Carlaso – Junacas)



Fuente: Elaboracion Propia

El tramo en estudio “Avenida Circunvalación entre calles Froilán Tejerina y Avenida Panamericana” con una longitud de 1.22 km de pavimento rígido está situado en la provincia cercado del departamento de Tarija (Bolivia).

Fig. 3.5. (Avenida circunvalación entre calles Froilán Tejerina y Avenida panamericana)

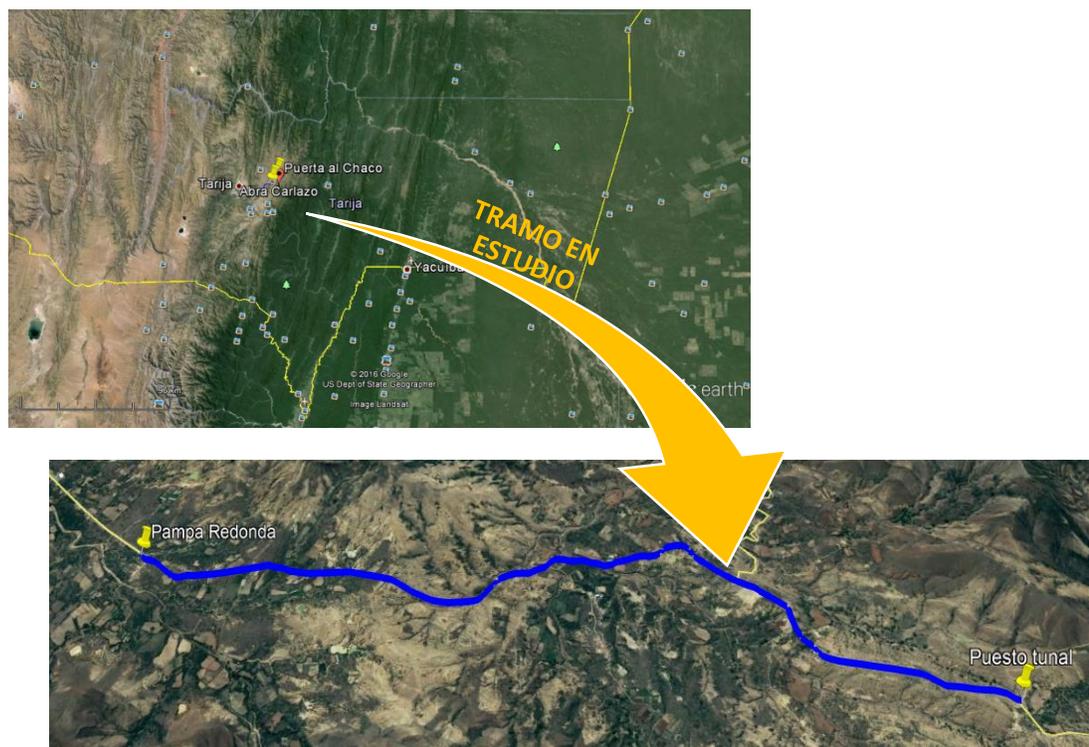


Fuente: Elaboracion Propia

3.1.5. Tramo Pampa redonda – Puesto tunal

El tramo en estudio “Pampa Redonda – Puesto Tunal” con una longitud de 6.48 km de caminos de tierra está situado en el departamento de Tarija (Bolivia) a una altura de 6614.

Fig. 3.6. Ubicación de los tramos (Pampa Redonda – Puesto Tunal)

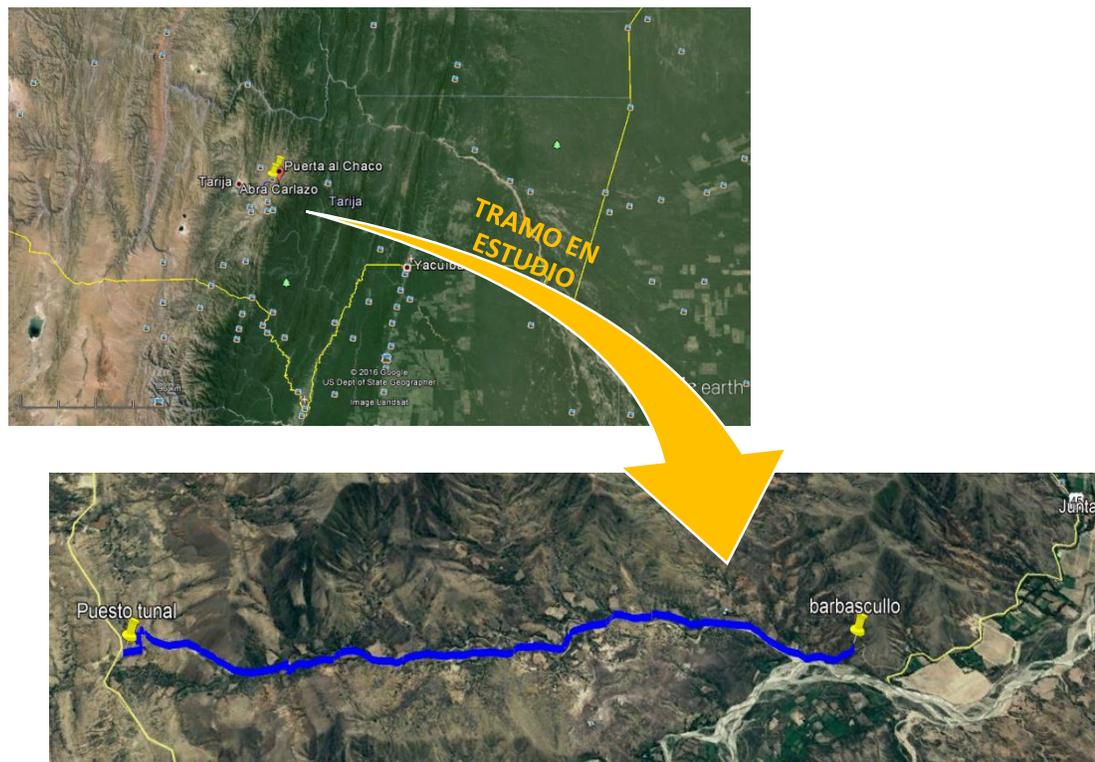


Fuente: Elaboración Propia

3.1.6. Tramo Puesto tunal – Barbascullo

El tramo en estudio “Pampa Redonda – Puesto Tunal” con una longitud de 6.48 km de caminos de tierra está situado en el departamento de Tarija (Bolivia) a una altura de 6614.

Fig. 3.7. Ubicación de los tramos (Puesto Tunal – Barbascullo)



Fuente: Elaboración Propia

3.2. EXTRACCIÓN DE MUESTRA

Se extrajo una muestra de suelo mediante el método de apiques para el tramo “Puerta al chaco - Carlazo” para poder comprobar el CBR de diseño que fue utilizado por el SEDECA en el tramo “Carlazo - Junacas” ya que para estos 2 tramos se utilizó un CBR de 18%.

Fig. 3.8. Extracción de muestra (flexible)



Fuente: Elaboración Propia

Para los tramos de " Avenida Jaime Paz entre calles España y Padilla " y " Avenida Circunvalación entre calles Froilán Tejerina y Avenida Panamericana " no se pudo realizar un apique ya que no quisieron darnos el permiso de la alcandía pero obtuvimos datos de espesores y CBR de cada capa para cada tramo.

En los tramos de caminos de tierra "Pampa Redonda – Puesto Tunal" y "Puesto Tunal - Barbascullo" se realizaron apiques para extraer muestras de suelo de la subrasante mejorada de cada tramo.

Fig. 3.9. Extracción de muestra (Caminos de tierra)



Fuente: Elaboración Propia

3.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

3.3.1. Analisis de granulometro

El procedimiento realizado con base en la Norma ASTM C136, con los límites recomendados en la Norma ASTM C 33. A continuación se presentan los valores del ensayo.

Tabla. 3.1. Granulometría (Puerta al chaco – Carlaso)

Tamices	Tamaño	% Que Pasa
	(mm)	del Total
2 1/2"	75	100,00
2"	50	85,70
1 1/2"	37,50	52,83
1"	25,00	45,80
3/4"	19,00	33,09
1/2"	12,50	27,02
3/8"	9,50	23,74
Nº4	4,75	18,13
Nº10	2,00	18,11
Nº40	0,425	18,04
Nº200	0,075	17,79

Fuente: Elaboración propia

Tabla. 3.2. Granulometría (Carlaso – Junacas)

Tamices	Tamaño	% Que Pasa
	(mm)	del Total
2"	50	100,00
1"	25,00	78,80
3/4"	19,00	70,20
3/8"	9,50	53,20
Nº4	4,75	42,60
Nº10	2,00	36,00
Nº40	0,425	31,30
Nº200	0,075	22,80

Fuente: Elaboración Propia

Como para los tramos de pavimento rígido se obtuvieron datos de espesores y CBR del paquete estructural no se realizaron ensayos de suelos para estos 2 tramos.

Tabla. 3.3. Granulometría (Pampa Redonda – Puesto Tunal)

Tamices	Tamaño	% Que Pasa
	(mm)	del Total
2"	50	100,00
1 1/2"	37,50	100,00
1"	25,00	85,38
3/4"	19,00	74,38
1/2"	12,50	68,11
3/8"	9,50	59,67
Nº4	4,75	49,58
Nº10	2,00	37,47
Nº40	0,425	21,05
Nº200	0,075	14,46

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 3.4. Granulometría (Puesto Tunal – Barbascullo)

Tamices	Tamaño	% Que Pasa
	(mm)	del Total
2"	50	100,00
1 1/2"	37,50	100,00
1"	25,00	85,38
3/4"	19,00	74,38
1/2"	12,50	68,11
3/8"	9,50	59,67
Nº4	4,75	49,58
Nº10	2,00	37,47
Nº40	0,425	21,05
Nº200	0,075	14,46

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2. Límites de Atterberg

Este ensayo no se pudo llevar a cabo debido a que los suelos que extrajeron de cada uno no contenían límite líquido ni límite plástico.

Fig. 3.10. Ensayo de límites de Atterberg



Fuente: Elaboración Propia

3.3.3. Contenido de humedad y clasificación

En el ensayo de contenido de humedad se pesaron 3 taras para cada tramo, luego se las volvió a pesar las taras con el suelo de cada tramo para llevarlas al horno por 24 horas y así obtener el contenido de humedad del suelo mediante el promedio de las 3 taras.

Puerta al Chaco – Carlaso

Contenido de Humedad= 5.41 %

Clasificación

Para la clasificación se toma en cuenta la granulometría, los límites y el contenido de humedad del suelo. Para este tramo su clasificación es un A-1-b(0) Grava limosas, Mezclas de grava, arena y limo.

Carlaso – Junacas

Contenido de Humedad= 4.21 %

Clasificación

Para la clasificación se toma en cuenta la granulometría, los límites y el contenido de humedad del suelo. Para este tramo su clasificación es un A-2-4(0) Grava arcillosa con arena.

Pampa Redonda – Puesto Tunal

Contenido de Humedad= 4.70 %

Clasificación

Para la clasificación se toma en cuenta la granulometría, los límites y el contenido de humedad del suelo. Para este tramo su clasificación es un A-1-a(0) Grava con material fino, no plástico.

Puesto Tunal - Barbascullo

Contenido de Humedad= 4.70 %

Clasificación

Para la clasificación se toma en cuenta la granulometría, los límites y el contenido de humedad del suelo. Para este tramo su clasificación es un A-1-a(0) Grava con material fino, no plástico.

3.3.4. Compactación

Para el ensayo de compactación se tomó una muestra de 5 kg de suelo por punto y de 5 capas por punto se utilizó el martillo y molde T- 180 ya que el suelo de los tramos era granular y con este ensayo se obtuvo la densidad máxima y la humedad óptima del suelo.

Fig. 3.11. Ensayo de compactación



Fuente: Elaboración Propia

Puerta al Chaco - Carlaso

Densidad maxima= 2.18 gr/cm³

Humedad Optima= 6.78 %

Carlaso – Junacas

Densidad maxima= 2.045 gr/cm³

Humedad Optima= 8.9 %

Pampa Redonda – Puesto Tunal

Densidad maxima= 2.28 gr/cm³

Humedad Optima= 7.44 %

Puesto Tunal - Barbascullo

Densidad maxima= 2.27 gr/cm³

Humedad Optima= 7.45 %

3.3.5. CBR

Para el ensayo de CBR se utilizo una muestra de 5 kg para cada molde y cada molde de 5 capas por encima del disco espaciador y se hace una para 12 golpes, para 25 y para los 56 golpes luego se procede a realizar lecturas con el esclerometro cada 24 horas durante 5 dias.

Puerta al Chaco – Carlaso

CBR 100%= 24 %

CBR 95%= 19 %

Carlaso - Junacas

CBR 100%= 34.9 %

CBR 95%= 18 %

Avenida Jaime Paz entre calles España y Padilla

CBR 95%= 16 %

Avenida Circunvalación entre calles Froilán Tejerina y Avenida Panamericana

CBR 95%= 18 %

Pampa Redonda – Puesto Tunal

CBR 100%= 32.70 %

CBR 95%= 24.86 %

Puesto Tunal - Barbascullo

CBR 100%= 31.21 %

CBR 95%= 23.63 %

Las planillas de laboratorio se encuentran en el ANEXO 1 "Ensayos de suelos"

3.4. DATOS PARA EL DISEÑO PAVIMENTO RÍGIDO

Datos del tramo Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y Padilla

Se consideran los siguientes datos:

Tabla. 3.5. Datos de materiales del tramo

Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y avenida padilla.		
CBR capa subrasante terreno natural	3	%
CBR capa subrasante mejorada	16	%
Módulo de reacción de subrasante mejorada	234	PCI
CBR capa subbase	40	%
Espesor de capa subbase	32	cm
	12.60	in
Espesor de capa subrasante mejorada	19	cm

Fuente: Elaboración Propia

Se calcula por iteración el módulo de reacción combinado de la subrasante mejorada y la capa base, para el diseño de la losa de hormigón.

Tabla. 3.6. Módulo de reacción combinado

P1		P2	
$x_1 =$	329.97	$x_2 =$	441.97
$y_1 =$	200.00	$y_2 =$	300.00

Fuente: Elaboración Propia

$$y = \frac{234 \text{ PCI}}{368.05 \text{ PCI}}$$

$$y = \frac{99.91 \text{ MPa/m}}{368.05 \text{ PCI}}$$

módulo de reacción combinado para diseño de losa de hormigón, $k = 368.05 \text{ PCI}$
/ 99.91 MPa/m

Datos del tramo Avenida circunvalación entre calles Froilan Tejerina y Avenida Panamericana

Tabla. 3.7. Datos de materiales del tramo

Avenida circunvalación entre calle Froilán Tejerina y avenida Panamericana.		
CBR capa subrasante terreno natural	3.7	%
CBR capa subrasante mejorada	18	%
Módulo de reacción de subrasante mejorada	243	PCI
CBR capa subbase	45	%
Espesor de capa subbase	27	cm
	10.63	in
Espesor de Capa Sub Rasante Mejorada	34	cm

Fuente: Elaboración Propia

Se calcula por iteración el módulo de reacción combinado de la subrasante mejorada y la capa base, para el diseño de la losa de hormigón.

