

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

Los pavimentos Whitetopping son capas de hormigón aplicadas directamente sobre la superficie del pavimento deteriorado, la técnica se denomina Whitetopping (Cubierta Blanca), y se diferencia de los demás pavimentos solamente por el color que posee.

Esta técnica usada para la rehabilitación de pavimentos nos ayuda a la corrección de la deformación en el asfalto, obteniendo así un pavimento con larga vida, bajo costo en mantenimiento y aplicación, seguridad al conductor y menor contaminación al ambiente. Las rehabilitaciones mediante capas de refuerzo adheridas son aquellas usadas para eliminar los deterioros superficiales y donde el pavimento existente presenta una buena condición estructural. Es esencial tener una buena adherencia entre capas, por lo tanto, se prepara la superficie donde se empleará la capa de hormigón y así lograr una estructura que trabaje monolíticamente.

Los pavimentos asfálticos tienen gran aplicabilidad en nuestro medio, y el costo que genera su mantenimiento son elevados ya sea por cualquier daño sufrido por el tráfico, clima y humedad del lugar. Esta técnica se desarrolló en Estados Unidos desde el año 1918, donde al comienzo fue usado en aeropuertos, autopistas, carreteras principales y secundarias, calles, etc. El concreto desde 1960 ha sido muy usado como alternativa para la reparación en los estados como California, Iowa y Utah.

La aplicación de los pavimentos Whitetopping se ha usado frecuentemente en los últimos años para la rehabilitación, esta técnica se ha ido innovando a lo largo de los años y nos permiten la rehabilitación de los estándares de diseño, reduciendo el impacto sobre los usuarios, tanto durante la ejecución, como durante su vida en servicio.

De acuerdo al espesor de la capa de hormigón, se tiene clasificaciones para esta técnica de rehabilitación de pavimentos. Si la capa es mayor a los 20 cm hablamos de un Whitetopping convencional, mientras que para espesores de 10 a 20 cm se denominan delgados y finalmente para espesores menores a 10 cm ultra delgados.

Con el presente trabajo se quiere explicar sobre el funcionamiento de la técnica Whitetopping y desarrollar una metodología de diseño para aplicarla en el tramo Canaletas – Entre Ríos de la ciudad de Tarija.

Se quiere mostrar la técnica del Whitetopping como una alternativa viable a la hora de rehabilitar los pavimentos deteriorados de asfalto. Además, conocer las ventajas del método, su bajo costo en comparación al pavimento común e incentivar su desarrollo investigativo en nuestro medio.

1.2 Justificación

A lo largo de la vida de un pavimento asfáltico es normal que se produzcan diferentes tipos de fallas, estas aparecen con mayor frecuencia en las vías de alto tránsito produciendo un mayor costo en su mantenimiento y generando incomodidades al usuario. El tramo Canaletas – Entre Ríos en estudio es parte fundamental de la vía principal al oriente Boliviano y con el tiempo los deterioros han ido incrementándose, por lo cual no se cuenta con proyectos para rehabilitar este tramo.

El uso de la tecnología en la actualidad es más frecuente cada día que pasa en cuanto a sobrecarpetas que pueden proporcionar mejores condiciones de la vía en la que las cargas y por fatiga han sido superadas, es de vital importancia aplicar estas nuevas tecnologías a nuestro medio para así brindar comodidad y seguridad al usuario al momento de transitar por las vías departamentales.

La implementación de la técnica del Whitetopping brinda un alargamiento de la vida útil, menores costos en la aplicación y también menor tiempo de ejecución, lo cual es una técnica viable que beneficia al usuario e impulsa el desarrollo, disminuyendo los costos de transporte y operación vehicular.

En lo académico es muy importante informarse sobre las nuevas tecnologías que surgen y verificar su aplicación, por lo tanto, este trabajo servirá para tener una mejor información de las metodologías usadas e intentar que su aplicación en nuestro medio sea más frecuente. Ya que comúnmente en nuestro medio no se aplica las capas de hormigón sobre un pavimento asfáltico, y por tanto teniendo este proyecto como

información base ayudará a proporcionar todas las herramientas necesarias para la aplicación.

1.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Situación problemática

En la actualidad para la solución de fallas en el asfalto el método más usado en nuestro medio son los recapados de asfalto que, si bien se corrige las fallas funcionales, las fallas estructurales que presentan permanecen a lo largo del tiempo por lo cual se presentará las mismas fallas que presentaba el pavimento original. El refuerzo de pavimento Whitetopping adherido tiene el propósito de agregar capacidad estructural y eliminar los deterioros que presenta el asfalto, trabajando como una estructura monolítica.

Dentro del tramo en estudio Canaletas – Entre Ríos se observó la existencia de varias fallas lo cual genera un costo muy grande para su rehabilitación. En los últimos años esta carretera ha ido incrementando su recurrencia ya que es una carretera principal para la comunicación con otros departamentos, se presenta gran solicitud de vehículos y sobrecarga que pueden producir fallas por término de la vida útil del pavimento.

El diseño de nuevas técnicas de rehabilitación como los pavimentos Whitetopping adheridos brindará una alternativa a tomar en cuenta, mejorando la capacidad estructural y funcional de la vía.

1.3.2 Problema

¿De qué manera, la técnica del Whitetopping puede ser una alternativa de rehabilitación en el tramo Canaletas – Entre Ríos?

1.3.3 Hipótesis

El refuerzo con Whitetopping mejora la condición actual del tramo Canaletas – Entre Ríos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Diseñar un pavimento Whitetopping adherido en el tramo Canaletas – Entre Ríos, previa evaluación superficial con PCI de tal manera que sea alternativa viable para el mejoramiento de la condición del pavimento.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudiar la fundamentación teórica de refuerzo Whitetopping.
- Realizar un relevamiento de la condición del tramo.
- Realizar una evaluación superficial mediante el método PCI.
- Determinar un análisis de tráfico.
- Determinar la viabilidad del refuerzo Whitetopping aplicado al tramo.
- Diseñar en forma óptima el Whitetopping en el tramo Canaletas – Entre Ríos.
- Establecer las condiciones técnicas de mejoramiento.
- Elaboración y propuesta de especificaciones de uso del Whitetopping.

1.5 Variables

1.5.1 Identificación de variables

Variable independiente. - No identificada no manipulable se presume varias, tiempo, lluvia, tráfico, etc.

Variable dependiente. - Nivel de condición superficial del pavimento.

1.5.2 Conceptualización

Tráfico. – Es la cantidad de solicitudes del tránsito expresada en números equivalentes de carga que debe soportar durante la vida útil el pavimento.

1.6 Alcance

Nivel Descriptivo. Tipo de diseño de investigación: Diseño Transeccional – Descriptivo.

El presente proyecto está destinado a buscar una alternativa para la rehabilitación en pavimentos asfálticos donde se aplicarán nuevos métodos poco usuales en nuestro medio

para así comparar los resultados con los métodos que se aplican comúnmente, estudiando toda la información y parámetros necesarios.

Se realizará una descripción del contenido del proyecto indicando los objetivos que se pretende llegar, el conocimiento previo que se debe tener para poder realizar correctamente este proyecto, los problemas que existen en nuestro medio y se buscan resolver, métodos y técnicas que realizaremos y una explicación del porque se lleva a cabo.

Se presentará una teoría que se tiene que manejar para poder tener una comprensión completa del proyecto. Se basa en los pavimentos asfálticos y las fallas que se pueden presentar comúnmente ya sea superficiales o estructurales, los parámetros a considerar para su diagnóstico y la aplicación del refuerzo de hormigón Whitetopping.

En la aplicación práctica se describirá el tema en estudio que son los pavimentos Whitetopping donde veremos cómo funcionan, sus ventajas y desventajas, los parámetros necesarios para aplicar y diseñar el nuevo refuerzo de hormigón.

Se empezará con la ubicación de la zona de estudio de donde se recogerán los datos para calcular los parámetros de diseño. Una valoración del estado de la zona de estudio para tener el criterio suficiente y seleccionar la metodología de diseño que mejor se adecúe a nuestro medio, para así obtener el espesor del nuevo pavimento de concreto hidráulico necesario.

Se analizará los resultados para poder tener conclusiones de aplicabilidad, donde veremos si esta nueva metodología de rehabilitación de pavimentos Whitetopping son factibles y recomendables para el uso en todo tipo de proyecto en nuestro medio.

CAPÍTULO II

REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CON WHITETOPPING

2.1 Pavimentos Asfálticos

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Se deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Las capas de un pavimento asfáltico suelen ser: capa superficial o capa de rodamiento que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa subbase es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base. En muchas ocasiones se prescinde de esa capa subbase.

El pavimento asfáltico debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tráfico, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las capas inferiores los esfuerzos por las cargas del tránsito.

2.2 Componentes en los pavimentos asfálticos

2.2.1 Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Los materiales que pueden ser empleados como subrasante serán de preferencia materiales de tipo granular, tales como: GW, GP, SW, SM, ML o incluso SC, siempre que la arcilla no sea de alta plasticidad.

Tabla N° 1. Características de calidad de la subrasante

Características	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Tamaño máximo (mm)	51	51	76
% de finos	15 máx.	25 máx.	10 mín.
Límite líquido %	25 máx.	30 máx.	40 máx.
Índice plástico %	6 máx.	10 máx.	15 máx.
Compactación %	100 mín.	100 mín.	95 mín.
Equivalente de arena %	45 mín.	30 mín.	
CBR %	40 mín.	30 mín.	30 mín.

Desgaste	30 máx.		
----------	---------	--	--

Fuente: Normas y Especificaciones 2012 INVIAS. Capítulo 2. Subrasante.

2.2.2 Subbase

Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y controlar la ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si este no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Entre otras funciones que debe cumplir la capa subbase es de incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante, proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

Tabla N° 2. Características de calidad de la subbase.

Ensayo	Requisitos
CBR, mínimo.	20
Valor R de resistencia, mínimo.	55
Límite líquido.	25
Índice de plasticidad, máximo.	06
Equivalente de arena, mínimo.	25

Fuente: Normas y Especificaciones 2012 INVIAS. Capítulo 3. Afirmados subbases y bases.

Tabla N° 3. Granulometría para la capa subbase

Tipo de gradación	Tamiz (mm/U.S. Standard)								
	50	37.5	25	12.5	9.5	4.75	2	0.425	0.075
	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
	% pasa								

SBG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SBG-38	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (\pm)	0 %	7 %				6 %			3 %

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Art-330. Capítulo 3. Afirmados de subbases y bases.

2.2.3 Base

Es una capa de material seleccionado y gradado que se coloca ya sea en una subrasante de muy alta especificación o sobre una capa de subbase. Los objetivos de esta capa son: Absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y, además, repartir uniformemente estos esfuerzos a la subbase y al terreno de fundación. Las bases pueden ser granulares, o bien estar formadas por mezclas bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

Por lo general, para la capa de base se emplea piedra triturada, grava o mezcla estabilizadas de suelo cemento, suelo bituminoso, etc.

Tabla N° 4. Requisitos para materiales de base granular

Ensayo	Tránsito reducido	Tránsito regular e intenso
CBR, mínimo.	80	100
Valor R de resistencia, mínimo.	78	80
Límite líquido.	25	25
Índice de plasticidad, máximo.	06	03
Equivalente de arena, mínimo.	30	50

Fuente: Normas y Especificaciones 2012 INVIAS. Capítulo 3. Afirmados subbases y bases.