Tabla. 3.8. Módulo de reacción combinado

P1		P2	
$y_1 =$	297.17	$y_2 =$	402.60
$x_1 =$	200.00	$x_2 =$	300.00

Fuente: Elaboración Propia

$$x = \frac{243 \text{ PCI}}{92.97 \text{ MPa/m}} = 342.50 \text{ PCI}$$

Módulo de reacción combinado para diseño de losa de hormigón, $k = 342.50 \text{ PCI} / 92.97 \text{ MPa/m}$

3.5. AFOROS DE TRÁFICO

Para el aforo de tráfico de los tramos me base en la norma AASHTO, en la cual dice que se debe aforar por 7 días por un mes para poder encontrar los días pico y las horas pico, una vez encontrados se debe aforar 2 días hábiles y un día no hábil estos aforos se encuentran en el ANEXO 2 "Aforos de tráfico".

Para el método de la AASHTO 93 el ESALs se calculó mediante el programa DIPAV.

Para el método de diseño PCA se utilizan espectros de carga para el diseño los cuales se calculan de la siguiente forma.

Para el método CBR se asumió un peso por eje de 9000 lb según norma de la AAHSTO ya que, al realizar los aforos en los tramos de caminos de tierra, la cantidad de vehículos que circulaban era mínimos.

Calculo espectro de cargas

Av. Circunvalación entre calle Froilán Tejerina y Av. Panamericana

Tabla. 3.9. Cargas de referencia

Cargas equivalentes de referencia para el diseño (norma INVIAS)	
Eje Simple	6.12
Eje Simple Rueda Doble	8.34
Eje Tandem Rueda Doble	13.47
Eje Tridem Rueda Doble	18.76

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 3.10. Cargas por ejes en toneladas

AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA)						
CONFIGURACIÓN DE EJES - CARGAS POR EJES EN TONELADAS						
Clasificación Tipo de Vehículos	Configuración de Ejes	EJE DELANTERO	EJES TRASEROS			
		Eje Simple	Eje Simple Rueda Simple	Eje Simple Rueda Doble	Eje Tandem Rueda Doble	Eje Tridem Rueda Doble
Automóviles y Vagonetas	1RS - 1RS	0,9	0,9			
Camionetas (hasta 2.2 Tn.)	1RS - 1RS	1,1	1,1			
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	1RS - 1RS	1,2	1,2			
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	1RS - 1RD	3,5		3,5		
Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	1RS - 1RD	4		9		
Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	1RS - 2RD	7			18	
Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	1RS - 1RD	5		9		
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	1RS - 1RD	7		11		
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	1RS - 2RD	7			18	
Camiones Semirremolque	1RS - 2RD - 3RD	7			18	25
Camiones Remolque	1RS - 2RD - 1RD - 1RD	7		11	18	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 3.11. Tráfico proyectado

Cálculo del tráfico proyectado para el periodo de análisis de diseño del pavimento rígido											
Vehículos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Índice crecimiento	3.8	3.8	4.2	4.2	4.2	2.2	2.7	2.6	2.6	1.8	1.8
Período de análisis (años)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Factor crecimiento tránsito	29.168	29.168	30.404	30.404	30.404	24.787	26.065	25.803	25.803	23.819	23.819
TPDA (veh/día)	18967	2310	373	418	180	87	1136	367	201	88	96
Factor de sentido	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Factor de carril	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Tráfico proyectado	90,868,8	11,064,8	1,861,7	2,088,409	900,882	355,831	4,862,607	1,557,116	852,726	345,067	374,801

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 3.12. Resumen de espectro de cargas

Resumen espectro de cargas				
Eje	Carga (Ton)	Carga (kn)	Carga (kips)	Número de repeticiones
SRS	0.9	8.83	1.98	181,737,606
SRS	1.1	10.79	2.43	22,129,611
SRS	1.2	11.77	2.65	3,723,381
SRS	3.5	34.32	7.72	4,176,818
SRS	4	39.23	8.82	900,882
SRS	5	49.03	11.02	4,862,607
SRS	7	68.65	15.43	3,485,541
SRD	9	88.26	19.84	5,763,489
SRD	11	107.87	24.25	2,306,717
TANDEM	18	176.52	39.68	1,928,425
TRIDEM	25	245.17	55.12	345,067

Fuente: Elaboración Propia

Av. Jaime Paz Zamora entre calle España Tejerina y Av. Padilla

Tabla. 3.13. Cargas por ejes en toneladas

AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA						
CONFIGURACIÓN DE EJES - CARGAS POR EJES EN TONELADAS						
Clasificación Tipo de Camiones	Configuración de Ejes	EJE DELANTERO	EJES TRASEROS			
		Eje Simple	Eje Simple Rueda Simple	Eje Simple Rueda Doble	Eje Tandem Rueda Doble	Eje Tridem Rueda Doble
<i>Automóviles y Vagonetas</i>	<i>IRS - IRS</i>	0,9	0,9			
<i>Camionetas (hasta 2.2 Tn.)</i>	<i>IRS - IRS</i>	1,1	1,1			
<i>Minibuses (hasta 15 pasajeros)</i>	<i>IRS - IRS</i>	1,2	1,2			
<i>Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)</i>	<i>IRS - IRD</i>	3,5		3,5		
<i>Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)</i>	<i>IRS - IRD</i>	5		9		
<i>Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)</i>	<i>IRS - IRD</i>	7		11		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 3.14. Tráfico proyectado

Cálculo del tráfico proyectado para el periodo de análisis de diseño del pavimento rígido						
vehículos	1	2	3	4	7	8
Índice Crecimiento	3,8	3,8	4,2	4,2	2,7	2,6
<u>Período de análisis (años)</u>	20	20	20	20	20	20
Factor Crecimiento Tránsito	29,168	29,168	30,404	30,404	26,065	25,803
TPDA (<u>veh/día</u>)	6700	850	496	1553	161	54
Factor de sentido	1	1	1	1	1	1
Factor de carril	1	1	1	1	1	1
<u>tráfico proyectado (veh)</u>	71.329.519	9.045.009	5.508.722	17.234.175	1.535.530	512.352

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 3.15. Resumen espectro de cargas

Resumen espectro de cargas				
Eje	Carga (Ton)	Carga (kN)	Carga (kips)	Número de repeticiones
SRS	0.9	8.83	1.98	142,659,037
SRS	1.1	10.79	2.43	18,090,018
SRS	1.2	11.77	2.65	11,017,443
SRS	3.5	34.32	7.72	34,468,350
SRS	5	49.03	11.02	1,535,530
SRS	7	68.65	15.43	512,352
SRD	9	88.26	19.84	1,535,530
SRD	11	107.87	24.25	512,352

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 4

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

4.1.1. Variables que intervienen en el diseño (DIPAV)

Confiabilidad “R”

Para el presente proyecto, se adopta un nivel de confiabilidad del $R = 85\%$.

Desviación estándar de las variables “S_o”

Para el presente proyecto se ha adoptado un valor de $S_o = 0.49$

Estimación de ejes equivalentes(ESALs)

Las planillas de aforos de tráfico están adjuntadas en el ANEXO N° 2 y el cálculo del ESALs también fue realizado en el programa DIPAV.

Pérdida de serviciabilidad de diseño “ΔPSI”

Para el presente proyecto se han adoptado $P_o = 4.2$ y $P_t = 2.5$

Una vez que P_o y P_t son establecidos, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño ΔPSI se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Por tanto, la pérdida de serviciabilidad prevista estimada es $\Delta PSI = 1.7$

Módulo resiliente de la subrasante

$$M_R = 111.610937 \text{ MPa}$$

$$M_R = 111,610.93 \text{ KPa} \rightarrow 16,187.8 \text{ Psi}$$

Para cada uno de los tramos de pavimento flexible se muestra en la siguiente tabla.

Tabla. 4.1. Variables que intervienen en el diseño (Dipav)

Tramo	R (%)	So	ΔPSI	Mr (Kpa)
Puerta chaco - Carlaso	85	0.49	1.7	111610.93
Carlaso - Junacas	85	0.49	1.7	87871.95

Fuente: Elaboración Propia

4.2. DISEÑO DEL TRAMO (PUERTA AL CHACO – CARLASO)

Datos de entrada para el diseño de pavimento flexible por el programa DIPAV:

Periodo de diseño= 15 años

Serviciabilidad Inicial (Po)= 4.2

Serviciabilidad Final (Pf) = 2.5

Módulo resiliente de la subrasante (Mr)= 111,610.93 Kpa

Confiabilidad (R)= 85 %

Desviación Estándar (So)= 0.49

Numero de Ejes Equivalentes ESALs= 1,834,648 (Calculado por el programa DIPAV)

Numero de Etapas de Construcción= 1 (Valor asumido ya que la construcción como el mantenimiento se llevará acabo de todo el tramo y no por etapas).

Fig. 4.1. Introducción de datos (Diseño) tramo 1 flexible

Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados los datos al programa procedemos a calcular el ESALs asumiendo un numero estructural de 2.8, La planilla de aforos de trafico están adjuntadas en el ANEXO N° 2 donde se proyectó el tráfico para 15 años desde el año 2018 hasta el año 2032

Fig. 4.2. Introducción de datos (Tráfico) tramo 1 flexible

Año	VIL, VAGONET	CAMIONETA	MINIBUS	MICROBUS	BUS MEDIANO	BUS GRANDE	MION MEDIAN	ON GRANDE 2	ON GRAN
2018	245	98	4	4	29	36	83	76	74
2019	266	107	4	4	32	40	95	86	84
2020	289	116	5	5	35	43	108	98	96
2021	314	127	5	5	37	47	124	113	109
2022	342	138	5	5	41	52	140	128	125
2023	373	150	6	6	44	55	160	145	142
2024	406	163	6	6	48	60	182	167	162
2025	440	178	6	6	53	66	208	191	185
2026	480	193	7	7	58	72	236	217	210
2027	522	210	7	7	62	78	270	247	240
2028	568	229	8	8	68	85	307	282	274
2029	618	250	10	10	74	92	350	322	312
2030	672	271	10	10	80	101	400	366	355
2031	731	295	11	11	88	109	456	418	404
2032	794	320	12	12	95	119	520	476	461

Fuente: Elaboración Propia

Una vez Obtenido el ESALs procedemos a calcular los espesores específicos siempre y cuando cumplan con la condición que el número estructural alcanzado sea igual al número estructural requerido.

Fig. 4.3. Calculo de Espesores tramo 1 flexible

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Coeficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
carpeta asfáltico	0.43	1	2,930,273		154	66	60
capa base	0.133	1	132,363.1701		34	4	160
capa subbase	0.12	1	111,688.85		0	0	200

Número Estructural Alcanzado: 71
Número Estructural Requerido: 71

Fuente: Elaboración Propia

Y así obtenemos los espesores de cada capa para el tramo “Puerta al Chaco – Carlaso” que son los siguientes:

Capa de Rodadura= 60 mm → 6 cm

Capa Base= 160 mm → 16 cm

Capa Subbase= 200 mm → 20 cm

4.2.1. Programas de mantenimiento tramo (Puerta al Chaco – Carlaso)

a) Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario incluye reparaciones menores y localizadas de la superficie; limpieza permanente de la calzada, bermas; control de vegetación y la reparación y limpieza de los dispositivos para el control del tránsito. También, incluye la limpieza y reparaciones menores.

Aunque el mantenimiento rutinario se debe realizar durante todo el período de vida del pavimento, constituye prácticamente la única actividad que se ejecuta durante su etapa inicial de servicio.

Entorno de la vía

Rocería y limpieza: El propósito del despeje de la vegetación herbácea y arbustos es mantener limpia la zona lateral de la vía, de manera de conservar la distancia de visibilidad.

Remoción de derrumbes: Como actividad de mantenimiento rutinario, el propósito es retirar volúmenes reducidos de materiales provenientes del desplazamiento de taludes o de laderas naturales que se hayan depositado sobre la vía y que constituyan o puedan constituir un obstáculo para la operación normal de ésta.

Calzada pavimentada

Sello de fisuras y grietas: Tratamiento que se aplica para corregir agrietamientos longitudinales, transversales y de juntas entre carriles en pavimentos asfálticos y de grietas lineales de pavimentos rígidos, para prevenir el ingreso de agua que debilita las capas inferiores del pavimento y la subrasante. Las grietas de ancho igual o superior a $\frac{1}{4}$, deben ser ruteadas previamente a su sellado, para conformar una cavidad uniforme y firme que le permita aceptar la cantidad adecuada de sellante y su adhesión a las paredes de la grieta.

Bacheo superficial y profundo: Su propósito es restablecer la integridad del pavimento y prevenir daños extensos a la calzada que afecten la inversión de capital y la comodidad y seguridad en la circulación vehicular. Se realiza principalmente para corregir fallas tales como agrietamientos del tipo piel de cocodrilo, depresiones, ojos de pescado, distorsiones y ahuellamientos localizados y fallas en los bordes de un pavimento asfáltico.

Riego en negro: Su propósito es restablecer la integridad del pavimento, previniendo el deterioro progresivo de la superficie. Consiste en una aplicación ligera de emulsión asfáltica para sellar áreas localizadas fisuradas o con vacíos superficiales. Sólo es

recomendable en vías de bajo tránsito y reducida velocidad de operación, por el riesgo de disminución de la fricción superficial.

Sello de arena asfalto: Previenen o retrasan el deterioro superficial progresivo que afectaría adversamente la calidad de la circulación y la seguridad de los usuarios. Se aplican típicamente para proteger superficies con desprendimientos incipientes o cuyos agregados presenten problemas de adherencia con el asfalto, para rellenar fisuras pequeñas, para rejuvenecer el pavimento de manera temporal y, ocasionalmente, para mejorar zonas con problemas de resistencia al deslizamiento
Señalización y ayuda a la vialidad.

Limpieza de la calzada y las bermas: Se realiza con el propósito de remover barro y arena que se deposite sobre la superficie del pavimento, así como basura y cualquier otro elemento que se encuentre sobre la calzada o las bermas y que pueda generar un peligro para el tránsito automotor.

b) Mantenimiento Periódico

El mantenimiento periódico consiste en una serie de actividades que requiere una carretera ocasionalmente o con una periodicidad superior a un año, para conservar el patrimonio vial dentro de ciertos límites de aceptabilidad para la operación vehicular. Generalmente son a mayor escala e incluyente refuerzo o renovación completa de superficies de rodadura (sobrecarpeta, tratamiento superficial, fresado, reposición de material granular en vías en afirmado).

Bacheo: El Bache es una falla muy común en los pavimentos flexibles, como definición practica podemos decir que es la perdida de la carpeta en un lugar puntual de la superficie de rodamiento, motivado por diferentes factores principalmente relacionados con la calidad de la capa subyacente, la filtración de agua o el progreso de la falla piel de cocodrilo.

Lechada asfáltica: Es la combinación de un agregado denso con emulsión asfáltica, agua, filler mineral y aditivos (si son necesarios) la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger el pavimento. Es una mezcla rica en asfalto la cual se puede

aplicar en ruta nacionales, calles urbanas, aeropuertos, áreas de estacionamiento, caminos laterales, etc. Su espesor típico se encuentra entre 3 y 14 mm.

Sello granular: Un sello granular consiste en la aplicación de asfalto seguida por la aplicación de agregados y posteriormente el compactado.

Los sellos de agregados se aplican a una superficie bituminosa existente por uno o más de los siguientes propósitos:

Sellar la superficie bituminosa existente contra la entrada de aire y agua.