Tabla N° 5. Granulometría para capa base

Tipo de gradación	TAMIZ (mm/U.S. Standard)							
	37.5	25	19	9.5	4.75	2	0.425	0.075
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	N° 4	N° 10	N° 40	N° 200
	% pasa							
Bases granulares de gradación gruesa								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	45-75	20-40	8-22	0-9
Bases granulares de gradación fina								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-15
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15
Tolerancias en producción sobre la fórmula de trabajo (±)	0 %	7 %			6 %			3 %

Fuente: Instituto Nacional de Vías. Especificaciones generales de construcción de carreteras. Art-330.

2.2.4 Capa de rodadura carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento asfáltico que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

Un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.

Deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.

La forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

2.3 Rehabilitación con Whitetopping

El recubrimiento de pavimentos asfálticos con concreto, a menudo denominado en los Estados Unidos “Whitetopping” (recubrimiento blanco) es una técnica que se viene practicando en ese país desde hace mucho tiempo. La primera aplicación registrada de este tipo de recubrimiento se remonta a la rehabilitación de una pista de aeronaves de la fuerza aérea norteamericana en la base de Offut, Estado de Nebraska USA, en 1944.

Esta técnica de rehabilitación de pavimentos, consiste en la construcción de una sobrecarpeta de concreto sobre el asfalto existente. Para diseñar la sobrecarpeta de concreto, se deben tener en cuenta las características estructurales y geométricas, la capacidad de soporte de la vía existente, así como un nuevo estudio de tráfico actual y futuro. En este caso se rediseña la vida útil de la vía. Este tipo de rehabilitación se utiliza cuando la vía existente presente un nivel de deterioro medio, con presencia de algunos huecos, que comprometen la integridad de la carpeta de rodadura.

Whitetopping es la alternativa más favorable para la rehabilitación de pavimentos de asfalto por medio de la colocación de una sobrecarpeta de concreto hidráulico adherida o no adherida. Desde hace algunos años, esta técnica se ha utilizado exitosamente en calles urbanas, caminos y principales aeropistas de Europa y Estados Unidos, sustituyendo para siempre el uso de pavimento asfáltico en los caminos de alto tráfico.

El pavimento de concreto proporciona una superficie más resistente y más durable que el asfalto. El concreto también mejora las características de drenaje superficial al eliminar desviaciones inseguras tales como las roderas y dislocamientos en los pavimentos de asfalto. Las sobrecarpetas de concreto colocadas encima del asfalto, proporcionan una superficie segura que dará muchos años de servicio a bajo costo y con mantenimiento mínimo.

2.4 Alternativas de capas de refuerzo Whitetopping

Existen dos opciones para las capas de refuerzo con hormigón: adheridas y no adheridas.

Las capas de refuerzo adheridas se incluyen como parte del espesor del pavimento, en tanto que los refuerzos no adheridos son esencialmente pavimentos nuevos construidos sobre una base estable (el pavimento existente).

Las opciones de refuerzo adherido requieren que el pavimento existente se encuentre en buenas condiciones estructurales. Permite eliminar deterioros superficiales, trabajando el nuevo refuerzo y el pavimento existente como un solo pavimento monolítico. Las opciones de refuerzo no adherido agregan capacidad estructural al pavimento existente, no siendo necesario que exista adherencia entre las capas.

Pueden colocarse sobre pavimentos en malas condiciones o incluso deteriorados, siempre que presenten uniformidad. Como se muestra en la Figura 1, tanto los refuerzos adheridos como los no adheridos, pueden colocarse sobre pavimentos asfálticos, compuestos o pavimentos de hormigón existentes.

Figura N° 1. Tipos de capas de refuerzo con hormigón



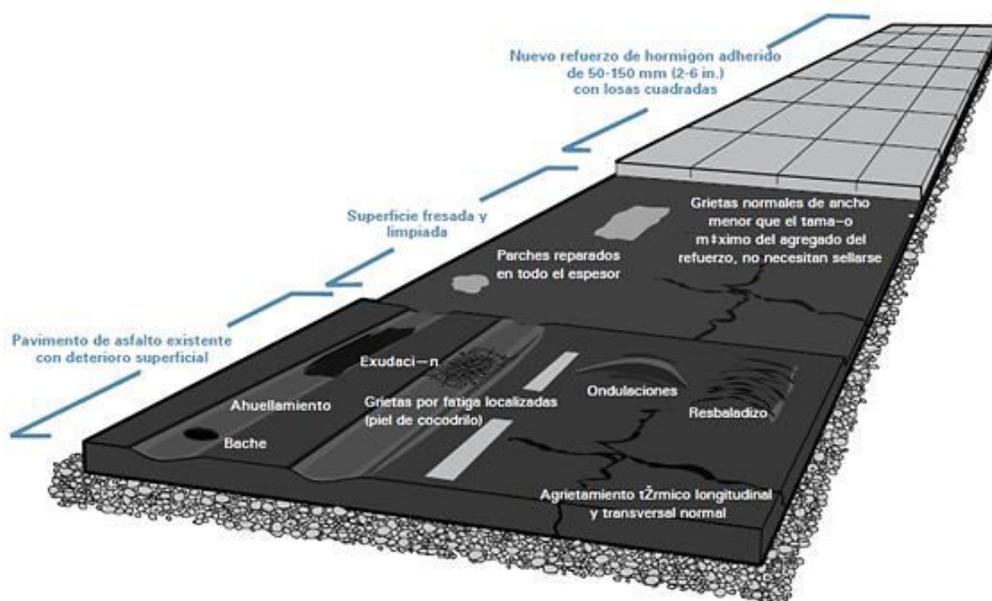
Fuente: Guía para capas de refuerzo con hormigón. Soluciones sustentables para capas de refuerzo y rehabilitación de pavimentos existentes. Tercera Edición, Mayo 2014.

2.4.1 Alternativa de capa de refuerzo adherida

El propósito de una capa de refuerzo adherida es agregar capacidad estructural y eliminar deterioros superficiales de pavimentos existentes, que presentan condiciones entre buenas y regulares. Generalmente, corresponden a rehabilitación superficial y que conceptualmente son parte del mantenimiento preventivo o rutinario o también de una rehabilitación menor.

Las capas de refuerzo con hormigón adherido son relativamente delgadas, 50 – 150 mm (2 – 6 in.). La capa de refuerzo y el pavimento existente, adheridos entre sí, trabajan como un pavimento monolítico. La adherencia entre la capa de refuerzo y el pavimento existente es esencial. La adherencia asegura que el refuerzo y el pavimento existente trabajen como una sola estructura, en la que el pavimento original continúa soportando una parte significativa de las cargas. Todos los proyectos de refuerzo adherido, se diseñan y construyen cuidadosamente para obtener y posteriormente mantener, la adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente.

Figura N° 2. Capa de refuerzo Whitetopping adheridas a pavimentos asfálticos



Fuente: Guía para capas de refuerzo con hormigón. Soluciones sustentables para capas de refuerzo y rehabilitación de pavimentos existentes. Tercera Edición, Mayo 2014.

Los factores que afectan el comportamiento de los pavimentos rehabilitados son la integridad estructural del pavimento subyacente, la efectividad de la adherencia, la capacidad de las dos capas de desplazarse monolíticamente manteniendo la adherencia y la distribución de las juntas y técnicas de curado del refuerzo.

La clave para lograr el comportamiento deseado, es asegurar que las dos estructuras, el pavimento existente y la capa de refuerzo, se comporten como una sola. En consecuencia, es importante comprender las propiedades relacionadas con los desplazamientos que experimentan, tanto el pavimento existente como la capa de refuerzo, debido a expansiones y contracciones del hormigón.

La mayoría de los proyectos de refuerzo adherido presentan mayores desafíos que los proyectos de refuerzo no adherido.

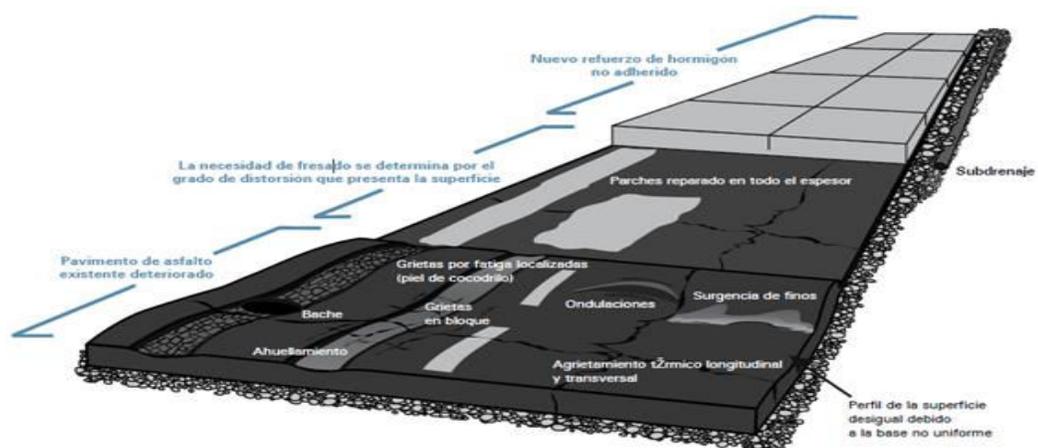
2.4.1.1 Aplicaciones y usos de capas de refuerzo Whitetopping adheridas

Capas de refuerzos con hormigón adheridas a pavimentos asfálticos:

- Son apropiados para caminos, calles e intersecciones con pavimento asfáltico en condiciones estructurales regulares o buenas, con deterioro típico como ahuellamiento, ondulaciones, condición resbaladiza, y agrietamiento térmico.
- Generalmente tienen entre 50-150 mm (2-6 in.) de espesor.
- Se basan en que el pavimento asfáltico existente proporciona capacidad adicional para soportar cargas y se adhieren al pavimento asfáltico existente para formar una estructura monolítica que por lo tanto, reduce las tensiones y deflexiones.
- Agregan capacidad estructural cuando las cargas del tránsito han aumentado o se proyecta un incremento de ellas.
- Eliminan problemas superficiales como ahuellamiento y ondulaciones.
- Mejoran las condiciones de la superficie (fricción, nivel de ruido y suavidad).
- Reducen el calentamiento urbano como resultado de aumentar la reflectancia de la superficie.

2.4.2 Alternativa de capa de refuerzo no adherida

Figura N° 3 Capa de refuerzo Whitetopping no adheridos a pavimentos asfálticos



Fuente: Guía para capas de refuerzo con hormigón. Soluciones sustentables para capas de refuerzo y rehabilitación de pavimentos existentes. Tercera Edición, Mayo 2014.

El propósito de la capa de refuerzo no adherida es restaurar la capacidad estructural de un pavimento existente que se encuentra en una condición de deterioro entre moderada y severa.

Las capas de refuerzo no adheridas pueden ser estrategias de rehabilitaciones menores o mayores. El término “no adherido” significa simplemente que la adherencia entre el refuerzo y el pavimento subyacente no es necesaria para lograr el comportamiento deseado; es decir, el método para determinar el espesor no considera al pavimento existente como un componente estructural de la capa superficial.

En consecuencia, el refuerzo se comporta como un pavimento nuevo, en tanto que el pavimento existente proporciona una base estable. Cuando el pavimento subyacente es de asfalto o de una estructura compuesta, la adherencia parcial o total entre el refuerzo de hormigón y la capa subyacente de asfalto, no debería causar problemas; de hecho, esa adherencia agrega al sistema alguna capacidad adicional para soportar las cargas. Por lo tanto, las capas de refuerzo con hormigón no adherido al pavimento asfáltico o al pavimento compuesto, no se diseñan, ni construyen procurando prevenir la adherencia entre las capas.