Enriquecer una superficie existente o seca o desgastada.

Proveer una superficie resistente al deslizamiento.

Incrementar la visibilidad del pavimento por la noche.

Reducir el ruido de las llantas.

Mejorar la demarcación de las líneas de tráfico o de otras características geométricas.

Obtener una superficie de apariencia uniforme.

Tratamientos superficiales

Tratamiento superficial simple: Es una aplicación de asfaltos recubierta con agregados generalmente de tamaño nominal 10 a 25 mm. También puede ser arena de grano uniforme. Este tipo de tratamiento no aporta estructura al pavimento y solo lo protege, otorgándole gran resistencia a la acción abrasiva del tránsito, a la vez que lo impermeabilizan.

Tratamiento superficial doble o múltiple: Consiste en dos o más aplicaciones de emulsión asfáltica alternadas con aplicaciones de agregados pétreos de diferentes tamaños, alcanzando hasta 25 mm de espesor. Pueden efectuarse sobre pavimentos asfálticos existentes o sobre una base granular estabilizada.

Riego de neblina: Es un riego sobre una capa asfáltica de rodado o tratamiento superficial, para sellar pequeñas fisuras y poros, mejorar la retención de los áridos y uniformizar el color superficial.

c) Relación entre el diseño y el mantenimiento

Proyección del tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.2. Parámetros de diseño

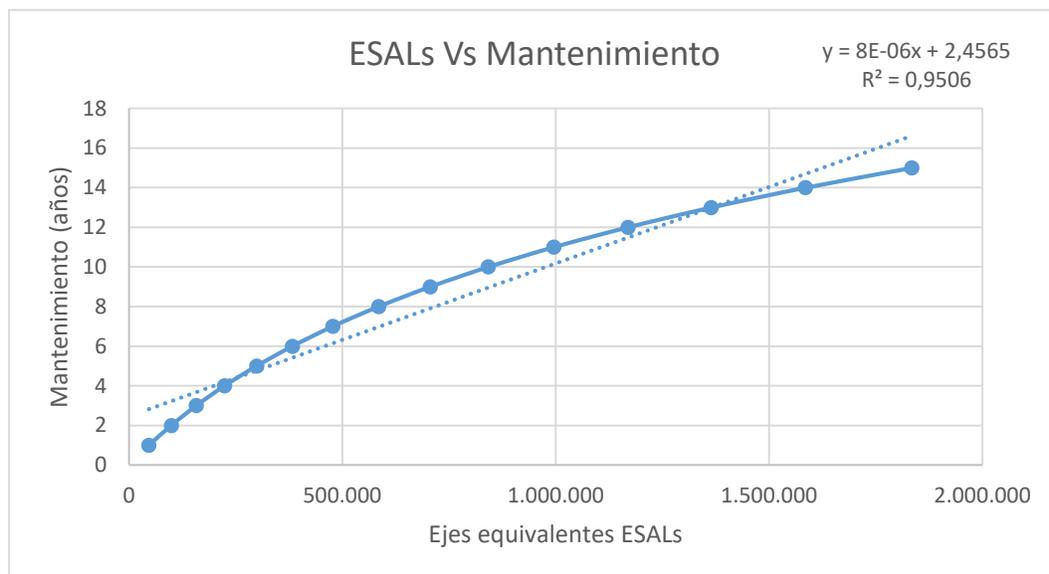
Parámetros de diseño		Unidad
Periodo de diseño	15	años
Serviciabilidad Inicial	4.2	
Serviciabilidad final	2.5	
Módulo resiliente	111,611	Kpa
Confiabilidad	85	%
Desviación Estándar	0.49	
Número total ESALs	1,834,648	

Fuente: Elaboración Propia

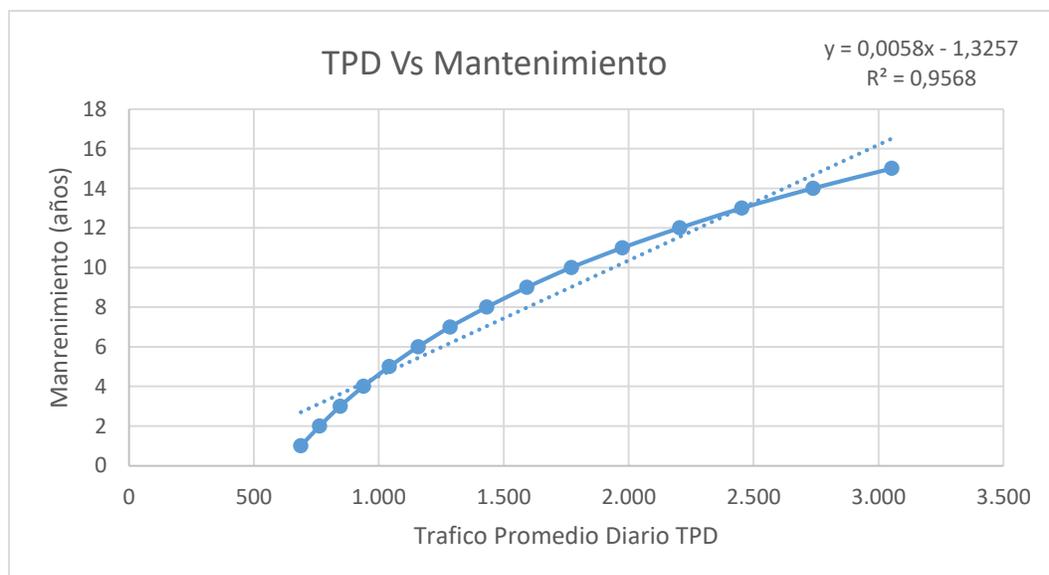
Tabla. 4.3. Datos de tráfico

Años	ESALs	TPD
1	46,597	688
2	99,346	763
3	158,096	845
4	224,274	938
5	299,404	1,042
6	383,409	1,157
7	477,873	1,285
8	585,452	1,432
9	706,262	1,592
10	842,258	1,770
11	996,037	1,975
12	1,169,420	2,204
13	1,364,823	2,453
14	1,585,603	2,738
15	1,834,648	3,053

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.4. ESALs Vs mantenimiento**Fuente:** Elaboración Propia

En las gráficas se muestra el aumento del volumen de tráfico con respecto a los años de mantenimiento con lo podemos observar que a mayor volumen de tráfico mayor el mantenimiento que se debe realizar y también podemos estimar el año en el que se debe realizar el mantenimiento.

Fig. 4.5. TPD Vs mantenimiento**Fuente:** Elaboración Propia

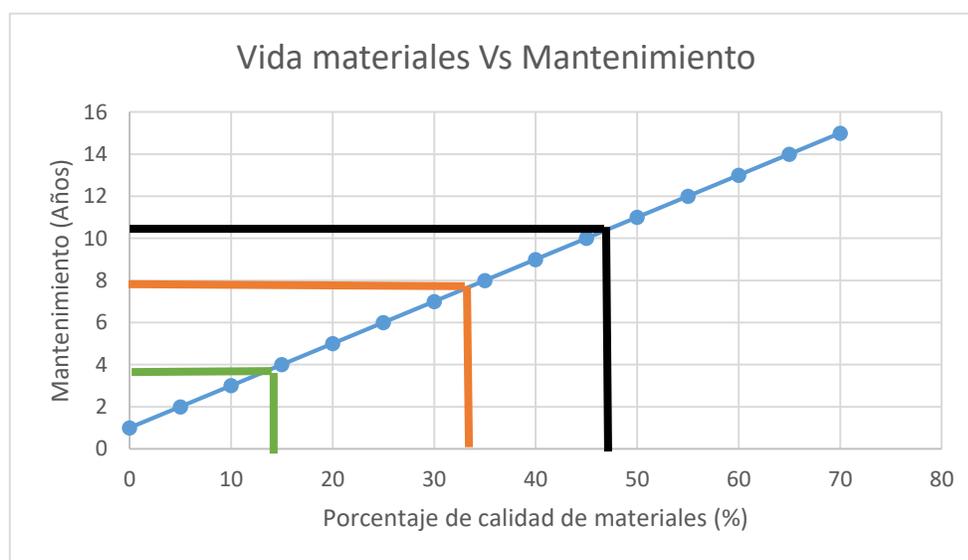
Proyección de la vida de materiales Vs mantenimiento

Tabla. 4.4. Datos de capas

Capa	Espesor	Unidad	%
Capa subbase	20	cm	47.62
Capa base	16	cm	38.10
Rodaduta	6	cm	14.29
Total	42	cm	100

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.6. Vida material Vs mantenimiento

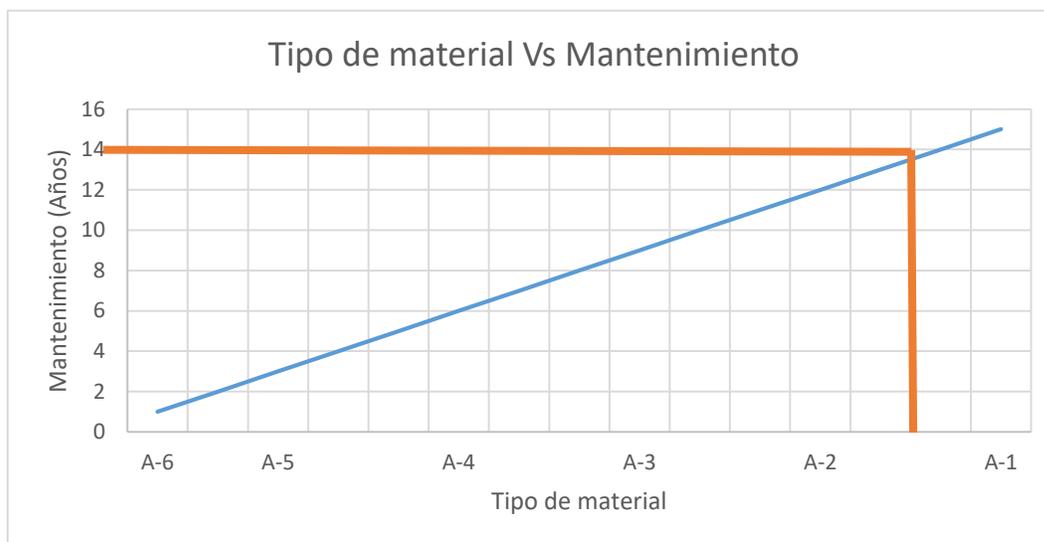


Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica podemos observar en que tiempo podemos realizar el mantenimiento para cada una de las capas, los espesores ya vienen dados según norma puesto que estos dependen de la calidad de material y el tipo de suelo que tenga la sub rasante.

Tipo de materiales (subrasante) Vs mantenimiento

Fig. 4.7. Tipo de material Vs mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

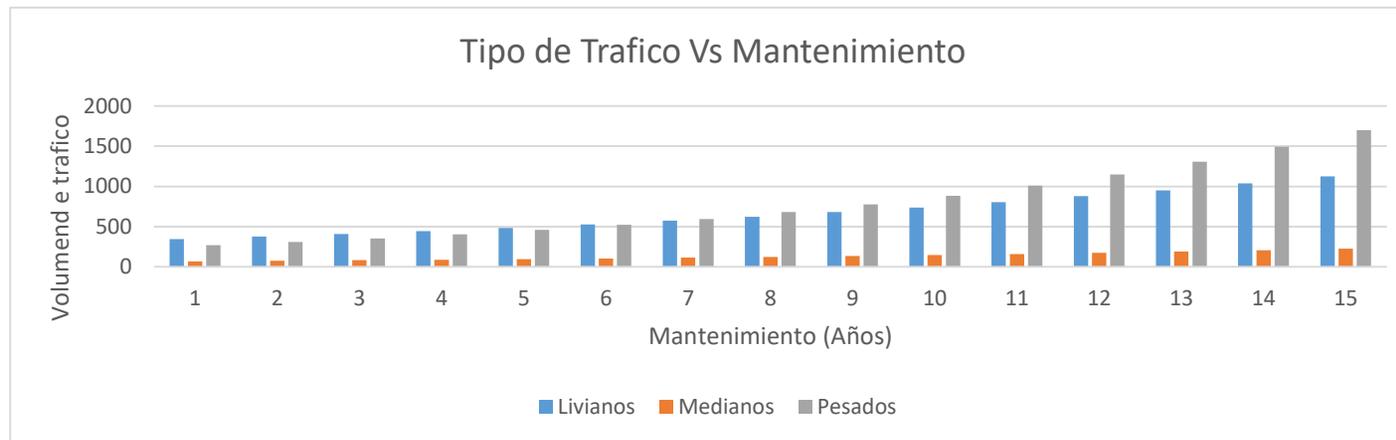
En la gráfica se puede observar el tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento de acuerdo al tipo de material que se tiene en la sub rasante que en este tramo se obtuvo la clasificación de suelo A-1-b (Predomina las arenas gruesas, casi no tiene ligante).

Tipo de tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.5. Tipo de tráfico

Trafico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Livianos	347	377	410	446	485	529	575	624	680	739	805	878	953	1037	1126
Medianos	69	76	83	89	98	105	114	125	137	147	161	176	191	208	226
Pesados	272	310	352	403	459	523	596	683	775	884	1009	1150	1309	1493	1701

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.8. Tipo de tráfico Vs mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se muestra como varia el crecimiento del tráfico para cada año y así podemos determinar los periodos de años en que podemos realizar el mantenimiento del pavimento de acuerdo al tipo de trafico liviano, mediano y pesado.

d) Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento de la carretera Puerta al chaco – carlaso propone que la mejor opción será la construcción con pavimento flexible, de espesores de rodadura de 6 cm sobre una capa base de 16 cm y una capa subbase de 20 cm para los 15 años de vida útil, se entiende que su duración será mucho mayor si se sigue el programa de mantenimiento, donde se deben realizar las siguientes actividades durante el periodo de vida útil del pavimento.

Tramo Puerta al Chaco – Carlaso

Construcción de la carretera entre los años 2015 al 2018

Mantenimiento rutinario todos los años del 2018 al 2032

Bacheo los años 2020, 2022, 2024, 2026, 2028, 2030 y 2032

Lechada asfáltica los años 2021, 2024, 2027, 2030 y 2032

Recapamiento de la carpeta de rodadura 2025 y 2032.

e) Conclusiones del programa de mantenimiento

En la ejecución de la alternativa sugerida se debe tener en cuenta lo siguiente:

El presente programa está basado en la proyección de tráfico y en la calidad de los materiales que se van a usar en su construcción de la capa de rodadura, base y subbase, pero sobre todo en la calidad de la sub rasante ya que de esta depende el diseño de cada una de las capas mencionadas anteriormente.

Los estándares de mantenimiento seleccionados permiten que el mantenimiento se reduzca a la tareas rutinarias y operaciones periódicas de poca significación, en la realidad pueden darse requerimientos de otras actividades dependiendo de imponderables, así como posibles fallas constructivas.

4.3. DISEÑO DEL TRAMO (CARLASO – JUNACAS)

Periodo de diseño= 15 años

Serviciabilidad Inicial (P_o)= 4.2

Serviciabilidad Final (P_f) = 2.5

Módulo resiliente de la subrasante (M_r)= 87,871.95 Kpa

Confiabilidad (R)= 85 %

Desviación Estándar (S_o)= 0.49

Numero de Ejes Equivalentes ESALs= 1,637.201 (Calculado por el programa DIPAV)

Numero de Etapas de Construcción= 2 (Valor asumido ya que la construcción como el mantenimiento se llevará a cabo en 2 etapas).

Fig. 4.9. Introducción de Datos (Diseño) Tramo 2 Flexible

Fuente: Elaboración propia

Una vez colocados los datos al programa procedemos a calcular el ESALs asumiendo un numero estructural de 3, La planilla de aforos de trafico están adjuntadas en el ANEXO N° 2 donde se proyectó el tráfico para 15 años desde el año 2017 hasta el

año 2031 datos proporcionados por el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

Fig. 4.10. Introducción de datos (tráfico) tramo 2 flexible

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Cálculo del TPDA Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)

Año	VIL, VAGONET	CAMIONETA	MINIBUS	MICROBUS	BUS MEDIANO	BUS GRANDE	MION MEDIAN	ON GRANDE 2	ON GRAN
2017	224	91	4	4	26	34	73	67	65
2018	245	98	4	4	29	38	83	76	74
2019	266	107	4	4	32	40	95	86	84
2020	289	116	5	5	35	43	108	98	96
2021	314	127	5	5	37	47	124	113	109
2022	342	138	5	5	41	52	140	128	125
2023	373	150	6	6	44	55	160	146	142
2024	408	163	6	6	48	60	182	167	162
2025	440	178	6	6	53	66	208	191	185
2026	480	193	7	7	58	72	236	217	210
2027	522	210	7	7	62	78	270	247	240
2028	568	229	8	8	68	85	307	282	274
2029	618	250	10	10	74	92	350	322	312
2030	672	271	10	10	80	101	400	368	355
2031	731	295	11	11	88	109	456	418	404

Número Estructural Asumido (pulgadas) 3 Exportar Período de diseño 15

Porcentaje de Tráfico en el Camil de Diseño (ESALs)(%) 50 Editar Tipos Nro. de Vehículos 12

Número de Ejes Equivalentes ESALs 1,637,201 Calcular <===== Ok

Fuente: Elaboración Propia

Una vez obtenido el ESALs procedemos a calcular los espesores específicos siempre y cuando cumplan con la condición que el número estructural alcanzado sea igual al número estructural requerido.

Fig. 4.11. Cálculo de espesores tramo 2 flexible

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Coeficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
carpeta asfáltico	0.43	1	2,930,273		162	70	60
capa base	0.133	1	132,363.1701		36	5	200
capa subbase	0.12	1	111,688.85		60	7	250

Número Estructural Alcanzado:

Número Estructural Requerido:

Fuente: Elaboración Propia

Y así obtenemos los espesores de cada capa para el tramo “Carlaso - Junacas” que son los siguientes:

Capa de Rodadura: 60 mm → 6 cm

Capa Base: 200 mm → 20 cm

Capa Subbase: 250 mm → 25 cm

4.3.1. Programa de mantenimiento tramo (Carlazo – Junacas)

a) Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario incluye reparaciones menores y localizadas de la superficie; limpieza permanente de la calzada, bermas; control de vegetación y la reparación y limpieza de los dispositivos para el control del tránsito. También, incluye la limpieza y reparaciones menores.

Aunque el mantenimiento rutinario se debe realizar durante todo el período de vida del pavimento, constituye prácticamente la única actividad que se ejecuta durante su etapa inicial de servicio.

Entorno de la vía

Rocería y limpieza: El propósito del despeje de la vegetación herbácea y arbustos es mantener limpia la zona lateral de la vía, de manera de conservar la distancia de visibilidad.

Remoción de derrumbes: Como actividad de mantenimiento rutinario, el propósito es retirar volúmenes reducidos de materiales provenientes del desplazamiento de taludes o de laderas naturales que se hayan depositado sobre la vía y que constituyan o puedan constituir un obstáculo para la operación normal de ésta

Calzada pavimentada

Sello de fisuras y grietas: Tratamiento que se aplica para corregir agrietamientos longitudinales, transversales y de juntas entre carriles en pavimentos asfálticos y de grietas lineales de pavimentos rígidos, para prevenir el ingreso de agua que debilita las capas inferiores del pavimento y la subrasante. Las grietas de ancho igual o superior a $\frac{1}{4}$, deben ser ruteadas previamente a su sellado, para conformar una cavidad uniforme y firme que le permita aceptar la cantidad adecuada de sellante y su adhesión a las paredes de la grieta

Bacheo superficial y profundo: Su propósito es restablecer la integridad del pavimento y prevenir daños extensos a la calzada que afecten la inversión de capital y la comodidad y seguridad en la circulación vehicular. Se realiza principalmente para

corregir fallas tales como agrietamientos del tipo piel de cocodrilo, depresiones, ojos de pescado, distorsiones y ahuellamientos localizados y fallas en los bordes de un pavimento asfáltico.

Riego en negro: Su propósito es restablecer la integridad del pavimento, previniendo el deterioro progresivo de la superficie. Consiste en una aplicación ligera de emulsión asfáltica para sellar áreas localizadas fisuradas o con vacíos superficiales. Sólo es recomendable en vías de bajo tránsito y reducida velocidad de operación, por el riesgo de disminución de la fricción superficial.

Sello de arena asfalto: Previenen o retrasan el deterioro superficial progresivo que afectaría adversamente la calidad de la circulación y la seguridad de los usuarios. Se aplican típicamente para proteger superficies con desprendimientos incipientes o cuyos agregados presenten problemas de adherencia con el asfalto, para rellenar fisuras pequeñas, para rejuvenecer el pavimento de manera temporal y, ocasionalmente, para mejorar zonas con problemas de resistencia al deslizamiento.

Señalización y ayuda a la vialidad

Limpieza de la calzada y las bermas: Se realiza con el propósito de remover barro y arena que se deposite sobre la superficie del pavimento, así como basura y cualquier otro elemento que se encuentre sobre la calzada o las bermas y que pueda generar un peligro para el tránsito automotor.

b) Mantenimiento Periódico

El mantenimiento periódico consiste en una serie de actividades que requiere una carretera ocasionalmente o con una periodicidad superior a un año, para conservar el patrimonio vial dentro de ciertos límites de aceptabilidad para la operación vehicular. Generalmente son a mayor escala e incluyen refuerzo o renovación completa de superficies de rodadura (sobrecarpeta, tratamiento superficiales, fresado, reposición de material granular en vías afirmadas).

Bacheo: El Bache es una falla muy común en los pavimentos flexibles, como definición práctica podemos decir que es la pérdida de la carpeta en un lugar puntual de la superficie de rodadura, motivado por diferentes factores principalmente

relacionados con la calidad de la capa subyacente, la filtración de agua o el progreso de la falla piel de cocodrilo.

Lechada asfáltica: Es la combinación de un agregado denso con emulsión asfáltica, agua, filler mineral y aditivos (si son necesarios) la cual es aplicada en una fina capa para recubrir y proteger el pavimento. Es una mezcla rica en asfalto la cual se puede aplicar en ruta nacionales, calles urbanas, aeropuertos, áreas de estacionamiento, caminos laterales, etc. Su espesor típico se encuentra entre 3 y 14 mm.

Sello granular: Un sello granular consiste en la aplicación de asfalto seguida por la aplicación de agregados y posteriormente el compactado.

Los sellos de agregados se aplican a una superficie bituminosa existente por uno o más de los siguientes propósitos:

Enriquecer una superficie existente o seca o desgastada.

Proveer una superficie resistente al deslizamiento.

Incrementar la visibilidad del pavimento por la noche.

Reducir el ruido de las llantas

Mejorar la demarcación de las líneas de tráfico o de otras características geométricas.

Obtener una superficie de apariencia uniforme.

Tratamiento superficial simple: Es una aplicación de asfaltos recubierta con agregados generalmente de tamaño nominal 10 a 25 mm. También puede ser arena de grano uniforme. Este tipo de tratamiento no aporta estructura al pavimento y solo lo protege, otorgándole gran resistencia a la acción abrasiva del tránsito, a la vez que lo impermeabilizan.

Tratamiento superficial doble o múltiple: Consiste en dos o más aplicaciones de emulsión asfáltica alternadas con aplicaciones de agregados pétreos de diferentes tamaños, alcanzando hasta 25 mm de espesor. Pueden efectuarse sobre pavimentos asfálticos existentes o sobre una base granular estabilizada.

Riego de neblina: Es un riego sobre una capa asfáltica de rodado o tratamiento superficial, para sellar pequeñas fisuras y poros, mejorar la retención de los aridos y uniformizar el color superficial.

c) Relación entre el diseño y el mantenimiento

Proyección del tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.6. Parámetros de diseño

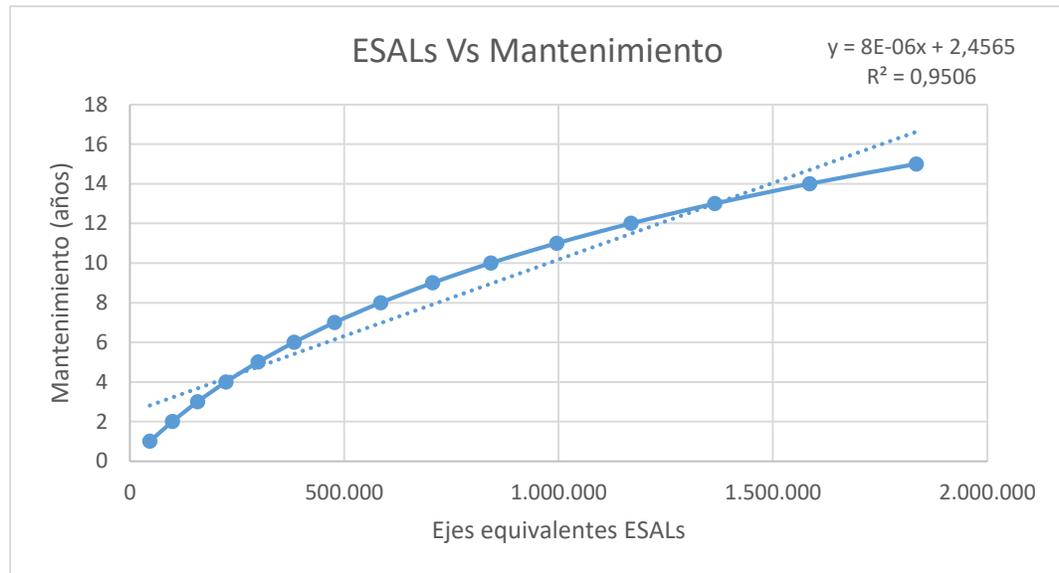
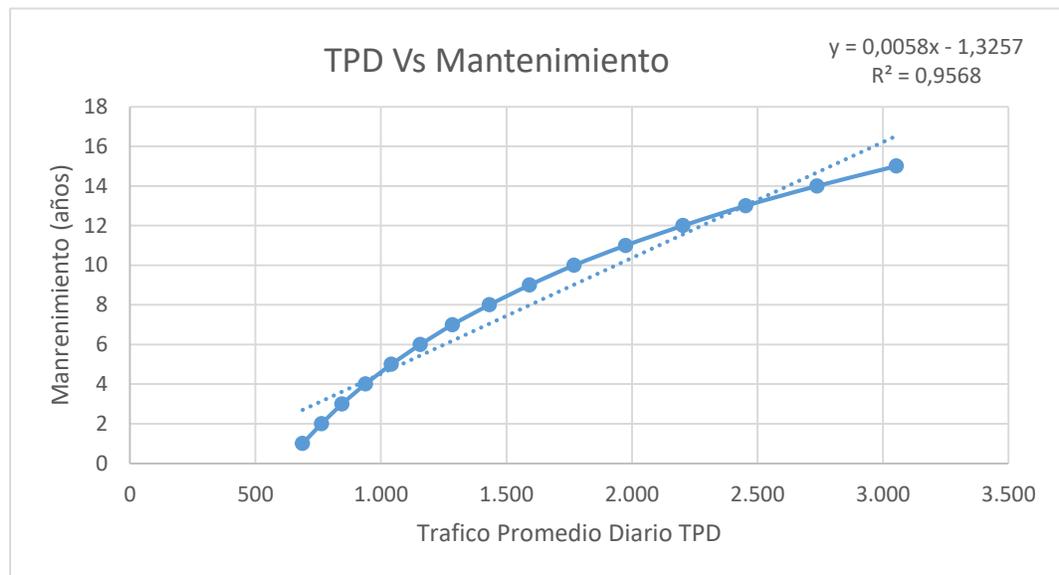
Parámetros de diseño		Unidad
Periodo de diseño	15	años
Serviciabilidad Inicial	4.2	
Serviciabilidad final	2.5	
Módulo resiliente	87871,95	Kpa
Confiabilidad	85	%
Desviación Estándar	0.49	
Número total ESALs	1,834,648	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 4.7. Datos de tráfico

Años	ESALs	TPD
1	46,597	688
2	99,346	763
3	158,096	845
4	224,274	938
5	299,404	1,042
6	383,409	1,157
7	477,873	1,285
8	585,452	1,432
9	706,262	1,592
10	842,258	1,770
11	996,037	1,975
12	1,169,420	2,204
13	1,364,823	2,453
14	1,585,603	2,738
15	1,834,648	3,053

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.12. ESALs Vs mantenimiento**Fuente:** Elaboración Propia**Fig. 4.13. TPD Vs mantenimiento****Fuente:** Elaboración Propia

En los tramos de pavimento flexible se puede ver que el tráfico es el mismo ya que para su diseño se utilizaron los mismos aforos por lo que en las gráficas se muestra el aumento del volumen de tráfico con respecto a los años de mantenimiento con lo podemos observar que a mayor volumen de tráfico mayor el mantenimiento que se

debe realizar y también podemos estimar el año aproximado en el que se debe realizar el mantenimiento.