Sin embargo, cuando el pavimento subyacente es hormigón, los refuerzos con hormigón no adherido se diseñan y construyen cuidadosamente de manera de prevenir la adherencia entre las dos capas de hormigón. Esto es, porque cualquier adherencia entre las capas genera tensiones en el refuerzo, originado una reflexión de grietas no deseada.

2.4.2.1 Aplicaciones y usos de refuerzo Whitetopping no adherido

Refuerzos con hormigón no adherido de pavimentos asfálticos:

- Son apropiados para pavimentos asfálticos con deterioros significativos tales como ahuellamiento severo, baches, grietas tipo cocodrilo, subrasante/subbases con problemas, ondulaciones y surgencia de finos.
- Generalmente tienen entre 100-280 mm (4-11 in.) de espesor (pavimentos con o sin armadura).
- Esencialmente se diseñan como un pavimento de hormigón nuevo sobre una base estable, suponiendo una condición de no adherencia entre las capas.
- Restituyen o aumentan la capacidad estructural del pavimento existente.
- Eliminan problemas superficiales como ahuellamiento y ondulaciones.

- Mejoran las condiciones de la superficie (fricción, ruido y suavidad).
- Reducen el efecto de calentamiento urbano como resultado de aumentar la reflectancia de la superficie.

2.5 Cuando usar Whitetopping y sus ventajas

Generalmente al hablar de recubrimientos Whitetopping se piensa en usarlo sobre asfalto que presenta fallas tales como ahuellamiento, desplazamientos y otras fallas superficiales. Un pavimento asfáltico dañado severamente con un importante deterioro estructural, con problemas en las bases o subbases, malas condiciones de drenaje, desmoronamiento de áridos, no es un buen candidato para ser reparado con Whitetopping. El pavimento a rehabilitar requiere de un mínimo espesor del asfalto después de haber fresado la superficie, para así entregar un buen soporte al hormigón.

La tecnología Whitetopping tiene impacto social y económico entre sus usuarios, ya que dentro de los costos que se deben tener en cuenta para la selección de una alternativa en la construcción y/o rehabilitación de un camino están los siguientes:

Costo de construcción inicial, geometría del camino, diseño del pavimento y drenajes.

Costo por deterioro y conservación (por tipo y por rugosidad).

Menor costo que la rehabilitación con asfalto, considerando su ciclo de vida.

Costo del usuario (costo de operación de los vehículos, consumo de combustibles, tiempos de recorrido y accidentes).

Lo anterior muestra las ventajas ante el costo como consideración importante pero otras ventajas serían las siguientes:

Se puede aplicar sobre carpetas asfálticas que exhiban cualquier condición de deterioro superficial.

No se necesitan trabajos en extracción de material en capas del pavimento existente ya que es apoyado directamente sobre la carpeta asfáltica.

Se requiere una mínima preparación de baches existentes, así como el lavado de la carpeta, previo a la construcción de la losa de concreto.

Las sobrecarpetas de concreto Whitetopping son particularmente efectivas donde las restricciones presupuestales y los altos niveles de tránsito hacen que las interrupciones en el tráfico y las actividades de mantenimiento frecuente sean intolerables.

La vida útil del camino se incrementa entre 10 y 15 años, disminuyendo drásticamente los costos de mantenimiento. Se incrementa notablemente la luminosidad del camino, reduciendo incluso, los gastos de iluminación nocturna.

Su durabilidad reduce mantenimientos rutinarios por lo que a largo plazo representa un menor costo que el asfalto, también por su diseño de cortes en bloques representa menos costos para el mantenimiento de instalaciones subterráneas, mejor reflexión de luz tanto en la noche como en el día, su planicidad elimina el golpeteo por lo que da más confort al circular.

Una más de las ventajas para usar sobrecarpetas es el esparcimiento reducido (de 0.60 a 2m) que hace que la losa deflexione en lugar de flexionarse, por lo tanto, los esfuerzos por flexión se reducen a un mínimo. Y una de las principales ventajas que se pueden citar es la de que se puede lograr una apertura al tráfico de 24 a 72 horas de colocada la sobrecarpeta.

2.6 Evaluación de los pavimentos para solución con Whitetopping

Para diseñar el espesor del recubrimiento de hormigón Whitetopping debe hacerse una evaluación de las condiciones existentes en el pavimento deteriorado para tener la seguridad de recomendar el uso del Whitetopping y la factibilidad técnica de su aplicación.

Esta evaluación debe contemplar la mayor información del camino, que incluye una evaluación visual de las condiciones del pavimento mediante la aplicación del método PCI, medición del ahuellamiento, extracción de testigos para determinar los espesores y características de los materiales de las capas existentes, ejecución de calicatas, que permitan estimar el módulo de reacción k de la subrasante del pavimento existente, mediante correlación con ensayo de CBR, así como la determinación del tránsito (volumen y características) de los vehículos que circulan y las condiciones de drenaje.

La evaluación de las condiciones que presenta el pavimento existente es parte importante del proceso de preservación y rehabilitación.

Una evaluación completa entrega información valiosa sobre las condiciones que presenta el pavimento, su capacidad de servicio y sus limitaciones. En consecuencia, debe incluir lo siguiente:

Identificación in situ de todas las capas que conforman el pavimento.

Características y comportamiento de los materiales que conforman el pavimento.

Presencia, tipo y extensión de deterioros.

Condición estructural y capacidad para soportar cargas.

Características funcionales del pavimento, tales como condiciones de la rasante, rugosidad, fricción y nivel de ruido.

Se deben desarrollar varias actividades como parte del proceso de evaluación. Algunas varían de proyecto a proyecto, dependiendo del tipo y su importancia relativa. Con el propósito de determinar si un pavimento es o no un buen candidato para ser reforzado, el proceso puede dividirse en los siguientes pasos obligatorios y optativos. Las siguientes actividades de evaluación son obligatorias:

Recolección de antecedentes históricos, revisión de archivos y proyecciones futuras (revisión de gabinete).

Revisión visual (revisión en el terreno).

Análisis de muestras.

Informe de evaluación del pavimento.

La evaluación concluye con una monografía o informe que muestra la condición general del pavimento.

Después de evaluar cuidadosamente un pavimento, se procede a seleccionar la solución.

En muchos casos, resultan apropiados y efectivos, tanto refuerzos con hormigón adherido como no adherido. Cuando para un pavimento no resulta apropiado un refuerzo con hormigón, se discuten otras opciones de tratamientos.

2.6.1 Proceso de evaluación del pavimento existente

El propósito de evaluar las condiciones del pavimento existente es recopilar en detalle todos los deterioros y problemas de comportamiento que pudieran existir y determinar sus causas. Esta información ayudara a la agencia propietaria a determinar si el pavimento es un buen candidato para ser reforzado con hormigón y si es así, la extensión

de las reparaciones puntuales requeridas antes de construir el refuerzo. La extensión de las reparaciones necesarias, es un factor importante para establecer cuándo un refuerzo adherido es una solución rentable.

La evaluación de las condiciones del pavimento existente involucra al menos tres pasos: El primer paso consiste en revisar el diseño histórico del pavimento y antecedentes sobre su comportamiento, espesor y otros atributos de diseño, materiales de la mezcla, y su dosificación, año y método de construcción, cargas del tránsito, vida de diseño, actividades de mantenimiento a la fecha, etc.

El segundo paso es un examen visual de las condiciones del pavimento, destacando el deterioro visible en la superficie y los deterioros estructurales mediante la aplicación del método PCI.

El tercer paso es un examen cuidadoso de la estructura del pavimento mediante el análisis de testigos. Este paso permitirá identificar problemas de deterioro o de comportamiento que no pueden determinarse solo con una inspección visual. El análisis de muestras permite verificar el espesor del pavimento, los materiales y espesores de la subbase/ subrasante y la profundidad y posiblemente, el tipo y causa del deterioro.

Basándose en la información recopilada en los pasos, debe considerarse si es necesario una evaluación adicional. Por ejemplo, podrían ser necesarios ensayos relacionados con los materiales o los deterioros por durabilidad, con problemas de soporte o con las condiciones superficiales.

Las carreteras importantes con alto tránsito de camiones y/o larga vida de servicio, requieren una evaluación más extensa y completa, que las carreteras con bajo volumen de tránsito.

Los resultados de todos los pasos iniciales de evaluación deben registrarse en una monografía o informe de la condición del proyecto. Este perfil ayuda a determinar la condición general del pavimento para resumirla en el informe de evaluación del pavimento.

2.6.1.1 Revisión de antecedentes históricos del pavimento existente

El primer paso es recopilar antecedentes en los archivos de la oficina y otras fuentes históricas relacionadas con el proyecto. El objetivo es recolectar tanta información del pavimento existente, como sea posible, tal como: datos originales de diseño,

antecedentes de la construcción, datos sobre la subrasante/ subbase, resultados de ensayos de los materiales, antecedentes del comportamiento y otros. Las posibles fuentes para este efecto son las siguientes:

Informes del diseño.

Planos/especificaciones de construcción (nuevo y rehabilitación).

Propiedades de los suelos y materiales obtenidos de programas previos de ensayos de laboratorio y/o informes emitidos.

Auscultaciones efectuadas al pavimento, ensayos no destructivos y/o investigaciones mediante muestreos destructivos.

Historial de reparaciones/mantenimiento.

Censos de tránsito/proyecciones.

Estudios ambientales/climáticos.

Informes del sistema de gestión de pavimentos.

La información recogida en esta fase se utiliza para dividir el pavimento en secciones discretas de características y comportamientos similares.

Esta fase incluye también determinar los requerimientos futuros para el comportamiento, tales como establecer las cargas del tránsito proyectado y la vida de diseño del refuerzo. Deben incluirse potenciales generadores de tránsito a futuro que pudieran impactar en el proceso de diseño del espesor.

2.6.1.2 Inspección visual del pavimento existente

Con la información histórica en la mano, la segunda etapa es una inspección visual en el terreno para obtener información inicial sobre el comportamiento del pavimento y factores causantes del deterioro. Existen varias metodologías para obtener una valoración del estado de un pavimento, el recomendado es el método del índice de condición del pavimento (PCI), dado que este método realiza una inspección a detalle de las fallas que presenta un pavimento.

2.6.1.3 Muestreo del pavimento

Con solo la inspección visual, puede resultar difícil determinar la(s) causa(s) y extensión del agrietamiento. El análisis de testigos puede complementar la información recogida con la inspección visual. Esto puede hacerse ya sea simultáneamente con la revisión en el

terreno o posteriormente. La localización y frecuencia del muestreo debe determinarse en base al deterioro detectado durante el examen visual.

Para evaluar el espesor de las capas y las condiciones del pavimento, deben obtenerse un mínimo de dos testigos por pista y por kilómetro.

Siempre que sea posible, los miembros del equipo de diseño deben estar presentes durante la extracción de muestras, de manera de observar las condiciones que presentan las capas del pavimento al momento de extraerlas.

Los testigos sirven para conocer el espesor de las capas y determinar el valor del soporte del pavimento, el tipo y condiciones de los materiales de las capas, la profundidad que alcanza el deterioro, si el pavimento existente es asfáltico de todo el espesor o es compuesto y las condiciones que presenta la liga entre capas. En pavimentos asfálticos y compuestos, es crítico evaluar la adherencia entre capas e identificar cuales se encuentran desprendidas de manera de establecer si la capa de asfalto que quedara después del fresado, se ajustará a los supuestos implícitos en el diseño del refuerzo de hormigón. Los testigos que penetran en la subrasante permiten detectar si existen condiciones inestables, tales como una incipiente emigración de finos hacia capas de base de granulometría abierta, lo que puede llevar a obturaciones e inestabilidad. Los testigos también proporcionan muestras para posibles análisis de laboratorio.