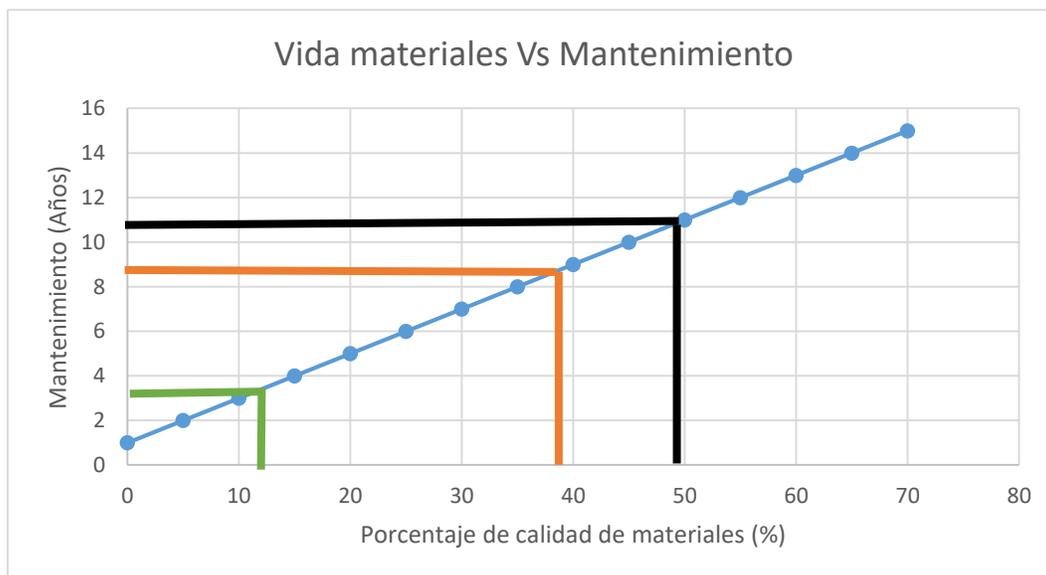
Proyección de la vida de materiales vs Mantenimiento

Tabla. 4.8. Datos de capas

Capa	Espesor	Unidad	%
Capa subbase	25	cm	49.02
Capa base	20	cm	39.22
Rodaduta	6	cm	11.76
Total	51	cm	100

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.14. Vida material Vs mantenimiento

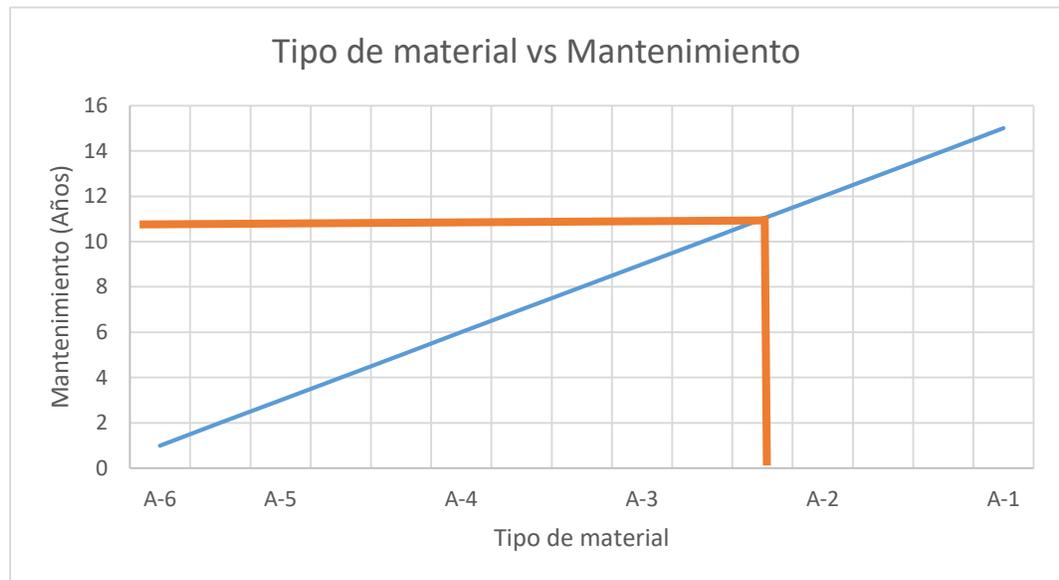


Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica podemos observar en que tiempo podemos realizar el mantenimiento para cada una de las capas, los espesores ya vienen dados según norma puesto que estos dependen de la calidad de material y el tipo de suelo que tenga la sub rasante.

Tipo de materiales (subrasante) Vs mantenimiento

Fig. 4.15. Tipo de material Vs mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se puede observar el tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento de acuerdo al tipo de material que se tiene en la sub rasante que en este tramo se obtuvo la clasificación de suelo A-2-4 (Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas).

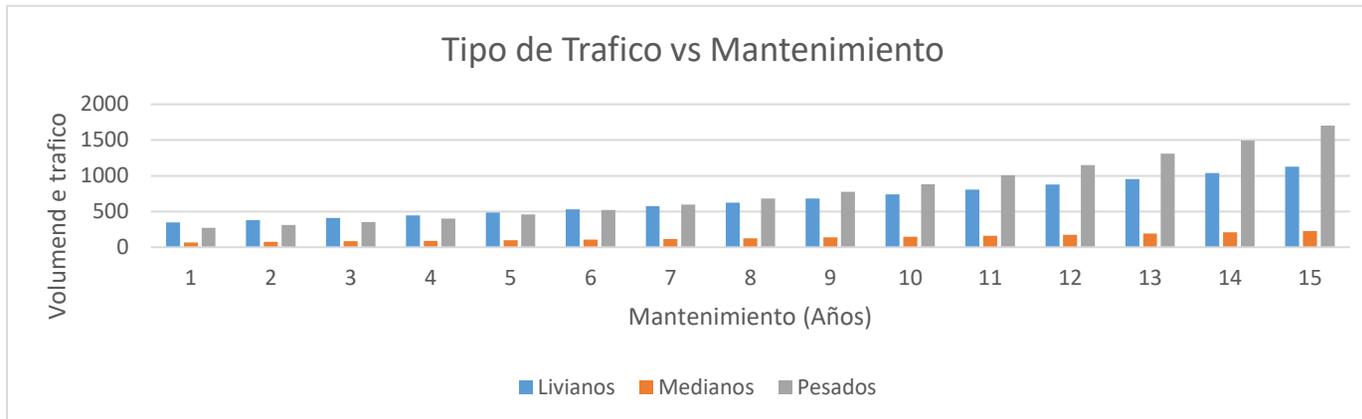
Tipo de tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.9. Tipo de tráfico

Trafico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Livianos	347	377	410	446	485	529	575	624	680	739	805	878	953	1037	1126
Medianos	69	76	83	89	98	105	114	125	137	147	161	176	191	208	226
Pesados	272	310	352	403	459	523	596	683	775	884	1009	1150	1309	1493	1701

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.16. Tráfico vs mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se muestra como varia el crecimiento del tráfico para cada año y así podemos determinar los periodos de años en que podemos realizar el mantenimiento del pavimento de acuerdo al tipo de trafico liviano, mediano y pesado.

d) Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento de la carretera Carlaso - Junacas propone que la mejor opción será la construcción con pavimento flexible, con espesores de capa de rodadura de 6 cm sobre una capa base de 20 cm y una capa subbase de 25 cm para los 15 años de vida útil, se entiende que su duración será mucho mayor si se sigue el programa de mantenimiento.

De acuerdo con este programa de mantenimiento se deben realizar las siguientes actividades durante el periodo de vida útil del pavimento:

Tramo Puerta al Carlaso - Junacas

Construcción de la carretera entre los años 2015 al 2018

Mantenimiento rutinario todos los años del 2018 al 2032

Bacheo los años 2020, 2022, 2024, 2026, 2028, 2030 y 2032

Lechada asfáltica los años 2021, 2024, 2027, 2030 y 2032

Recapamiento de la carpeta de rodadura 2025 y 2032.

e) Conclusiones del programa de mantenimiento

En la ejecución de la alternativa sugerida se debe tener en cuenta lo siguiente:

El presente programa está basado en la proyección de tráfico y en la calidad de los materiales que se van a usar en su construcción de la capa de rodadura, base y subbase, pero sobre todo en la calidad de la subrasante ya que de esta depende el diseño de cada una de las capas mencionadas anteriormente.

Los estándares de mantenimiento seleccionados permiten que el mantenimiento se reduzca a la tareas rutinarias y operaciones periódicas de poca significación, en la realidad pueden darse requerimientos de otras actividades dependiendo de imponderables, así como posibles fallas constructivas.

En este tramo el tráfico utilizado para el diseño es el mismo que el primer tramo de pavimento flexible (Puerta al Chaco – Carlaso) pero el tipo de material de la subrazante y los espesores de las capas son diferentes.

4.4. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

4.4.1. Diseño del tramo Avenida circunvalación entre calle Froilán Tejerina y avenida Panamericana

Datos de diseño:

$M_r = 4.2 \text{ MPa}$

$K = 92.97 \text{ MPa/m.}$

Factor de seguridad de carga = 1.20

Factor de mayoración de repeticiones = 1.15

El diseño contempla bermas, las cuales son los bordillos de la avenida

El diseño contempla pasadores

Espesor de la losa = 205 mm (adoptado)

El diseño se lo realiza en el programa BS-PCA.

Fig. 4.17. Programa método PCA



Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.18. Introducción de datos al programa tramo 1

Fuente: Elaboración propia

Una vez colocado los datos de módulo de reacción, módulo de rotura, factor de seguridad, factor de mayoración y habilitar la opción de bermas y pasadores se procede a colocar los datos de espectro de cargas calculados para ejes simples, tándem y tridem.

Fig. 4.19. Eje simple tramo 1

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	0.9	181737606
2	1.1	22129611
3	1.2	3723381
4	3.5	4176818
5	4	900882
6	5	4862607
7	7	3485541
8	9	5763489
9	11	2306717
10		
11		

Fuente: Elaboración propia

Fig. 4.20. Eje tandem tramo 1

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.21. Eje tridem tramo 1

TRANSITO EJES TRIDEM

Esfuerzo Equivalente :

Factor de Esfuerzo : Factor de Erosión :

#	Carga Eje (Tn)	Repeticiones Esperadas
1	25	345067
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Fuente: Elaboración Propia

4.4.2. Programa de mantenimiento tramo (Avenida circunvalación entre Froilán Tejerina y avenida Panamericana)

a) Mantenimiento rutinario

Un seguimiento continuo y sistemático, para definir un mantenimiento correcto y oportuno, permitirá determinar la frecuencia requerida para la reparación de los deterioros. El objetivo principal es evitar su posterior evolución generando situaciones de riesgo a la estructura del camino.

Todo trabajo de mantenimiento es generado por los elementos que constituyen una carretera, conocida la extensión física del elemento, será fácil determinar el alcance de los trabajos que se deberán realizar en un determinado elemento para su restauración o reposición de acuerdo con lo que establecen las normas de ejecución; en otras palabras, las cantidades de obra requeridas en los trabajos de mantenimiento para la conservación de cada uno de los elementos de la carretera.

Todos los años se realizarán las siguientes actividades de conservación de la carretera, Incluye solo aquellas operaciones que afectan directamente a la superficie de rodadura o a su capacidad portante tales como limpieza de calzada y bermas.

b) Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico se efectúa cada cierto tiempo para que la calzada mantenga las mejores condiciones posibles de servicio durante su vida útil, esto impone la necesidad de realizar trabajos de impermeabilización y reparación en forma integral. Significa un seguimiento continuo y sistemático del estado de la condición superficial, por lo menos dos veces al año, considerando que como resultado de dichos relevamientos se definirá la necesidad o no de algún tipo de operación a ejecutar. Esta evaluación debe realizarse después de cada periodo de lluvias (diciembre a marzo) y después del periodo en que se registran las temperaturas más rigurosas (junio a agosto), periodos donde se podrá obtener un mejor registro de los deterioros de la calzada. Con los resultados de esta evaluación se pueden definir los periodos de ejecución de cualquiera de las medidas correctivas.

Si bien la evaluación del estado de la condición superficial define el momento oportuno de efectuar la operación adecuada, se puede asumir en una primera instancia que el tipo de mantenimiento a efectuar por el alto volumen de tráfico que soportará será atendido con las operaciones siguientes:

Sellado de juntas y grietas: En esta operación se definen los trabajos para rellenar juntas y sellar o resellar grietas existentes en pavimentos de hormigón.

Mantener selladas las juntas y grietas es fundamental para alcanzar la vida útil esperada para el pavimento.

Las juntas y grietas se agrupan en función de su ancho promedio, forma y ubicación, de acuerdo a lo siguiente:

Juntas de hasta 12 mm de ancho.

Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm.

Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm.

Grietas de ancho entre 3 mm y 30 mm.

Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm.

Juntas longitudinales de cualquier ancho.

Reparación de todo el espesor: La operación tiene por objetivo reemplazar una parte deteriorada del pavimento de hormigón, la que como mínimo debe abarcar el ancho de una pista y tener no menos de 0,5 m en el sentido longitudinal. En el caso que el reemplazo afecte un área delimitada por juntas de contracción, en ellas se deberán instalar barras de traspaso de cargas; en ese caso la longitud mínima por reponer será de 1,8 m el procedimiento se utiliza para reparar losas que presenten los siguientes problemas:

Grietas que muestren señales de estar trabajando y, por lo tanto, no exista transferencia de cargas entre los trozos.

Juntas o grietas con saltaduras en las aristas que alcanzan hasta un tercio del espesor de la losa.

c) Relación entre el diseño y el mantenimiento

Proyección del tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.10. Parámetros de diseño

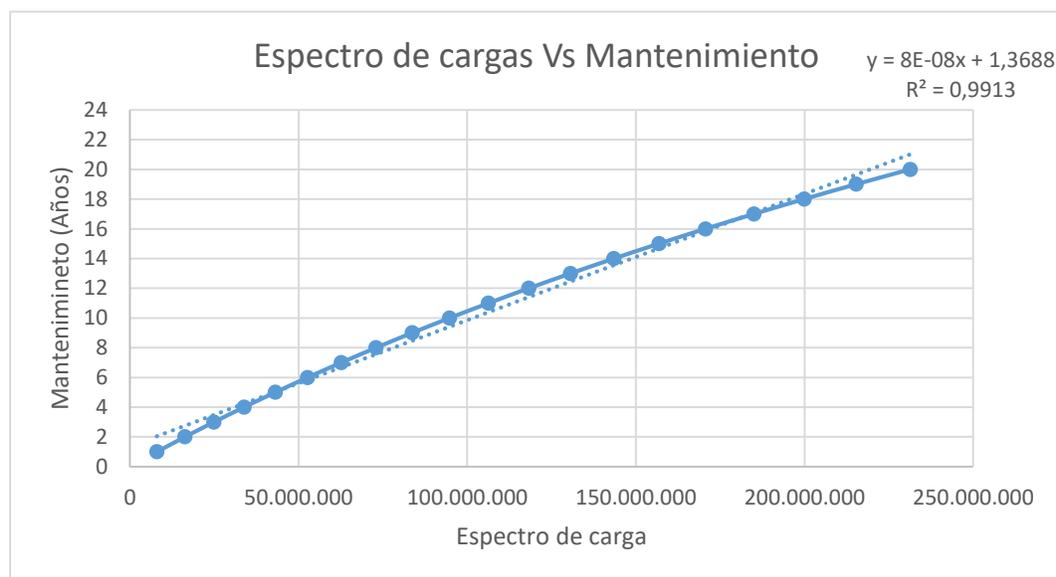
Parámetros de diseño		unidad
Módulo de rotura	4.2	Mpa
Módulo de reacción combinado	92.97	Mpa/m
Factor de seguridad	1.2	
Factor de mayoracion de repeticiones	1.15	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 4.11. Datos de tráfico

Año	Espectro de carga
1	8,003,607
2	16,303,694
3	24,911,364
4	33,838,138
5	43,095,972
6	52,697,272
7	62,654,913
8	72,982,256
9	83,693,166
10	94,802,033
11	106,323,786
12	118,273,924
13	130,668,526
14	143,524,281
15	156,858,510
16	170,689,184
17	185,034,958
18	199,915,189
19	215,349,968
20	231,360,144

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.22. Espectro de carga Vs mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se observa el incremento del espectro de carga con lo cual podemos obtener el año aproximado en el que debemos realizar el mantenimiento para que el pavimento alcance su periodo de vida útil.