2.6.2 Alternativas para determinar las condiciones de soporte

En algunos casos, un análisis visual y análisis de testigos proporcionan suficiente información para determinar si el pavimento es un buen candidato para un refuerzo con hormigón. Otras veces, sin embargo, especialmente cuando se dan situaciones de borde, se requiere de mayor análisis. Uno de esos análisis implica determinar las condiciones de soporte de la sub base/ subrasante en términos de la razón soporte de California (CBR).

Tabla N° 6 Tipos de suelos de la subrasante y valores soporte aproximados

Tipo de Suelo	Soporte	k MPa/m	CBR
Suelos finos: predominan las partículas tamaño limo y arcillas	Bajo	20 - 30	2,5 a 3,5
Arenas y gravas arenosas mezcladas con cantidades moderadas de limo y arcilla	Medio	35 - 45	4,5 a 7,5
Mezclas de arenas con gravas arenosas relativamente libres de finos plásticos	Alto	50 - 60	8,5 a 12,0

Notas: CBR (Razón Soporte California); 1 psi = 0,0069 MPa; 1 MPa/m = 3,7 psi/in.
La Tabla se basa en información de ACI 330R-08 en relación a los rangos de valores para varios tipos de suelos de subrasantes (Portland Cement Association 1984; NCHRP 1982) compactados a la densidad especificada.

Fuente: Guía para capas de refuerzo con hormigón. Soluciones sustentables para capas de refuerzo y rehabilitación de pavimentos existentes. Tercera Edición, Mayo 2014.

En la tabla 6, los valores del CBR están asociados a los de k, expresados en mega pascales por metro (MPa/m). En la tabla, ambos valores se asocian generalmente con tipos de suelos y condiciones de soporte de la subrasante. El valor de k puede estimarse en proyectos diseñados para tránsito liviano solamente, donde resultan impracticables extensas exploraciones del suelo o económicamente no se justifica en consideración del alcance del proyecto. Se recomienda ser conservador en la estimación.

2.7 Diseño de pavimento Whitetopping

Para el diseño del Whitetopping no existe un método único y uniforme. A medida que se han desarrollado proyectos, cada institución a cargo de estos, ha adoptado algún método que se adapte a sus requerimientos de mejor forma.

El concepto del diseño de los recubrimientos difiere del diseño tradicional para los demás pavimentos de hormigón. La tecnología del recubrimiento de hormigón Whitetopping, es esencialmente una estrategia de mantenimiento limitada por factores del pavimento existente, y no necesariamente puede diseñarse para un periodo de 20 o 30 años, como sucede para un pavimento de hormigón convencional.

Los métodos de diseño que toman en cuenta esta solución, deben considerar las características de soporte de la estructura existente que normalmente tiene capa de subbase, base y capa de rodadura.

2.7.1 Materiales utilizados

Actualmente, existen diversos materiales para la fabricación del hormigón, para obtener desde mezclas secas compactadas con rodillo vibratorio hasta hormigones con aditivos fluidificantes y fibras, pudiéndose realizar las juntas en hormigón fresco o aserradas en hormigón endurecido.

- **Cemento Portland Especial.**
Es una mezcla de arcilla y caliza, cocida y pulverizada que, con agua tiene la propiedad de endurecer hasta tomar consistencia pétreo.
- **Agua.**
El agua es un líquido incoloro, inodoro e insípido compuesto por dos volúmenes de hidrógeno y uno de oxígeno.
- **Agregados (Grava y Arena).**
Los agregados o áridos, constituyen el material ligante, están compuestos por una parte fina (arena) y por otra gruesa (grava).

2.7.2 Variables de diseño

2.7.2.1 Pérdida de servicialidad

Es la diferencia entre la serviciabilidad inmediatamente después de la sobrecarpeta y la serviciabilidad en el momento de la próxima rehabilitación.

Los valores del índice de serviciabilidad recomendados por el método son los siguientes:

Tabla N° 7. Valores de servicialidad recomendados por AASHTO 93

Servicialidad inicial (Po)	4,5 Pavimentos Rígidos
Servicialidad final (Pt)	2,5 Caminos muy importantes
	2,0 Caminos de menor tránsito

Fuente: Guía AASHTO, "Diseño de estructuras de pavimentos" 1993

2.7.2.2 Factor de transferencia de cargas

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de

carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre este valor.

La siguiente tabla establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecánico de esfuerzos. Como se puede apreciar en esta tabla el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga.

Tabla N° 8. Coeficiente de transferencia de carga (J)

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0,3	2,7	3,2	2,8	3,2	-	-	Calles y caminos vecinales
0,3 - 1	2,7	3,2	3	3,4	-	-	
1 - 3	2,7	3,2	3,1	3,6	-	-	
3 - 10	2,7	3,2	3,2	3,8	2,5	2,9	Caminos principales y autopistas
10 - 30	2,7	3,2	3,4	4,1	2,6	3	
más de 30	2,7	3,2	3,6	4,3	2,6	3,1	

Fuente: Guía AASHTO, "Diseño de estructuras de pavimentos" 1993

2.7.2.3 Módulo de rotura de la sobrecarpeta

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

- a) Estimación a través de la resistencia a compresión del concreto.

$$S'_c = k (f'_c)^{0.5}$$

Donde:

S'_c = Módulo de rotura (psi)

f'_c = Resistencia a compresión (psi)

2.7.2.4 Modulo elástico de la sobrecarpeta

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones,

curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió: Donde E_c y f'_c están dados en psi.

$$E_c = 57000 (f'_c)^{0.5}$$

Donde:

f'_c = Resistencia a compresión (psi)

E_c = Módulo elástico de la sobrecarpeta (psi)

2.7.2.5 Confiabilidad de la sobrecarpeta

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado.

Para la selección del nivel de confiabilidad debe tenerse en cuenta dos aspectos:

Grado de importancia de la carretera.

Tiene que ver con el uso esperado de la carretera. Así, para carreteras principales el nivel de confiabilidad es alto, ya que un subdimensionamiento del espesor del pavimento traerá como consecuencia que éste alcance los niveles mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto, debido al rápido deterioro que experimentará la estructura. En la tabla se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO.

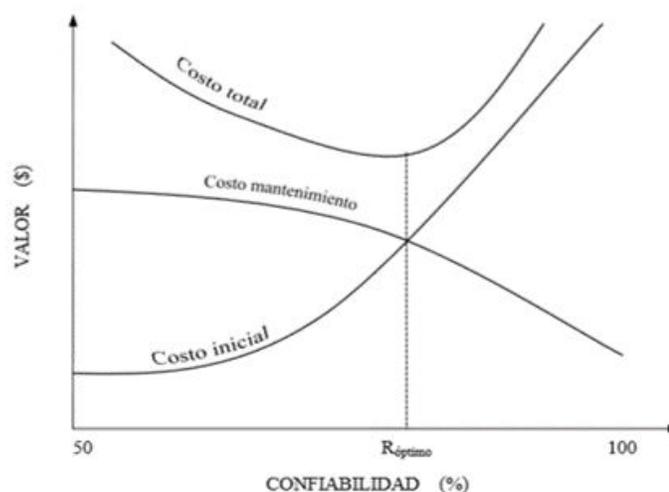
Tabla N° 9. Niveles de confiabilidad

Niveles de confiabilidad		
Tipo de camino	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85 - 99,9	80 - 99,9
Arterias principales	80 - 99	75 - 99
Colectores	80 - 95	75 - 99
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guía AASHTO, "Diseño de estructuras de pavimentos" 1993

Se debe determinar el nivel de confiabilidad óptimo que me asegure el costo total más bajo, es decir, que balancee apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento como se muestra en la figura. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio, con bajos costos de mantenimiento, pero el costo de inversión inicial será alto. Todo lo contrario, sucede cuando el espesor es menor de lo necesario.

Figura N° 4 Nivel óptimo de confiabilidad.



Fuente: Guía AASHTO, "Diseño de estructuras de pavimentos" 1993.

2.7.2.6 Desviación estándar

Las consideraciones de incertidumbre son diferentes para sobrecarpetas y pavimentos rígidos nuevos. Así mismo los valores apropiados varían según el tipo de sobrecarpeta. Se recomienda adoptar para este caso un valor de 0,39 tal como se hace para pavimentos rígidos nuevos.

2.7.2.7 Coeficiente de drenaje

El proceso mediante el cual el agua de infiltración superficial o agua de filtración subterránea es removida de los suelos y rocas por medios naturales o artificiales, se llama drenaje. El drenaje es uno de los factores más importantes en el diseño de pavimentos.

Los efectos del drenaje sobre el comportamiento del pavimento han sido considerados en el método AASHTO 93 por medio de un coeficiente de drenaje (Cd). El drenaje es

tratado considerando el efecto del agua sobre las propiedades de las capas del pavimento y sus consecuencias sobre la capacidad estructural de este; y además el efecto que tiene sobre el coeficiente de transferencia de carga en pavimentos rígidos.

La siguiente tabla proporciona los valores recomendados por la AASHTO para el coeficiente de drenaje (Cd), que depende de la propiedad con que cuentan las capas que constituyen la estructura del pavimento para liberar el agua libre entre sus granos, en función del tiempo durante el cual la estructura del pavimento está expuesta normalmente expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla N° 10. Valores recomendados del coeficiente de drenaje (Cd) para el diseño

Cd	Tiempo transcurrido para que el suelo libere el 50% de su agua libre	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanas a la saturación.			
		< 1 %	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Calificación					
Excelente	2 horas	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Bueno	1 día	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Regular	1 semana	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Pobre	1 mes	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy pobre	Nunca	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Fuente: Guía AASHTO, "Diseño de estructuras de pavimentos" 1993

2.7.2.8 Número de ejes equivalentes

Los pavimentos se proyectan para que transite un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes.

2.7.2.9 Separación de juntas

Las juntas se realizan para que las fisuras generadas por la contracción causado por la pérdida de hidratación del hormigón, los cambios de temperatura y la constante de carga y descarga de la losa.

2.7.3 Método de diseño de la capa de rodadura

2.7.3.1 Método AASHTO – 93

Los procedimientos AASHTO actuales de diseño de sobrecarpetas son el resultado de varios años de investigación y ensayos de campo sobre pavimentos y su desempeño de

pavimentos sujetos a cargas conocidas de tráfico, llevó al desarrollo de modelos para el dimensionamiento de pavimentos flexibles y rígidos.

Aunque no se realizaron estudios específicos de sobrecarpetas en el AASHTO Road Test, se estudió el desempeño de pavimentos flexibles y rígidos que fueron reencarpados con asfalto. Luego se han realizado esfuerzos continuos para mejorar las ecuaciones de diseño.

En las primeras versiones de la guía de pavimentos AASHTO, no se indicaba nada en relación al diseño de sobrecarpetas hasta la versión de 1986 donde aparecieron los conceptos de capacidad estructural y vida remanente. En la versión de 1993 se corrigieron las limitaciones de esta primera versión y obtuvo el método que actualmente esta en vigencia.

El diseño de sobrecarpetas se basa en el concepto de "deficiencia estructural". Esencialmente se basa en que la capacidad estructural de una sobrecarpeta colocada encima de un pavimento existente debe satisfacer la deficiencia entre la capacidad estructural requerida para soportar el tráfico futuro sobre un periodo de diseño especificado y la capacidad estructural efectiva del pavimento.

Capacidad estructural es esencialmente la medida de la habilidad de un pavimento de soportar cargas de tráfico repetitivas durante el tiempo. Para un pavimento nuevo, esta capacidad decrecerá con el tiempo y el deterioro de la estructura se incrementará gradualmente.

2.7.3.2 Método ACPA BCOA

La American Concrete Pavement Association (ACPA 1998) desarrolló un procedimiento mecanicista para diseñar capas de refuerzo con hormigón, más delgadas (50 a 100 mm, 2 a 4 pulg.) y de losas más pequeñas, adheridos a pavimentos asfálticos (BCOA), que no pueden calcularse con ninguno de los dos métodos AASHTO descritos antes. El método BCOA es un proceso de diseño iterativo, mediante el cual el proyectista indica tentativamente un espesor de la capa de refuerzo y espaciamiento de las juntas, junto con el tránsito, la resistencia del hormigón (módulo de ruptura), el espesor de la capa de asfalto existente y la rigidez (valor de k) combinada de la subrasante/subbase. El procedimiento determina la cantidad de camiones permisibles mediante iteraciones.

El procedimiento de ACPA calcula el deterioro por fatiga, para las condiciones de carga en la esquina de la losa y limita el daño por fatiga en la cara inferior del pavimento asfáltico existente, en la posición de las juntas transversales (ACPA 1998).

También se consideran las tensiones por alabeo térmico en la respuesta crítica del pavimento. Una limitación de este método es que se basa en el modelo de fatigamiento de una viga de la PCA, que arroja estimaciones muy conservadoras. Como resultado, Riley desarrolló en el 2006, un método ACPA modificado que incorpora un nuevo algoritmo probabilístico para la fatiga del hormigón. Este método modificado permite ingresar las propiedades del pavimento asfáltico existente, tener en consideración el tipo y cantidad de fibra estructural y controlar una potencial falla en el plano de adherencia.

El método ACPA BCOA es válido para losas de espesores entre 75 y 150 mm (3 a 6 in.) y losas de dimensiones máximas de 1,8 m (6 ft).

Típicamente se utilizan menores espaciamientos de juntas (tanto transversales como longitudinales) en refuerzos adheridos de pavimentos asfálticos, tales como 1,2 m (4 ft) por 1,2 m (4 ft) o 1,8 (6 ft) por 1,8 m (6 ft) en pistas de 3,6 m (12 ft) de ancho.

En 2012, la herramienta de diseño ACPA BCOA fue también actualizada de manera que permitiera realizar diseños estructurales para cualquier zona climática de los Estados Unidos, al incluir gradientes térmicas específicas de aproximadamente 200 ciudades (Vandenbosshe et al. 2012).

El procedimiento BCOA-ME entrega el espesor de la capa de refuerzo ingresando a la hoja de cálculo la siguiente información:

Tránsito.

Lugar del diseño (de la obra).

Longitud, latitud y elevación.

Zona climática.

Pavimentos de concreto asfáltico en caliente, existentes.

Espesor del asfalto remanente.

Porcentaje aproximado de grietas por fatiga.

Grietas térmicas (si/no).

Valor del k combinado subrasante / subbase.

Resistencia, módulo elástico, razón de la resistencia residual del hormigón con fibras y coeficiente de expansión térmica del hormigón del refuerzo.

Dimensiones propuestas para las losas.

2.8 Proceso de construcción del Whitetopping

Sólo es necesario reparar problemas serios del pavimento existentes tales como ahuellamientos severos, desplazamientos y baches. En las áreas en que la subrasante haya fallado y por lo tanto no proporcione soporte uniforme a la capa de hormigón, debe retirarse y remplazarse.

Después de hacer las reparaciones, se debe decidir cómo se va a tratar la superficie deformada antes de colocar la sobrecapa. Se han utilizado distintos métodos:

Barrer y colocar directamente.

Fresar para nivelar la superficie.

Colocar una capa niveladora.

2.8.1 Preparación de la superficie

Colocación directa. -

En este caso la superficie no se trata y las huellas se llenan con el hormigón de la nueva capa. No es necesario fresar, hacer gradación de finos ni otra actividad.

La colocación directa se recomienda para todos los casos en los que el ahuellamiento no supere los 5 cm.

Para determinar el volumen de concreto necesario se debe realizar un levantamiento topográfico de varios sectores del tramo a rehabilitar. La distancia entre cada corte es por lo general 30 m para tramos de curvas de radio grandes y de 7,5 m cuando las curvas son de radios menores. Los volúmenes se estiman con las áreas de las cortes transversales a lo largo del proyecto y entregan una correcta estimación del material necesario.

La construcción directa es muy efectiva desde el punto de vista de costos, porque no se necesitan procedimientos constructivos previos. Además, el costo del levantamiento es mucho menor que el de nivelar la superficie.

Fresado del asfalto existente. -

Las irregularidades de la superficie a rehabilitar pueden quitarse fresando el asfalto existente. Para que el perfil quede uniforme por lo general hay que remover entre 2,5 a 7,5 cm de la superficie. El fresado establece el acabado de la rasante y la pendiente transversal de la vía, según sea necesario.

En relación a la colocación directa, este método requiere de menos tiempo que el levantamiento topográfico, sin embargo hay que considerar el costo de la máquina fresadora y del manejo de los materiales.

Hay ocasiones en que por requerimientos geométricos se hace imprescindible el fresado de manera de mantener la cota de la rasante de acuerdo a esos requerimientos.

Capa niveladora. -

Una capa niveladora puede crear una superficie de pavimento uniforme, por lo general se necesitan entre 2,5 a 5 cm de asfalto para quitar las deformaciones del pavimento existente. Usualmente se usa una mezcla bituminosa caliente que debe reunir las especificaciones de diseño tradicionales y usar agregados gradados convencionales. Debido a su costo, no es recomendable utilizar ésta alternativa donde las deformaciones sean menores que 5 cm.

2.8.2 Limpieza de la superficie

Tras la preparación de la superficie, es necesario una profunda limpieza de esta. Para la eliminación de las partículas grandes, basta con un buen barrido. Para limpiar el polvo, es recomendable aplicar aire comprimido. Se recomienda humedecer el asfalto cuando la temperatura en la superficie exceda los 49 °C (120 °F), de manera de enfriarlo para evitar un secado acelerado del hormigón que provocaría microfisuración en el hormigón fresco.

Utilizar aire comprimido para remover cualquier poza de agua, directamente delante de la operación de colocación del hormigón.

2.8.3 Hormigonado de la superficie

Para realizar la colocación del hormigón, se puede utilizar, un pavimentador de tamaño medio. Este pavimentador permite una colocación más rápida y eficiente con una mejor terminación superficial, alcanzándose rendimientos mucho mayores que los logrados con el sistema tradicional de cercha vibradora. Además, este sistema utiliza el mismo cable guía de la fresadora para dar la terminación y horizontalidad de rasante requerida. El hormigón se coloca con descarga directa del camión mixer en el sitio de colocación. Para la terminación puede realizarse un planchado manual, si es que la terminación del pavimentador no es la adecuada. Para un mejor resultado convendría ajustar el cono del hormigón. Para darle la textura adecuada, se puede utilizar una aspillera o con un escobillón.

La aspillera húmeda deja una textura rugosa, pero son surcos poco profundos, en el caso del escobillón, los surcos son más profundos.

2.8.4 Curado de la superficie

Para acelerar el fraguado del hormigón es recomendable utilizar mantas protectoras de polietileno, con el fin de lograr un aumento en la resistencia acelerada y así disminuir el plazo de apertura al tránsito de la vía. En el caso de la experiencia chilena con el breve tramo en av. Sta. Rosa se utilizó polietileno con burbujas de 5 mm, colocando el lado donde se encuentran las burbujas, hacia abajo. Este sistema de curado, tiene la doble ventaja de mantener la temperatura del hormigón alta y así acelerar la ganancia de resistencia y conservar el nivel de humedad necesario para que el cemento reaccione.

2.8.5 Transferencia de cargas

La necesidad de barras de transferencias de cargas en las juntas transversales depende de la capacidad de soporte, el tráfico y el diseño de las losas. Se recomienda el uso de juntas en vías que tengan un tráfico pesado (de más de 5 millones de ejes equivalentes), en el caso de que sea menor, las barras de transferencia de cargas no se necesitan.

2.8.6 Apertura al tráfico

Un criterio apropiado para la apertura al tránsito, sería una resistencia a la compresión de 20 Mpa de probetas moldeadas a pie de obra. Esta resistencia se obtiene en hormigones

Fast Track en un lapso de 20 horas aproximadamente. En el caso de hormigones normales, tras 48 horas puede realizarse la apertura al tránsito.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y DIAGNÓSTICO

3.1 Ubicación del estudio

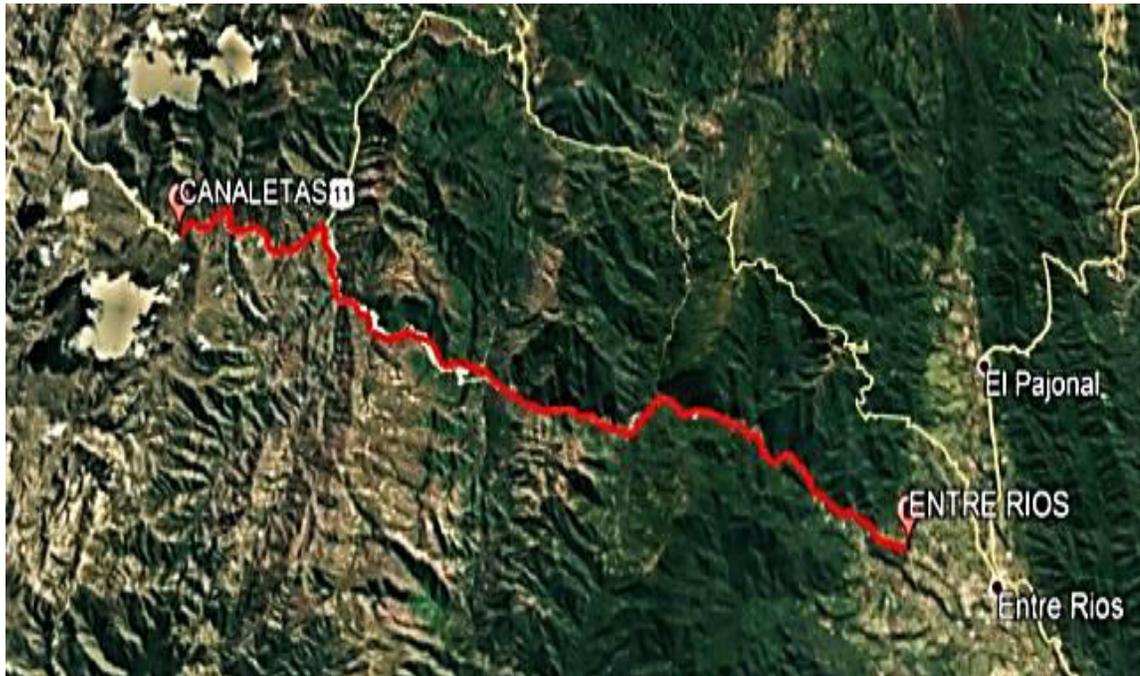
El estudio del proyecto se realiza en el tramo carretero Canaletas – Entre Ríos, de la provincia O'Connor del departamento de Tarija. Entre Ríos se encuentra a una distancia de 108 km de la ciudad de Tarija, se localiza a 1230 msnm, en la confluencia del río Tambo y el río Pajonal. La ciudad está bordeada por una sierra montañosa de norte a sur y emplazada en un valle con forma de triángulo alargado de 10 km de longitud.