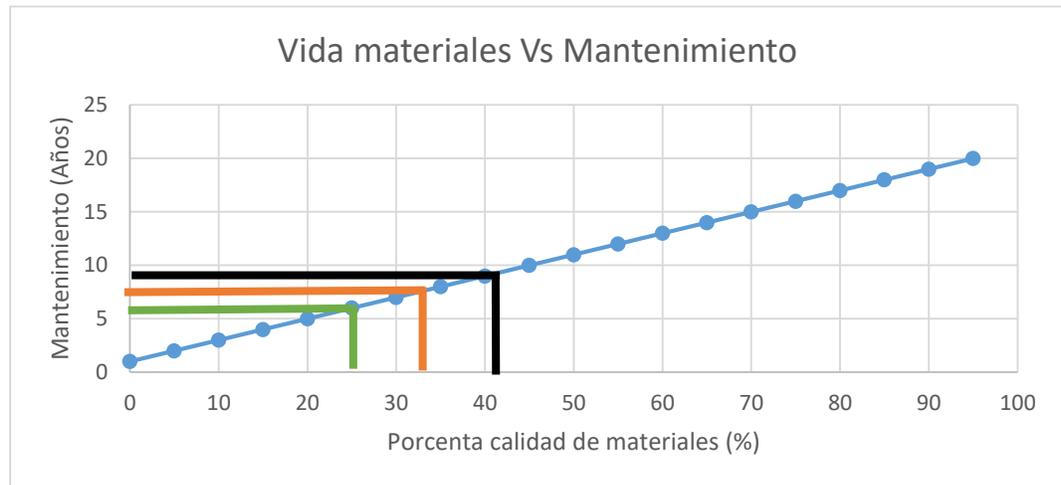
Proyección de la vida de materiales Vs mantenimiento

Tabla. 4.12. Datos de capas

Capa	Espesor	Unidad	%
Subrazante mejorada	34	cm	41.72
Capa base	27	cm	33.13
espesor de la losa	20.5	cm	25.15
total	81.5	cm	100

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.23. Vida material Vs mantenimiento

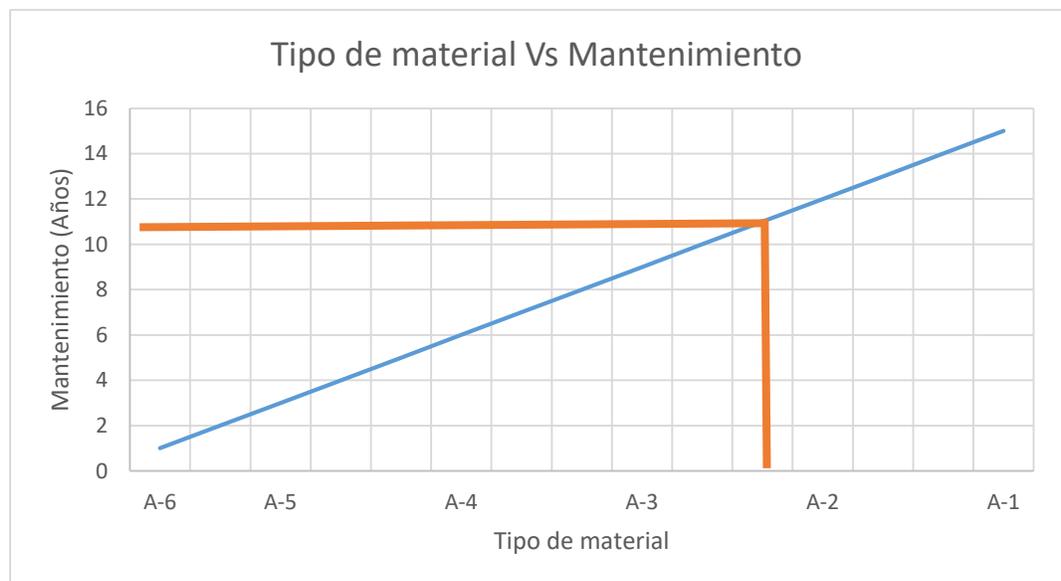


Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica podemos observar en que tiempo podemos realizar el mantenimiento para cada una de las capas en este tramo se dio el caso en el que la sub base y la losa tiene el mismo espesor, los espesores ya vienen dados según norma puesto que estos dependen de la calidad de material y el tipo de suelo que tenga la sub rasante.

Tipo de materiales (subrasante mejorada) vs mantenimiento

Fig. 4.24. Tipo de material vs mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se puede observar el tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento de acuerdo al tipo de material que se tiene en la sub rasante que en este tramo se obtuvo la clasificación de suelo A-2-4 (Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas).

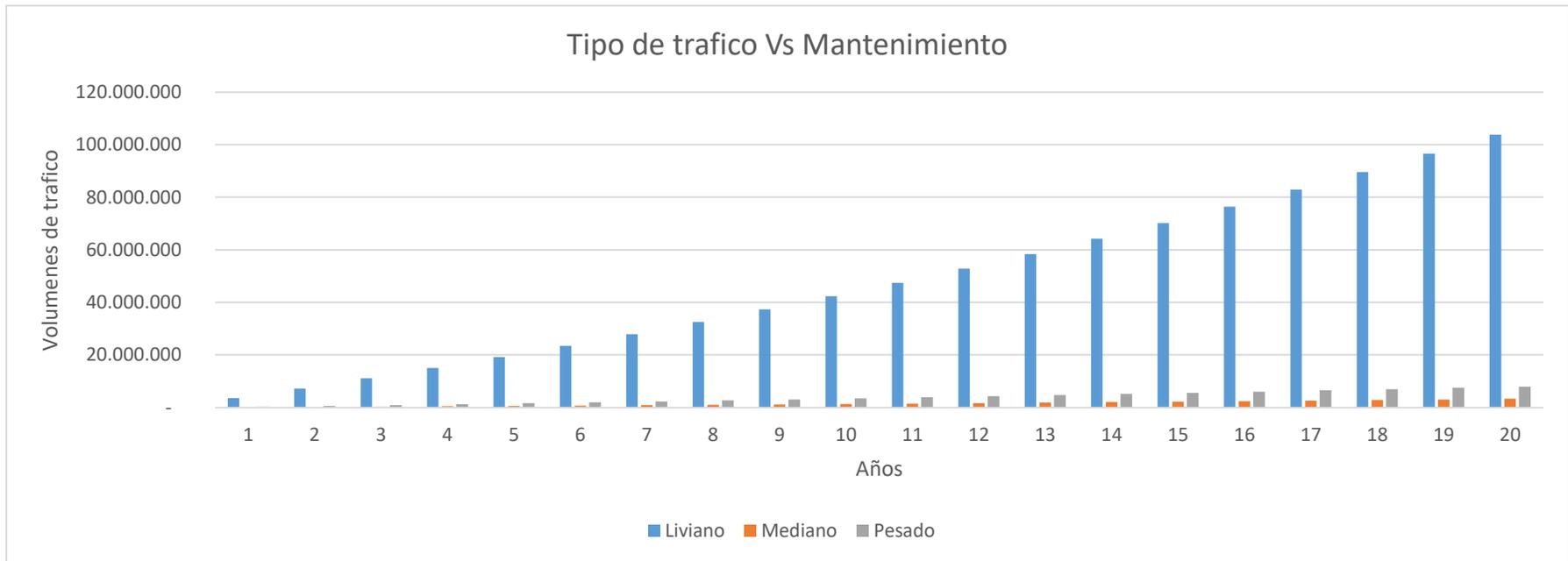
Tipo de tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.13. Tipo de tráfico

Trafico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liviano	3555979.6	7247331.4	11079209.8	15056965.6	19186153.1	23472538.5	27922107.4	32541073.4	37335886.9	42313243.6
Mediano	112675.5	229796.2	351542.7	478102.5	609671.5	746453.0	888659.3	1036511.1	1190238.4	1350080.4
Pesado	310169.7	628348.5	954745.6	1289575.1	1633057.2	1985417.7	2346888.4	2717707.2	3098118.1	3488371.6

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
47480094.6	52843655.5	58411416.8	64191154.3	70190940	76419153.3	82884492.7	89595988	96563013.1	103795299
1516286.7	1689116.7	1868840.7	2055740.4	2250108.9	2452251.5	2662486.2	2881144.0	3108569.9	3345122.8
3888725.1	4299442.2	4720793.8	5153057.9	5596519.8	6051472.1	6518215.5	6997058.3	7488317.0	7992316.5

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.25. Tipo de tráfico vs mantenimiento**Fuente:** Elaboración Propia

En la gráfica se muestra como varia el crecimiento del tráfico para cada año y así podemos determinar los periodos de años en que podemos realizar el mantenimiento del pavimento de acuerdo al tipo de tráfico liviano, mediano y pesado en la gráfica se logra apreciar el tráfico pesado ya que en este tramo a comparación del tramo de la avenida el tráfico pesado es mayor y se lo toma en cuenta ya que es el que más daño le causa a losa de hormigón

d) Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento de la avenida circunvalación entre calle Froilán Tejerina y avenida Panamericana propone que la mejor opción será la construcción con pavimento rígido, losa de hormigón hidráulica de 20.5 cm de espesor de subbase de 27 cm para los 20 años de vida útil, se entiende que su duración será mucho mayor si se sigue el programa de mantenimiento.

De acuerdo con este programa de mantenimiento se deben realizar las siguientes actividades durante el periodo de vida útil del pavimento:

Tramo (avenida circunvalación entre calle Froilán Tejerina y avenida Panamericana)

Construcción de la losa de hormigón hidráulico entre los años 2015 al 2018

Mantenimiento rutinario todos los años del 2019 al 2037

Sellado de juntas los años 2020, 2023, 2026, 2029, 2032, 2035 y 2037

Cepillado de losas los años 2021, 2025, 2029, 2033, 2037

Reposición de losas 2023,2027,2031 y 2035.

e) Conclusiones del programa de mantenimiento

En la ejecución de la alternativa sugerida se debe tener en cuenta lo siguiente:

El presente programa está basado en la proyección de tráfico y en la calidad de los materiales que se van a usar en su construcción como la capa sub base y la losa de hormigón, pero sobre todo en la calidad de la subrasante ya que de esta depende el diseño de cada una de las capas mencionadas anteriormente.

Los estándares de mantenimiento seleccionados permiten que el mantenimiento se reduzca a las tareas rutinarias y operaciones periódicas de poca significación, en la realidad pueden darse requerimientos de otras actividades dependiendo de imponderables, así como posibles fallas constructivas.

Este tramo es el que más mantenimiento periódico va a necesitar debido a que las cargas que va ejercer el tráfico pesado sobre la losa de hormigón van a ser grandes y va ser más propenso a presentar fallas.

4.5. Diseño del tramo (Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y avenida Padilla)

Datos de diseño:

$M_r = 4.0 \text{ MPa}$

$K = 99.91 \text{ MPa/m.}$

Factor de seguridad de carga = 1.15

Factor de mayoración de repeticiones = 1.15

El diseño contempla bermas, las cuales son los bordillos de la avenida

El diseño contempla pasadores

Espesor de la losa = 190 mm (adoptado)

El diseño se lo realiza en el programa BS-PCA.

Fig. 4.26. Introducción de datos al programa tramo 2

Fuente: Elaboración Propia

Una vez colocado los datos de módulo de reacción, módulo de rotura, factor de seguridad, factor de mayoración y habilitar la opción de bermas y pasadores se procede a colocar los datos de espectro de cargas calculados para ejes simples ya que en este tramo no se observó un tráfico que tenga ejes tándem o tridem.

Fig. 4.27. Ejes simples tramo 2

#	Carga Eje (Tr)	Repeticiones Esperadas
1	0.9	71329519
2	1.1	9045009
3	1.2	5508722
4	3.5	17234175
5	5	767765
6	7	256176
7	9	767765
8	11	256176
9		
10		
11		

Fuente: Elaboración propia

4.5.1. Programa de mantenimiento tramo (avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y avenida Padilla)

a) Mantenimiento rutinario

Un seguimiento continuo y sistemático, para definir un mantenimiento correcto y oportuno, permitirá determinar la frecuencia requerida para la reparación de los deterioros. El objetivo principal es evitar su posterior evolución generando situaciones de riesgo a la estructura del camino.

Todo trabajo de mantenimiento es generado por los elementos que constituyen una carretera, conocida la extensión física del elemento, será fácil determinar el alcance de los trabajos que se deberán realizar en un determinado elemento para su restauración o reposición de acuerdo con lo que establecen las normas de ejecución; en otras palabras, las cantidades de obra requeridas en los trabajos de mantenimiento para la conservación de cada uno de los elementos de la carretera.

Todos los años se realizarán las siguientes actividades de conservación de la carretera, Incluye solo aquellas operaciones que afectan directamente a la superficie de rodadura o a su capacidad portante tales como limpieza de calzada y bermas.

b) Mantenimiento periódico

El mantenimiento periódico se efectúa cada cierto tiempo para que la calzada mantenga las mejores condiciones posibles de servicio durante su vida útil, esto impone la necesidad de realizar trabajos de impermeabilización y reparación en forma integral. Significa un seguimiento continuo y sistemático del estado de la condición superficial, por lo menos dos veces al año, considerando que como resultado de dichos relevamientos se definirá la necesidad o no de algún tipo de operación a ejecutar. Esta evaluación debe realizarse después de cada periodo de lluvias (diciembre a marzo) y después del periodo en que se registran las temperaturas más rigurosas (junio a agosto), periodos donde se podrá obtener un mejor registro de los deterioros de la calzada. Con los resultados de esta evaluación se pueden definir los periodos de ejecución de cualquiera de las medidas correctivas.

Si bien la evaluación del estado de la condición superficial define el momento oportuno de efectuar la operación adecuada, se puede asumir en una primera instancia que el tipo de mantenimiento a efectuar por el bajo volumen de tráfico que soportará será atendido con las operaciones siguientes:

Impermeabilización de la superficie de rodamiento mediante el sellado de juntas.

Reparación y restauración parcial y/o total de losas de acuerdo a requerimiento, para aumentar la resistencia del pavimento y restaurar la superficie de rodadura disminuyendo rugosidad y eliminando deformaciones.

Cepillado de losas para corregir deformaciones por desplazamientos de una losa con respecto a otra.

La primera consiste en un sello de las juntas constructivas del pavimento con material asfáltico o plástico sustituyendo los sellos anteriores que se hubieran deteriorado, esta operación impide la penetración del agua a las capas inferiores evitando su deterioro y la falta de soporte para la losa, se evitan los problemas de bombeo.

La segunda es la reparación de las losas dañadas, que según sea la magnitud de este daño podrán ser parcial o totalmente reconstruidas, esto permite el mantenimiento de

la superficie de rodadura en buenas condiciones y evitar el deterioro acelerado del pavimento.

c) Relación entre el diseño y el mantenimiento

Proyección del tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.14. Parámetros de diseño

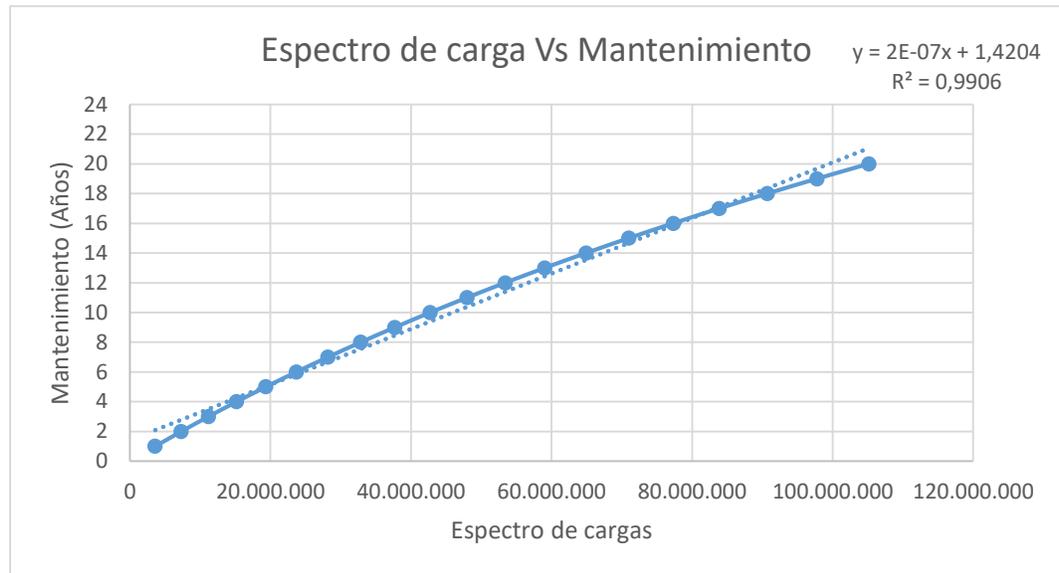
Parámetros de diseño		unidad
Módulo de rotura	4	Mpa
Módulo de reacción combinado	99.91	Mpa/m
Factor de seguridad	1.15	
Factor de mayoración de repeticiones	1.15	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 4.15. Datos de tráfico

Año	Espectro de carga
1	3,582,402
2	7,303,041
3	11,167,272
4	15,180,659
5	19,348,980
6	23,678,239
7	28,174,675
8	32,844,767
9	37,695,247
10	42,733,109
11	47,965,619
12	53,400,326
13	59,045,072
14	64,908,003
15	70,997,585
16	77,322,612
17	83,892,219
18	90,715,899
19	97,803,513
20	105,165,306

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.28. Espectro de carga Vs mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

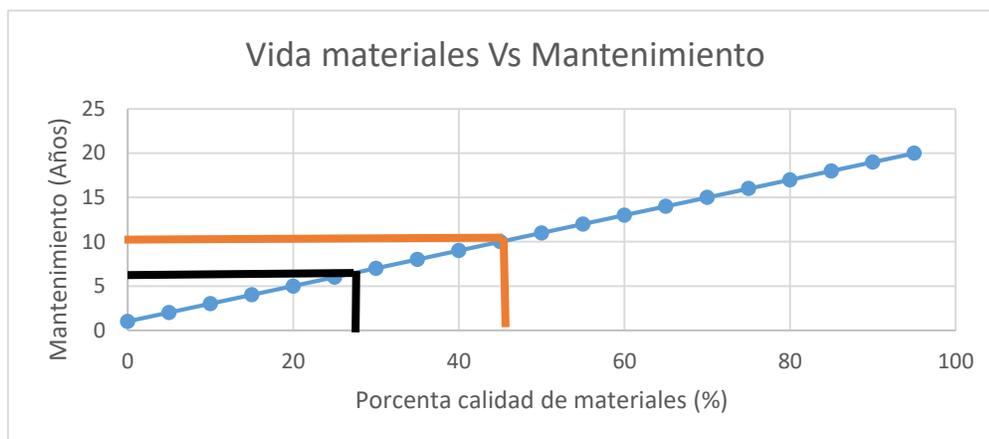
En la gráfica se observa el crecimiento del espectro de carga así podemos obtener un aproximado del tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento para los diferentes espectros de cargas.

Proyección de la vida de materiales Vs mantenimiento

Tabla. 4.16. Datos capas

Capa	Espesor	Unidad	%
Sub rasante mejorada	19	cm	27.14
Capa sub base	32	cm	45.71
Espesor de la losa	19	cm	27.14
Total	70	cm	100

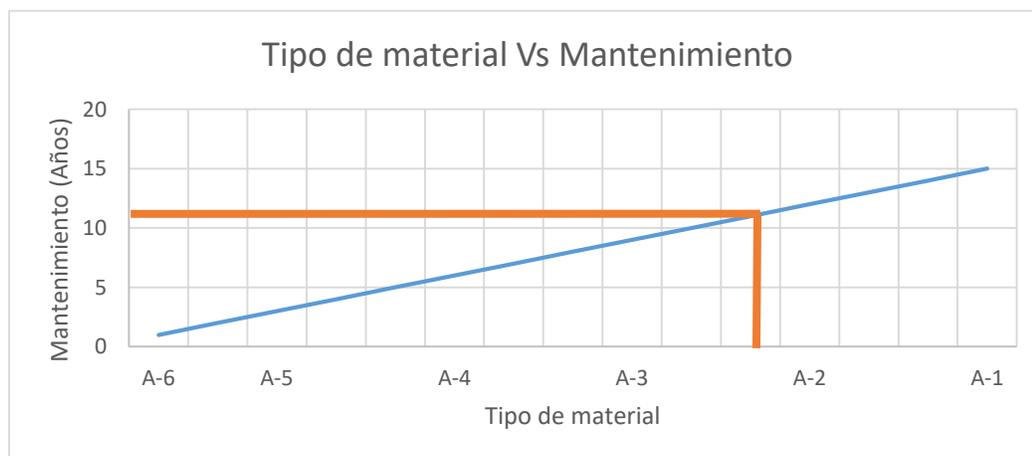
Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.29. Vida material Vs mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica podemos observar en que tiempo podemos realizar el mantenimiento para cada una de las capas en este tramo se dio el caso en el que la sub base y la losa tiene el mismo espesor, los espesores ya vienen dados según norma puesto que estos dependen de la calidad de material y el tipo de suelo que tenga la sub rasante

Tipo de materiales (sub rasante mejorada) Vs mantenimiento

Fig. 4.30. Tipo de material Vs mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se puede observar el tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento de acuerdo al tipo de material que se tiene en la sub rasante que en este tramo se obtuvo la clasificación de suelo A-2-4 (Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas).

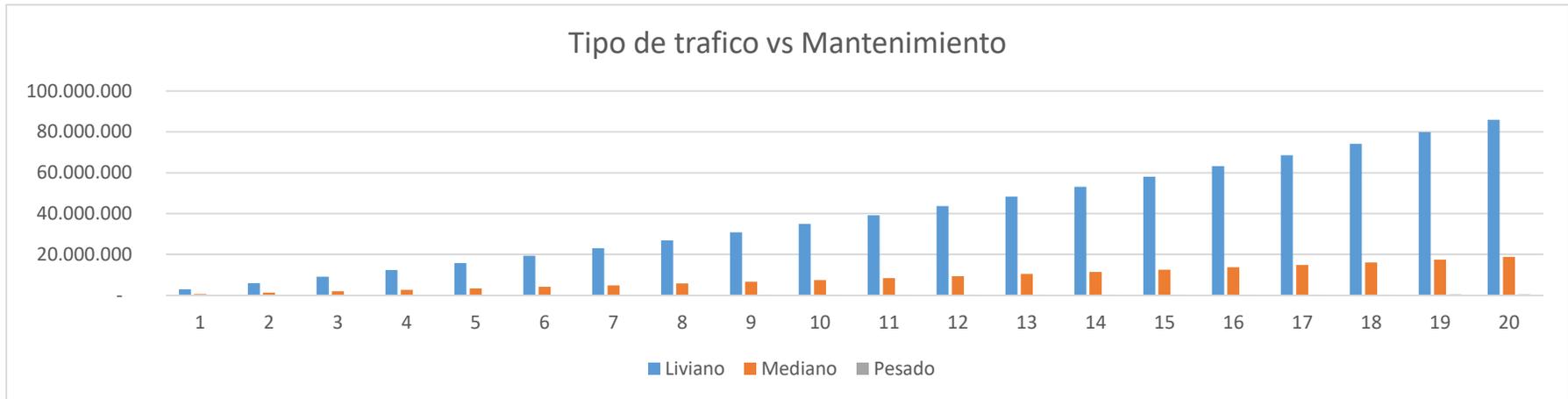
Tipo de tráfico Vs mantenimiento

Tabla. 4.17. Tipos de tráfico

Trafico	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Liviano	2936790	5985902.8	9151637	12438456	15850994.1	19394063.1	23072658.9	26891969.1	30857379.6	34974483
Mediano	625756	1276910.0	1954505.1	2659627.1	3393407.0	4157022.7	4951700.6	5778718.2	6639405.7	7535148.4
Pesado	19856	40228.2	61130.2	82575.6	104578.5	127153.6	150315.6	174079.8	198461.8	223477.9

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
39249085.8	43687217.2	48295137.1	53079345.3	58046590.8	63203880.7	68558491.1	74117976.5	79890181	85883249
8467389.3	9437630.8	10447437.9	11498440.4	12592335.5	13730891.1	14915948.3	16149424.5	17433316.8	18769705.1
249144.3	275478.0	302496.5	330217.4	358659.0	387840.2	417780.0	448498.3	480015.2	512351.639

Fuente: Elaboración Propia

Fig. 4.31. Tipo de tráfico Vs mantenimiento

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se muestra como varia el crecimiento del tráfico para cada año y así podemos determinar los periodos de años en que podemos realizar el mantenimiento del pavimento de acuerdo al tipo de tráfico liviano, mediano y pesado en la gráfica no se logra apreciar el tráfico pesado ya que en este tramo a comparación del tráfico liviano y mediano el tráfico pesado es mínimo.

d) Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento de la Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y Avenida Padilla propone que la mejor opción será la construcción con pavimento rígido, losa de hormigón hidráulica de 19 cm de espesor de subbase de 32 cm para los 20 años de vida útil, se entiende que su duración será mucho mayor si se sigue el programa de mantenimiento.

De acuerdo con este programa de mantenimiento se deben realizar las siguientes actividades durante el periodo de vida útil del pavimento:

Tramo (Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y Avenida Padilla)

Construcción de la losa de hormigón hidráulico entre los años 2015 al 2018

Mantenimiento rutinario todos los años del 2019 al 2037

Sellado de juntas los años 2020, 2026, 2032 y 2037

Cepillado de losas los años 2021, 2025, 2029, 2033 y 2037

Reposición de losas 2027 y 2035.

e) Conclusiones del programa de mantenimiento

En la ejecución de la alternativa sugerida se debe tener en cuenta lo siguiente:

El programa presente está basado en la proyección de tráfico y en la calidad de los materiales que se van a usar en su construcción como la capa sub base y la losa de hormigón, pero sobre todo en la calidad de la subrasante ya que de esta depende el diseño de cada una de las capas mencionadas anteriormente.

Los estándares de mantenimiento seleccionados permiten que el mantenimiento se reduzca a la tareas rutinarias y operaciones periódicas de poca significación, en la

realidad pueden darse requerimientos de otras actividades dependiendo de imponderables, así como posibles fallas constructivas.

En este tramo el mantenimiento va ser en periodos más largos ya que el tráfico pesado que circula por el tramo es mínimo ya que por el tramo circulan mayormente tráfico liviano y mediano.

4.6. CAMINOS DE TIERRA

4.6.1. Diseño del tramo (Pampa Redonda – Puesto Tunal)

Primer Análisis (Suelo Natural)

Las características del suelo que será estudiado son las siguientes:

Sub rasante

mejorada: Suelo A-1-a (0)

Valor de Soporte CBR (%) al 95% MDS: 24.86 %

Carga por eje: 18 Kips: 80 KN

Carga por rueda: 9000 lbs



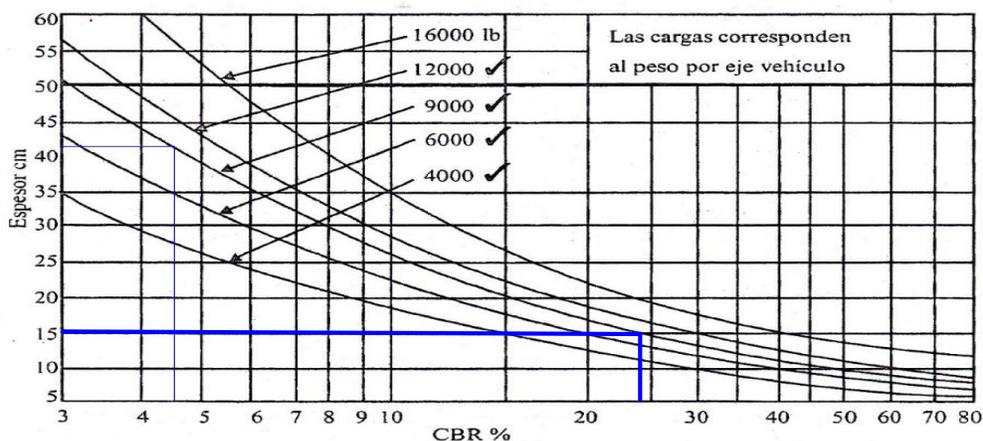
Donde: H: Altura de la sub rasante mejorada

Inicialmente tomamos el valor del CBR correspondiente a la sub rasante para predeterminar una altura inicial del paquete estructural:

CBR sub ras mejorada: 24.86 %

Ht: 15 (cm)

Fig. 4.32. CBR Vs espesor



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto: se define el siguiente espesor de acuerdo a lo establecido por la normativa vigente del país.

$$H_t = 15 \text{ cm}$$

4.6.2. Programa de mantenimiento tramo (Pampa redonda – Puesto tunal)

a) Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se ejecutan en forma permanente y sistemática a lo largo de la calzada y en las zonas aledañas, que consiste en la reparación de pequeños defectos en la superficie de rodadura, limpieza de bermas y señalización, el mantenimiento de los sistemas de drenaje con actividades como limpieza de cunetas, descoles, alcantarillas y demás obras, remoción de pequeños derrumbes, rocería de taludes y zonas laterales o bordes; y que se realizan con mucha frecuencia en los diferentes tramos de la vía. Debe ser de carácter preventivo y la finalidad principal es la conservación de todos los elementos de la vía con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones iguales o similares que tenía después de la construcción o la rehabilitación. Se aplica con regularidad una o más veces al año, dependiendo de las condiciones específicas de la vía. Lo expuesto anteriormente nos indica que debemos

cambiar el pensamiento de realizar labores de corrección (reparar lo dañado), por labores de prevención (evitar que se dañe).

b) Mantenimiento periódico

Se realiza este mantenimiento con el objetivo de mantener las condiciones de transitabilidad de la vía en todo el año, contrarrestar el deterioro en la superficie de rodamiento, producido por la acción erosiva del agua y el paso de los vehículos que utilizan los caminos, proporcionar a los usuarios, caminos que presten condiciones aceptables de comodidad y seguridad.

Alisado de superficie de rodamiento: Actividad que consiste en mejorar las carreteras no pavimentadas, a través del alisado superficial de los materiales que ofrece la superficie y tiene como propósito eliminar los deterioros menores en la superficie de la carretera y retirar el material suelto; generando con esto una superficie mejor para el tráfico.

Relleno de baches en superficies no pavimentadas: Esta actividad de conservación consiste en corregir puntos críticos en la superficie de rodamiento, antes de la reconstrucción con la moto niveladora, agregando grava nueva (balasto). El bacheo también se puede usar para reparar zonas desgastadas o erosionadas o se puede usar para restaurar zonas que se reblandecen durante el invierno y tiene como propósito reparar zonas relativamente pequeñas de la carretera que presentan grandes dificultades al tránsito vehicular. El bacheo se usa para corregir, baches profundos, ahuellamientos, reblandecimiento, surcos por erosión, etc.