La temperatura media anual de Entre Ríos es de 20,9 °C y las precipitaciones anuales rondan los 1300 mm, concentrándose fundamentalmente en verano, de enero a marzo.

Su población, según el censo de 2001, era de 2413 personas; en 2007 se ha elevado a aproximadamente 2800. La región de Entre Ríos es una de las principales zonas de asentamiento del pueblo Guaraní, que han habitado la cuenca del Paraná desde hace miles de años.

Para poder llegar al tramo en estudio se toma la ruta principal al Chaco pasando el puente Jarcas se llega a una localidad llamada Junacas donde seguiremos hasta llegar a Canaletas, en el puente del mismo nombre se da inicio a nuestro punto inicial de estudio. En el cual para realizar nuestro estudio del tramo, se tomó muestras aleatoriamente de los 26 km recorridos hasta llegar a la localidad de Entre Ríos.

Figura N° 5. Ubicación del lugar



Fuente: Imagen Satelital Google Earth

Figura N° 6. Ruta principal a Entre Ríos.

Fuente: <http://www.elpaionline.com/index.php/2013-01-15-14-16-26/local>.

3.2 Características del tramo en estudio

El tramo en estudio fue entregado provisionalmente el 24 de agosto del 2013, tras una serie de intentos fallidos ya que la misma debería haber comenzado su construcción el 2004 pero debido a factores políticos la obra recién pudo ser construida y finalizada el 2014 en la gestión del aquel entonces Gob. Sr. Lino Condori, obra que fue realizada a cargo de Empresas Unidas.

Uno de los principales motivos del retraso en este tramo fue la indecisión de mantener la ruta Tarija – Entre Ríos por el camino antiguo que pasa por Narváez, o acortar en gran parte el camino y realizarla por la variante Canaletas – Entre Ríos la que actualmente se usa y se ha convertido en una carretera fundamental para el departamento.

Al principio en la licitación de la obra se indicaba que el tramo debería tener un pavimento flexible y en la ruta se debería realizar 2 puentes, pero con el pasar del tiempo se tuvo que realizar un tratamiento superficial triple debido a la construcción de cuatro puentes solo en el tramo de Canaletas – Entre Ríos, subiendo más aun su precio de ejecución de 45 millones de dólares a 22 millones de bolivianos más.

Actualmente el mantenimiento de la carretera es realizado por el SEDECA, se esperada la conclusión del tramo puente Jarcas – Piedra Larga para así contar con una vía totalmente asfaltada desde Tarija a Entre Ríos.

3.2.1 Diseño actual del tramo en estudio

Dentro de la información técnica de relevancia, tiene las siguientes características:

Finalmente, esta carretera fue construida con un tratamiento superficial triple, cuyas bermas en algunos sectores están protegidas por un tratamiento superficial simple y en otros sectores imprimación simple o con material natural.

El tramo de dos carriles con un ancho de 7,30 metros y bermas granulares revestidas de 0,85 m a 1,85 m de 20 cm de espesor. El paquete estructural de 5 cm donde se incluye:

Capa base: 0,22 metros de espesor.

Capa subbase: 0,25 metros de espesor.

Capa subrasante: 0,30 metros de espesor.

3.3 Muestreo y evaluación del tramo en estudio

Una evaluación de las condiciones del pavimento existente del tramo a ser rehabilitado es de gran importancia, ya que teniendo una valoración del estado actual podremos determinar la metodología de rehabilitación que más se adecue a nuestras necesidades. Esta evaluación comprenderá la extracción de núcleos, un estudio de los materiales que componen las capas del paquete estructural y la determinación del índice de condición presente del pavimento existente (PCI).

3.3.1 Selección y criterio de muestreo en el tramo

Todo pavimento que requiera de una rehabilitación se debe tomar muestras de este, con el fin de verificar su composición y tener un control adecuado antes de plantear el diseño correspondiente.

Población.

Primeramente, se debe reconocer la población que se adopta en el estudio, en nuestro caso se tomó el total de la longitud del tramo Canaletas – Entre Ríos que tiene 26 km asfaltados.

Muestra.

Para obtener una muestra representativa que nos sirva de referencia para valorar y verificar el estado actual del tramo en estudio, se optó por tomar un 10% del total de la longitud que estará distribuido en 6 secciones abarcando la totalidad de la población. El tipo de muestreo empleado es el no probabilístico por conveniencia.

Unidad de Estudio o Muestreo.

Dentro de la muestra se seleccionó nuestra unidad de muestreo la cual se adoptó áreas de 292 m², las cuales serán analizadas mediante ensayos de campo y laboratorio, para su posterior análisis.

Para conocer la cantidad de muestras a analizar, tomamos en cuenta la ecuación que plantea el método PCI:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N= Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e= Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5 %)

S= Desviación estándar del PCI entre las unidades de la sección (útese inicialmente S=10, si se desconoce el valor).

$$n = \frac{650 \times 10^2}{\frac{0.05^2}{4} \times (650 - 1) + 10^2}$$

$$n = 15,63 = 16 \text{ Unidades a muestrear}$$

El criterio para la obtención de datos para los ensayos destructivos como el muestreo de los materiales que componen el paquete estructural y la extracción de núcleos, el Servicio Departamental de Caminos nos recomendó realizar la toma de muestras en lugares donde no afecten al libre tránsito de vehículos y así no agravar el daño en el que ya se encuentra el tramo, por lo tanto se pudo realizar en dos lugares el muestreo y la extracción dos en cada inicio de tramo seccionado debido al costo de este ensayo, para un mayor detalle en el anexo V se muestra la ubicación de los ensayos.

Con la extracción de núcleos en el tramo, se pudo verificar la información obtenida de la institución del Servicio Departamental de Caminos (SE.DE.CA), pudiéndose notar claramente que los espesores de la capa de rodadura difieren de acuerdo a lo citado anteriormente, los espesores varían de 2,30 cm a 2,70 cm (Anexo 4).

Figura N° 7. Extracción de núcleos en el tramo Canaletas - Entre Ríos



Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Características estructurales

Las características estructurales del pavimento en estudio se efectuaron mediante evaluación superficial basado en el método PCI (Anexo 1), aquí se da una breve explicación de la forma en que se procedió a la elección, tamaño y cantidad de muestras.

3.3.2.1 Método de evaluación superficial de pavimentos asfálticos

El PCI es un índice numérico que varía desde cero (0), para un pavimento fallado o en mal estado, hasta cien (100) para un pavimento en perfecto estado.

El procedimiento de evaluación de la condición del pavimento consiste en los siguientes pasos:

La primera etapa corresponde al trabajo de campo en el cual se identifican los daños teniendo en cuenta la clase, severidad y extensión de los mismos. Esta información se registra en formatos adecuados para tal fin.

Figura N° 8. Planilla de registro de fallas

Determinación del PCI							
Vía:	Canaletas - Entre Ríos			Unidad N°:	1		
Fecha:	10/04/2018			Área de la muestra:	292	m ²	
Hecho por:	Jhonny Gabriel Torrez Cayo			Progresiva:	6+860		
Tipos de fallas							
1.-Grieta Piel de Cocodrilo		m ²		11.-Baches y Zanjas Separadas		m ²	
2.-Exudación de Asfalto		m ²		12.-Agregados pulidos		m ²	
3.-Grietas de Contracción		m ²		13.-Huecos		n°	
4.-Elevaciones-Hundimientos		m		14.-Acceso a Puentes		m ²	
5.-Corrugaciones		m ²		15.-Ahuellamiento		m ²	
6.-Depresiones		m ²		16.-Deformacion por Empuje		m ²	
7.-Grietas de Borde		m		17.-Grietas de deslizamiento		m ²	
8.-Grietas de Reflexión de Juntas		m		18.-Hinchamiento		m ²	
9.-Desnivel Calzada-Hombrillo		m		19.-Disgregacion y Desintegración		m ²	
10.-Grietas Longitud y Transv. M		m					
Tipos de falla existentes							
	2	11	1	10			
	5 L	7,5 L	5 M	3 L			
	5 M		7,5 M				
			7,6 H				
TOTAL							
Baja (L)	5	7,5	-	3			
Media (M)	5	-	12,5	-			
Alta (H)	-	-	7,6	-			
Cálculo del PCI							

Tipo de falla	Densidad	Severidad	Valor de deducción
2	1,71	L	0
2	1,71	M	4
11	2,56	L	5
1	4,28	M	38
1	2,60	H	45
10	1,02	L	0
Valor Total de Deducción (VDT)			92
Valor de Deducción Corregido (VDC)			53

$$PCI = 100 - VDC$$

47

Condición del pavimento

Regular

Fuente: Elaboración propia

Unidades de Muestreo: Para el tramo en estudio elegimos un área de 7,3 m x 40 m= 292 m² el cual se encuentra dentro del rango establecido por el manual del PCI.

Determinación de las unidades de muestreo para evaluación: Para la obtención de la cantidad de unidades a muestrear se usó la ecuación:

$$n = \frac{N \times \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \times (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n= Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N= Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

e= Error admisible en el estimativo del PCI de la sección (e = 5 %)

S= Desviación estándar del PCI entre las unidades.

Donde se tomó como desviación estándar de 10 que es para pavimentos asfálticos, un error admisible del 5 % y el número total de unidades de muestreo serán de 650

unidades tomando en cuenta un 10 % del total de la longitud del tramo y dividiendo en muestras de 7.30 m x 40 m.

Resolviendo la ecuación tenemos como resultado 15 unidades de muestreo a evaluar.

Tabla N° 11. Resumen de valores del PCI

N°	Progresiva	Progresiva	PCI	Clasificación
	Inicial	Final		
1	6+860	6+900	47	Regular
2	6+940	6+980	69	Bueno
3	7+220	7+260	78	Muy Bueno
4	11+365	11+405	69	Bueno
5	11+405	11+445	43	Regular
6	11+485	11+525	41	Regular
7	15+782	15+822	36	Pobre
8	15+822	15+842	64	Bueno
9	15+935	15+975	43	Regular
10	18+249	18+289	41	Regular
11	18+289	18+329	64	Bueno
12	21+451	21+491	67	Bueno
13	21+491	21+531	54	Regular
14	23+258	23+298	64	Bueno
15	23+298	23+338	66	Bueno

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 11 podemos observar el valor del PCI en cada unidad de muestra, por medio de los pasos previamente descritos, para calcular el PCI de toda la sección del pavimento procedemos a realizar un promedio de los valores de PCI teniendo como resultado 56 catalogando como un pavimento regular.

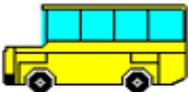
3.4 Análisis y estudio del tráfico

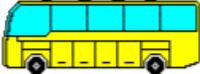
Para este proyecto se pudo obtener el aforo de vehículos de diferentes categorías realizado por el servicio departamental de caminos (SE.DE.CA) el año 2013 del proyecto de construcción tramo Puerta al Chaco – Canaletas (Anexo 2), el cual fue de utilidad para realizar las proyecciones del tráfico en nuestro proyecto.

En este caso el tránsito no se tratará de forma conservadora debido a que es un parámetro de gran influencia en el diseño. Es mejor hacer una estimación razonable y luego ajustarla por las incertidumbres.

Para determinar el espesor en nuestro tramo de estudio, como mínimo, es necesario conocer el tránsito medio anual, que se obtiene mediante los aforos mostrados en la tabla N° 12. La mayoría de los programas disponen de modelos de distribución estándar (default) para estimar el total de ejes equivalentes (ESALs). El cálculo de los ejes equivalentes (ESALs) del proyecto se adjuntará en el Anexo 2.

Tabla N° 12. Aforos Vehiculares tramo "Puerta al Chaco – Canaletas".

TIPO DE VEHÍCULO			CANTIDAD
TIPO DE VEHÍCULO	N°	FECHA	
Automóviles y vagonetas 	1	06/09/2013	166
	2	07/09/2013	220
	3	08/09/2013	91
	4	09/09/2013	139
	5	10/09/2013	87
	6	11/09/2013	111
	7	12/09/2013	65
Camionetas (2tn) 	1	06/09/2013	75
	2	07/09/2013	68
	3	08/09/2013	27
	4	09/09/2013	66
	5	10/09/2013	34
	6	11/09/2013	51
	7	12/09/2013	38
Minibuses (hasta 15 pasajeros) 	1	06/09/2013	2
	2	07/09/2013	0
	3	08/09/2013	1
	4	09/09/2013	7
	5	10/09/2013	1
	6	11/09/2013	0
	7	12/09/2013	3
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes) 	1	06/09/2013	3
	2	07/09/2013	1
	3	08/09/2013	2
	4	09/09/2013	0
	5	10/09/2013	3
	6	11/09/2013	0
	7	12/09/2013	1
TIPO DE VEHÍCULO	N°	FECHA	

<p>Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)</p> 	1	06/09/2013	19
	2	07/09/2013	14
	3	08/09/2013	13
	4	09/09/2013	17
	5	10/09/2013	10
	6	11/09/2013	18
	7	12/09/2013	16
TIPO DE VEHÍCULO		N°	FECHA
<p>Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)</p> 	1	06/09/2013	29
	2	07/09/2013	23
	3	08/09/2013	21
	4	09/09/2013	15
	5	10/09/2013	14
	6	11/09/2013	18
	7	12/09/2013	15

TIPO DE VEHÍCULO		N°	FECHA	
<p>Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)</p> 	1	06/09/2013	44	
	2	07/09/2013	29	
	3	08/09/2013	25	
	4	09/09/2013	37	
	5	10/09/2013	33	
	6	11/09/2013	42	
	7	12/09/2013	31	
TIPO DE VEHÍCULO		N°	FECHA	
<p>Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)</p> 	1	06/09/2013	55	
	2	07/09/2013	26	
	3	08/09/2013	26	
	4	09/09/2013	35	
	5	10/09/2013	31	
	6	11/09/2013	14	
	7	12/09/2013	33	
TIPO DE VEHÍCULO		N°	FECHA	
<p>Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)</p> 	1	06/09/2013	39	
	2	07/09/2013	14	
	3	08/09/2013	0	
	4	09/09/2013	13	
	5	10/09/2013	31	
	6	11/09/2013	42	
	7	12/09/2013	32	
TIPO DE VEHÍCULO		N°	FECHA	
	1	06/09/2013	7	
	2	07/09/2013	6	

Camiones semiremolque 	3	08/09/2013	37
	4	09/09/2013	4
	5	10/09/2013	9
	6	11/09/2013	3
	7	12/09/2013	3
TIPO DE VEHÍCULO	N°		
Camiones remolque 	1	06/09/2013	9
	2	07/09/2013	14
	3	08/09/2013	7
	4	09/09/2013	14
	5	10/09/2013	5
	6	11/09/2013	20
	7	12/09/2013	3
TIPO DE VEHÍCULO	N°	FECHA	
Otros vehículos 	1	06/09/2013	1
	2	07/09/2013	1
	3	08/09/2013	0
	4	09/09/2013	1
	5	10/09/2013	0
	6	11/09/2013	0
	7	12/09/2013	0

Fuente: Tesa: Construcción camino " Puerta de Chaco - Canaletas". Servicio Departamental de Caminos (SE.DE.CA).

Tabla N° 13. Resumen de tránsito medio diario

Tránsito medio diario	
Tipo de vehículo	Puerta al Chaco - Canaletas
Automóviles y vagonetas	261
Camionetas (2tn)	110
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	11
Microbuses (hasta 21pjs;2 ejes)	9
Buses medianos (hasta 35pjs;2ejes)	42
Buses grandes (más de 35pjs;3ejes)	47
Camiones medianos (de 2,5 a 10tn;2ejes)	78
Camiones grandes (más de 10tn; 2ejes)	76
Camiones grandes (más de 10tn;3ejes)	76
Camiones semirremolque	28
Camiones remolque	31
Otros vehículos	3

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Módulo de reacción "k" del pavimento efectivo

Teniendo como dato el valor de CBR de la subrasante obtenido del autor Cuevas Romero Norman Franklin (2015) tesis "Alternativas de diseño de refuerzo para el pavimento tramo Canaletas – Entre Ríos". Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Tarija, Bolivia y los espesores verificados en el pavimento, procederemos a obtener un valor preliminar del módulo de reacción k efectivo usando la figura N° 12.

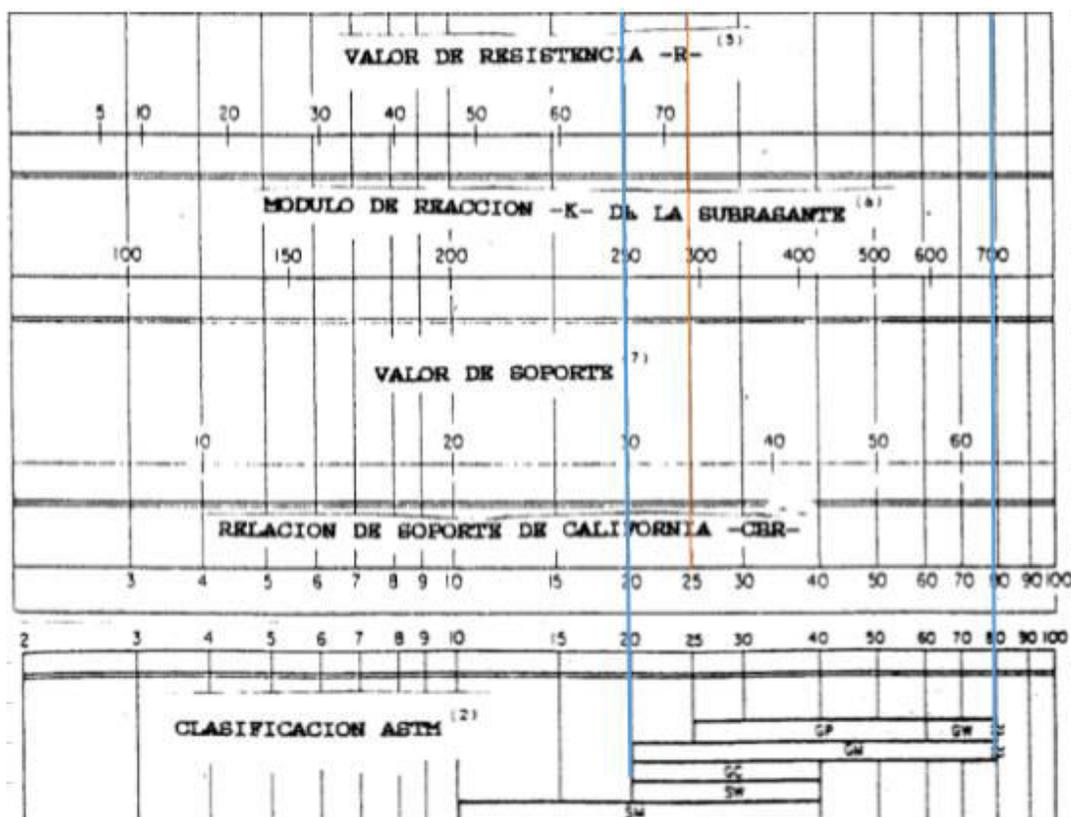
Capa base: 0,22 metros de espesor

Capa subbase: 0,25 metros de espesor

Capa subrasante: 0,30 metros de espesor, CBR 25 %

Figura N° 9. Estimación del módulo efectivo de reacción de la subrasante.

Relación aproximada entre los valores k y otras propiedades del suelo*



Fuente: Diseño de sobrecarpetas en pavimentos existentes (AASHTO-93) Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón.

Módulo de reacción subrasante: 270 psi

También se puede estimar el módulo de reacción a partir de datos de las capas que conforman el paquete estructural, donde realizado la clasificación (anexo 4) correspondiente para las capas obtuvimos una grava bien graduada con arcilla y arena (GW-GC), el cual se puede tomar en cuenta para el diseño.

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DEL WHITETOPPING

4.1 Diseño del Whitetopping

4.1.1 Diseño y análisis del paquete estructural

4.1.1.1 Parámetros de diseño en el tramo de estudio

Pérdida de servicialidad. - En nuestro proyecto se tomó una servicialidad inicial de 4,5 para pavimentos nuevos y una final de 2,5 dados en la página 32 Tabla N° 7.

Factor de transferencia de cargas. - Para el factor adoptado de transferencia de cargas se tomó en cuenta el tipo, numero de ESAL's que se encuentra entre 1 a 3 millones y un refuerzo sin pasadores de temperatura, por lo tanto, en la Tabla N° 8 tomamos el valor de $J= 3,2$.

Módulo de rotura de la sobrecarpeta. - Como resultado de los ensayos, podemos considerar un valor del módulo de rotura de 580,94 psi (4 Mpa) en probetas asfalto – hormigón.

Módulo elástico de la sobrecarpeta. - Usando la resistencia a la compresión dado de los ensayos de rotura de probetas, obtenemos un valor del módulo de elasticidad de 3.311.142,73 psi.

Confiabilidad de diseño de la sobrecarpeta. - Considerando que el tramo en análisis es parte de la red Vial Fundamental y tomando en cuenta la Tabla N° 9, la confiabilidad de diseño adoptada es de 75 % con la finalidad de no sobre dimensionar el refuerzo de hormigón.

Desviación estándar. - Las consideraciones de incertidumbre son diferentes para sobrecarpetas y pavimentos rígidos nuevos. Así mismo los valores apropiados varían según el tipo de sobrecarpeta. Se recomienda adoptar para este caso un valor de 0,39 tal como se hace para pavimentos rígidos nuevos recomendado por el manual de AASHTO 93.

Coefficiente de drenaje. - Debido a que la zona de la carretera tiene precipitaciones elevadas (1339 mm), además se considera un porcentaje mayor al 25 %. La calidad de

drenaje se considera buena ya que la carpeta de rodadura no demuestra fallas graves por lo que el coeficiente de drenaje según la Tabla N° 10 es 1.

Número de ejes equivalentes futuros (ESAL's). - Los pavimentos se proyectan para que transite un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. Por lo que se calcularon los ejes equivalentes por el procedimiento de cálculo riguroso de la guía AASHTO (Anexo 2), lo cual indica que los ejes equivalentes de diseño son 2,81 E+06.

Separación entre juntas. - Las juntas se realizan para que las fisuras generadas por la contracción causado por la pérdida de hidratación del hormigón, los cambios de temperatura y la constante de carga y descarga de la losa, considerando el diseño con losas cortas se considera el espaciamiento entre juntas de 1,2m.