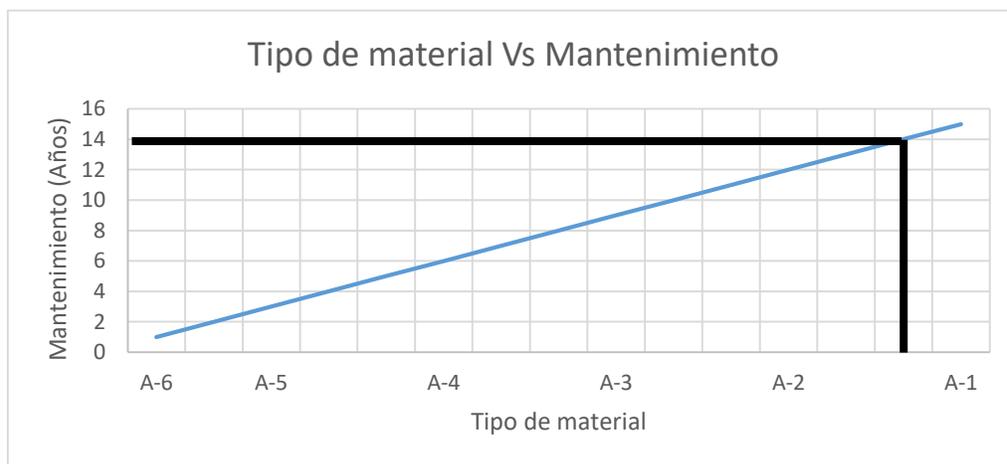
Conformación: Consiste en el reacomodo de los materiales, nivelar y eliminar cualquier desperfecto en la superficie de rodadura en carreteras que posean como mínimo 15 cm. De espesor de grava (balasto) existente, con el objetivo de mantener el perfil del camino en condiciones adecuadas de transitabilidad. Una carretera con superficie horizontal o cóncava recogerá agua. El tráfico y el agua, conjuntamente, causaran pronto baches e irregularidades y tiene como propósito restablecer la pendiente transversal o bombeo volviendo a colocar en la parte central de la carretera

el material desplazado a los laterales y a los hombros. Con esos se hará posible que circule el agua con factibilidad hacia el exterior.

c) Relación entre el diseño y el mantenimiento

Tipo de material Vs mantenimiento

Fig. 4.33. Tipo de material Vs mantenimiento



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar el tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento de acuerdo al tipo de material que se tiene en la sub rasante que en este tramo se obtuvo la clasificación de suelo A-1-a (Predomina la piedra y grava, casi no tiene ligante).

d) Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento del camino de tierra Pampa redonda – Puesto tunal propone que la mejor opción será el mejoramiento de la subrasante de 15 cm de espesor.

De acuerdo con este programa de mantenimiento se deben realizar las siguientes actividades durante el periodo de vida útil del pavimento:

Tramo (Pampa Redonda – Puesto Tunal)

Construcción de sub rasante mejorada entre los años 2017 al 2018

Mantenimiento rutinario todos los años

Alisado de superficie de rodamiento todos los años

Relleno de baches en superficies no pavimentadas todos los años

Conformación cada 7 años

e) Conclusiones del programa de mantenimiento

En la ejecución de la alternativa sugerida se debe tener en cuenta lo siguiente:

El programa presente está basado en la calidad de los materiales que se van a usar en su construcción de la sub rasante mejorada.

Los caminos de tierra son los que necesitan más mantenimiento rutinario y periódico ya que son los más frágiles de todos los que se vieron anteriormente.

4.7. DISEÑO DEL TRAMO (PUESTO TUNAL – BARABASCULLO)

Primer Análisis (Suelo Natural)

Las características del suelo que será estudiado son las siguientes:

Sub rasante

mejorada:

Suelo A-1-a (0)

Valor de Soporte CBR (%) al 95% MDS:

23.63 %

Para el análisis se tomará una carga por eje estándar correspondiente a los estudios realizados

y plasmados por la AASTHO 93, cuyo valor es:

Carga por eje:

18 Kips: 80 KN

Carga por rueda:

9000 lbs



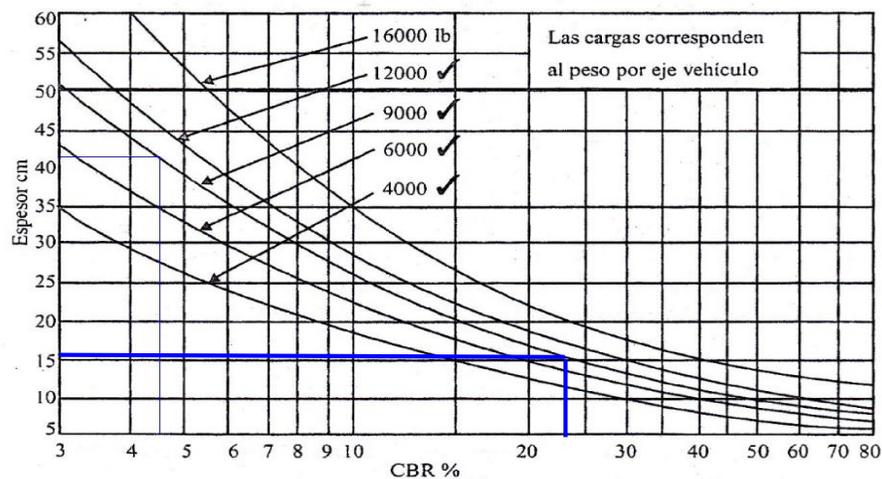
Donde: Ht: Altura de la sub rasante mejorada

Inicialmente tomamos el valor del CBR correspondiente a la sub rasante para predeterminar una altura inicial del paquete estructural:

CBR sub ras mejorada: 23.63 %

Ht: 16 (cm)

Fig. 4.34. CBR vs espesor tramo 2



Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto: se define el siguiente espesor de acuerdo a lo establecido por la normativa vigente del país $H_t = 16$ cm.

4.7.1. Programa de mantenimiento tramo (Puesto Tunal – Barbascullo)

a) Mantenimiento rutinario

El mantenimiento rutinario es el conjunto de actividades que se ejecutan en forma permanente y sistemática a lo largo de la calzada y en las zonas aledañas, que consiste en la reparación de pequeños defectos en la superficie de rodadura, limpieza de bermas y señalización, el mantenimiento de los sistemas de drenaje con actividades como limpieza de cunetas, descoles, alcantarillas y demás obras, remoción de pequeños derrumbes, rocería de taludes y zonas laterales o bordes; y que se realizan con mucha frecuencia en los diferentes tramos de la vía. Debe ser de carácter preventivo y la finalidad principal es la conservación de todos los elementos de la vía con la mínima cantidad de alteraciones o de daños y, en lo posible, conservando las condiciones iguales o similares que tenía después de la construcción o la rehabilitación. Se aplica con regularidad una o más veces al año, dependiendo de las condiciones específicas de la vía. Lo expuesto anteriormente nos indica que debemos cambiar el pensamiento de realizar labores de corrección (reparar lo dañado), por labores de prevención (evitar que se dañe).

b) Mantenimiento periódico

Se realiza este mantenimiento con el objetivo de mantener las condiciones de transitabilidad de la vía en todo el año, contrarrestar el deterioro en la superficie de rodamiento, producido por la acción erosiva del agua y el paso de los vehículos que utilizan los caminos, proporcionar a los usuarios, caminos que presten condiciones aceptables de comodidad y seguridad.

Alisado de superficie de rodamiento: Actividad que consiste en mejorar las carreteras no pavimentadas, a través del alisado superficial de los materiales que ofrece la superficie y tiene como propósito eliminar los deterioros menores en la

superficie de la carretera y retirar el material suelto; generando con esto una superficie mejor para el tráfico.

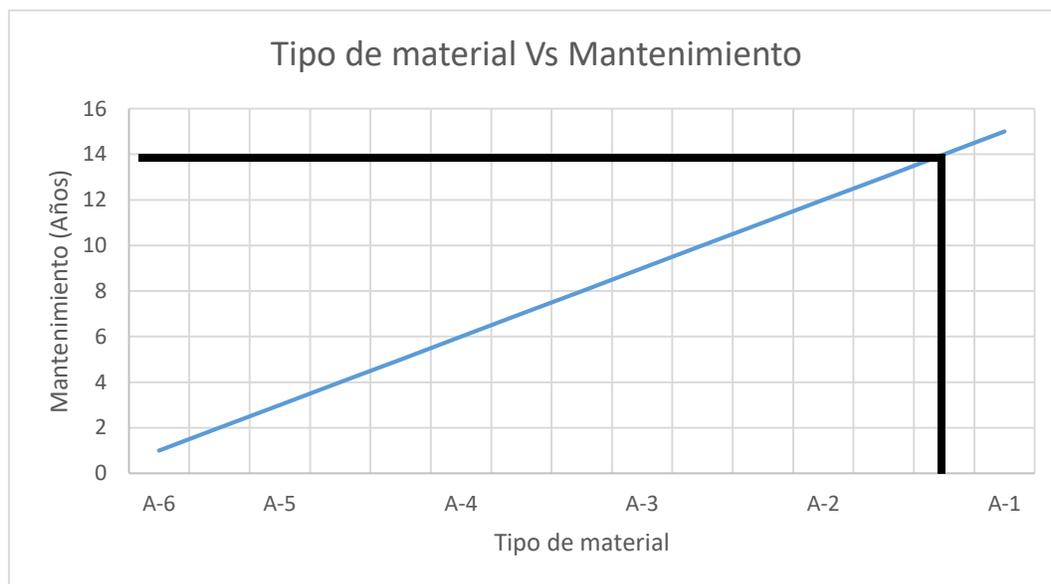
Relleno de baches en superficies no pavimentadas: Esta actividad de conservación consiste en corregir puntos críticos en la superficie de rodamiento, antes de la reconstrucción con la moto niveladora, agregando grava nueva (balasto). El bacheo también se puede usar para reparar zonas desgastadas o erosionadas o se puede usar para restaurar zonas que se reblandecen durante el invierno y tiene como propósito reparar zonas relativamente pequeñas de la carretera que presentan grandes dificultades al tránsito vehicular. El bacheo se usa para corregir, baches profundos, ahuellamientos, reblandecimiento, surcos por erosión, etc.

Conformación: Consiste en el reacomodo de los materiales, nivelar y eliminar cualquier desperfecto en la superficie de rodadura en carreteras que posean como mínimo 15 cm. De espesor de grava (balasto) existente, con el objetivo de mantener el perfil del camino en condiciones adecuadas de transitabilidad. Una carretera con superficie horizontal o cóncava recogerá agua. El tráfico y el agua, conjuntamente, causaran pronto baches e irregularidades y tiene como propósito restablecer la pendiente transversal o bombeo volviendo a colocar en la parte central de la carretera el material desplazado a los laterales y a los hombros. Con esos se hará posible que circules el agua con factibilidad hacia el exterior.

c) Relación entre el diseño y el mantenimiento

Tipo de material vs mantenimiento

Fig. 4.35. Tipo de material Vs mantenimiento



Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se puede observar el tiempo en el que se debe realizar el mantenimiento de acuerdo al tipo de material que se tiene en la sub rasante que en este tramo se obtuvo la clasificación de suelo A-1-a (Predomina la piedra y grava, casi no tiene ligante).

d) Programa de mantenimiento

El programa de mantenimiento del camino de tierra Puesto tunal – Barbascullo propone que la mejor opción será el mejoramiento de la subrasante de 16 cm de espesor.

De acuerdo con este programa de mantenimiento se deben realizar las siguientes actividades durante el periodo de vida útil del pavimento:

Tramo (Puesto Tunal - Barbascullo)

Construcción de sub rasante mejorada entre los años 2017 al 2018

Mantenimiento rutinario todos los años

Alisado de superficie de rodamiento todos los años

Relleno de baches en superficies no pavimentadas todos los años

Conformación cada 7 años.

e) Conclusiones del programa de mantenimiento

En la ejecución de la alternativa sugerida se debe tener en cuenta lo siguiente:

El programa presente está basado en la calidad de los materiales que se van a usar en su construcción de la sub rasante mejorada.

Los caminos de tierra son los que necesitan más mantenimiento rutinario y periódico ya que son los más frágiles de todos los que se vieron anteriormente.

4.8 RELACION ENTRE EL TRAFICO Y LA CALIDAD DE LOS MATERIALES DE LA SUBRASANTE CON LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO

La relación que existe entre el tráfico y la subrasante con los programas de mantenimiento se muestran a continuación.

Para trafico bajo:

Subrasante buena se requiere un mantenimiento menor.

Subrasante regular se requiere un mantenimiento regular.

Subrasante mala se requiere un mantenimiento mayor.

Para trafico medio:

Subrasante buena se requiere un mantenimiento regular.

Subrasante regular se requiere un mantenimiento mayor.

Para trafico alto:

Subrasante buena se requiere un mantenimiento regular.

De acuerdo al volumen de tráfico y a la calidad de la subrasante se pudo obtener el tipo de mantenimiento ya sea menor, regular o mayor que se debe utilizar para cada uno de los tramos en estudio tomando en cuenta el método de diseño de pavimento que se utilizó para diseñar el paquete estructural.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Al analizar los parámetros y resultados de los métodos AASHTO, PCA y CBR se pudo obtener el criterio necesario para poder realizar el ajuste de los programas de mantenimiento para cada uno de los tramos en estudio.
- Al analizar los programas de mantenimiento se pudo conocer los tipos de mantenimiento que intervienen en los programas de mantenimiento y los tiempos en los que se deben realizar las actividades de mantenimiento.
- Se pudo determinar los tramos de estudio utilizando 2 para pavimentos flexibles, 2 para pavimentos rígidos y 2 para caminos de tierra.
- Mediante la utilización de métodos de diseño de pavimentos (AASHTO, PCA, CBR) se obtuvo los espesores de cada capa para cada uno de los tramos y se pudo establecer una relación entre los parámetros diseño de tráfico y la calidad de los materiales con el mantenimiento y así poder realizar el ajuste de los programas de mantenimiento a los métodos PCA y AASHTO.
- Para los tramos de camino de tierra que se diseñaron con el método CBR solo se tomó en cuenta la calidad de los materiales para realizar el ajuste de programas de mantenimiento ya que el tráfico se asumió según norma.
- Se pudo encontrar una relación entre el volumen de tráfico y la calidad de la subrasante con los programas de mantenimiento.
- Se ajustaron los programas de mantenimiento a cada uno de los tramos indicando el tipo de mantenimiento y el periodo de tiempo en el que se debe realizar cada uno de estos.
- Se estableció que los parámetros necesarios para el ajuste de programas de mantenimiento son el tráfico y la calidad de los materiales ya que de este último depende el diseño de todo el paquete estructural.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar otros métodos de diseño de pavimentos que no se utilizan en un nuestro país para encontrar otras relaciones entre el diseño y los programas de mantenimiento.
- Se recomienda realizar una evaluación superficial del estado del pavimento una vez al año para verificar que se esté llevando a cabo el programa de mantenimiento.
- Se recomienda seguir paso a paso el programa de mantenimiento de cada uno de los tramos para asegurar que los pavimentos no tengan fallas a temprana edad y así cumplir con el periodo de útil para el que fue diseñado.
- Se recomienda que al llevar a cabo los programas de mantenimiento propuestos en este trabajo de grado se tome en cuenta que en la realidad pueden darse requerimientos de otras actividades dependiendo de imponderables, así como posibles fallas constructivas.