4.2 Diseño del espesor de la sobrecarpeta

Para determinar el espesor de la sobrecarpeta, se evalúa bajo el método AASHTO – 93 y ACPA BCOA-ME de diseño, donde el espesor requerido del refuerzo en el método AASHTO-93 debe responder a la siguiente ecuación:

$$D_{of} = D_f$$

Donde:

Dof = Espesor requerido del refuerzo de hormigón

Df = Espesor del refuerzo para soportar el tránsito futuro

Para la determinación del espesor requerido del refuerzo para el tránsito futuro (Df), se empleó el método AASHTO – 93 descrito a continuación.

4.2.1 Diseño por AASTHO – 93

El espesor de losa, que corresponde a las condiciones de diseño, se puede calcular resolviendo la ecuación planteada por el método, o mediante el uso del ábaco que proporciona la AASHTO, o mediante programas de computación.

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7,35 \lg(D + 1) - 0,06 + \frac{\lg \frac{\Delta \text{PSI}}{4,5 - 1,5}}{1 + \frac{1,625 * 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \\ * \lg \frac{S_0 C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J (D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/K)^{0,25}})}$$

Donde:

W_{18} = Tránsito estimado para el periodo de vida útil en ejes equivalentes de 18 kips (80 kN) “ESALs”.

Z_R = Factor de desviación normal para el nivel de confiabilidad R .

S_0 = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa en pulgadas.

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Serviciabilidad final.

$S'C$ = Módulo de rotura del hormigón en (psi).

J = Coeficiente de transferencia de cargas.

C_d = Coeficiente de drenaje.

E_C = Módulo de elasticidad del hormigón en (psi).

K = Módulo efectivo de reacción de la subrasante (psi/pulg).

Para determinar el espesor mediante la guía AASHTO – 93, se considera los siguientes factores:

Tabla N° 14. Resumen de parámetros para el diseño.

Servicialidad inicial	4,5
Servicialidad final	2,5
Módulo de rotura de la sobrecarpeta	555,54 psi
Módulo de elasticidad de la sobrecarpeta	3311142,73 psi
Coefficiente de drenaje	1
Módulo de reacción de la subrasante	270 psi
Número de ejes equivalentes futuros (ESALs)	2.812.761,89
Separación de juntas	1,2
Coefficiente de transferencia de cargas	3,2
Confiabilidad	75 %
Desviación estándar	0,39

Fuente: Elaboración propia.

Resolviendo la ecuación propuesta por la metodología AASHTO – 93:

$$\text{Log } 2.812.761 = 0,674 * 0,39 + 7,35 \text{ lg}(D+1) - 0,06 + \frac{\text{lg} \frac{2}{4,5-1,5}}{1 + \frac{1,625 * 10^7}{(D+1)^{8,46}}} +$$

$$(4,22 - 0,32 * 2,5) * \text{lg} \frac{0,39 * 1(D^{0,75} - 1,132)}{215,63 * 3,2(D^{0,75} - \frac{18,42}{(3.311.142,73/100)^{0,25}})}$$

$$\text{Dof} = \text{Df}$$

$$\text{Dof} = 7,50 \text{ cm} = \text{Df}$$

Introduciendo estos datos a un programa computacional, se tiene lo siguiente:

Figura N° 10 Diseño del pavimento mediante el programa AASHTO 93

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento: Flexible Rígido

Confiability (R) y desviación estándar (So): 75 % $Z_r = -0.674$ (Ayuda) So: 0.39

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.5 (Ayuda) PSI final: 2.5

Tránsito de diseño: W18: 2812761.89

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 270 Ver Guía AASHTO para su obtención (Diseñar)

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 311142.73 ¿Ec/Sc? (Ver informe)

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 580.94

Coefficiente de transmisión de carga - J: 3.2 J

Coefficiente de drenaje - Cd: 1 Cd

Espesor de losa D (plg): 2.21

D redondeado (plg): 5.00 ¡mínimo!

W18 real: 3.93E+00E

Cálculo de W18 para un D (plg)

D: [] W18: []

Quitar el control de variables (Salir)

Fuente: Elaboración propia mediante el programa computacional AASHTO.

Como se observa en la imagen el espesor de losa $D = 2,21$ pulg – 5,61 cm ~6 cm.

El espesor mínimo por norma $D = 5$ pulg – 12,7 cm ~ 13cm.

4.2.2 Diseño por ACPA BCOA-ME

El procedimiento BCOA-ME entrega el espesor de la capa de refuerzo ingresando a la hoja de cálculo la siguiente información:

Tabla N° 15 Parámetros para el diseño ACPA BCOA

Tránsito (ESAL's)	2.812.761,00		
Lugar del diseño (de la obra).	Canaletas - Entre Ríos		
Longitud, latitud y elevación.	Latitud 33,43°	Longitud -102,52°	Altura 1873m
Zona climática.	5		
Pavimentos de concreto asfáltico en caliente, existentes.			
Espesor del asfalto remanente.	1 pulg Mínimo 3 pulg		
Porcentaje aproximado de grietas por fatiga.	25%		
Grietas térmicas (si/no).	no		
Valor del k combinado subrasante / subbase.	270 psi		
Resistencia, módulo elástico	3374,88 psi	3311142,73 psi	
Dimensiones propuestas para las losas.	1,8 m x 1,8 m (6 pies x 6 pies)		

Fuente: Elaboración propia mediante guía de diseño ACPA BCOA - ME

Estos datos se ingresan a la página www.engineering.pitt.edu/Vandenbossche/BCOA-ME en la hoja de cálculo para la posterior obtención del espesor recomendado para nuestro diseño.

Figura N° 11 Diseño mediante hoja de cálculo BCOA-ME



(Última actualización: 21/4/2015)

INFORMACIÓN GENERAL

Latitud (grados):	<input type="text" value="33.43"/>	Información geográfica
Longitud (grados):	<input type="text" value="-102.52"/>	
Elevación (pies):	<input type="text" value="6145"/>	
ESAL de carril de diseño estimado:	<input type="text" value="2812761"/>	Calculadora de ESAL
Porcentaje máximo permitido de losas agrietadas (%):	<input type="text" value="25"/>	
Fiabilidad deseada contra el agrietamiento de losas (%):	<input type="text" value="85"/>	

ESTRUCTURA EXISTENTE

Espesor de HMA post-fresado (pulg):	<input type="text" value="3"/>	
Fatiga HMA	<input type="text" value="Marginal"/>	Ejemplo de agrietamiento por fatiga
Módulo compuesto de reacción de subrasante, valor k (psi / in):	<input type="text" value="270"/>	Calculadora de valor k
¿El pavimento HMA existente tiene grietas transversales?	<input type="radio"/> si <input checked="" type="radio"/> No	Arietamiento transversal

PROPIEDADES DE SUPERPOSICIÓN DE PCC

Fuerza compresiva promedio de 28 días (psi)	<input type="text" value="3374"/>	
Módulo elástico de PCC estimado (psi):	<input type="text" value="3320000"/>	Calculadora de Epcc
Coefficiente de expansión térmica (10-6 in / ° F / in)	<input type="text" value="5.5"/>	Calculadora CTE
Tipo de fibra:	<input type="text" value="Sin fibras"/>	

DISEÑO CONJUNTO	
Espaciado de juntas (pies):	6 x 6
CALCULAR DISEÑO	
ANÁLISIS DE RENDIMIENTO	
Espesor de superposición de PCC calculado (pulg)	5.76
Diseño Espesor de superposición de PCC (pulg)	6
¿Existe la posibilidad de grietas reflectantes?	No
	Resuelto.

Fuente: Elaboración propia mediante guía de diseño ACPA BCOA - ME

El espesor calculado por la hoja de cálculo es de:

$$5.76 \text{ pulg} = 14.63 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

4.3 Ensayos de calidad de los agregados para el hormigón

Para la determinación de los agregados se basó en el manual técnico de Hormigón para el diseño de carreteras en Bolivia proporcionado por la Administradora Boliviana de Carreteras y a la norma ACI - 211, se tomó en cuenta todos los procedimientos de laboratorio que indican las normas para la realización del concreto, la confección de probetas con el propósito de verificar la calidad de los materiales y su comportamiento con el asfalto existente.

Los ensayos a realizarse para la verificación de la calidad de los agregados son los siguientes:

Análisis mecánico para agregado grueso.

Análisis mecánico para agregado fino.

Determinación del peso específico del agregado grueso.

Determinación del peso específico del agregado fino.

Determinación del porcentaje de humedad.

Determinación del peso unitario suelto y compactado.

Características del cemento.

4.3.1 Análisis mecánico para agregado grueso

Se utilizó material grueso del banco de préstamo ubicado en la comunidad de Gareca que se encuentra en la carretera Canaletas – Entre Ríos propiedad del señor Mario Flores.

La granulometría, tiene la finalidad de determinar las dimensiones de las partículas, porcentajes y graduaciones en que se encuentran.

Figura N° 12 Tamices usados en la determinación de la granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.1 Tamaño Máximo (TM)

El tamaño máximo absoluto del agregado grueso corresponde al material que pasa el 100 % de la muestra y es:

T.M= 1" (25 mm)

4.3.1.2 Tamaño Máximo Nominal (TMN)

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y corresponde a la abertura del tamiz inmediatamente menor al tamaño máximo, cuando por dicho tamiz pasa el 90 % o más de la muestra.

T.M.N= ¾" (19 mm)

4.3.1.3 Granulometría y módulo de finura del agregado grueso

Para determinar el módulo de finura del agregado grueso se realizó la granulometría en base a norma ASTM C 136, por lo que se tiene:

Tabla N° 16. Granulometría agregado grueso.

Granulometría	Tamiz	1"	¾"	½"	3/8"	¼"	N° 4
Grava ¾"	% Pasa	100	83,09	35,338	18,046	2,89	1,092

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

Para determinar el módulo de finura del agregado grueso se toma en cuenta el porcentaje retenido en los tamices de 1 ½", ¾", 3/8", y N° 4, usando la siguiente fórmula:

$$MF = \frac{\% \text{ ret. } (1 \frac{1}{2}'' , \frac{3}{4}'' , \frac{3}{8}'' , N^{\circ} 4 + 500)}{100}$$

Donde se obtuvo un M.F= 6,98.

4.3.2 Análisis mecánico del agregado fino

El material fino se obtuvo del mismo banco de préstamo del agregado grueso, el cual también se realizó el correspondiente análisis.

4.3.2.1 Tamaño Máximo (T.M)

El tamaño máximo del agregado fino corresponde al material que pasa el 100 % de la muestra:

T.M= 3/8" (9,50 mm)

4.3.2.2 Granulometría y módulo de fineza del agregado fino

Tabla N° 17. Granulometría del agregado fino.

Granulometría	Tamiz	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 30	N° 50	N° 100
Arena	% Pasa	100	93,52	79,34	67,57	51,69	23,74	5,09

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

Para determinar el módulo de fineza del agregado fino se toma en cuenta el % retenido en todos los tamices usados en la granulometría y usando la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\% \text{ ret. } \left(\frac{3}{8}''; N^{\circ} 4 + N^{\circ} 8 + N^{\circ} 16 + N^{\circ} 30 + N^{\circ} 50 + N^{\circ} 100 \right)}{100}$$

Donde se obtuvo un M.F = 2,79.

4.3.3 Determinación del peso específico del agregado grueso.

Realizado el ensayo y obtenido los resultados se presentan en la tabla N° 17.

Tabla N° 18. Peso específico agregado grueso.

N°	Peso específico a granel	Peso específico S.S.S	Peso específico aparente	% de absorción
	(gr/cm3)	(gr/cm3)	(gr/cm3)	%
1	2,556	2,591	2,648	1,358
2	2,524	2,567	2,637	1,711
3	2,524	2,567	2,637	1,711
Promedio	2,540	2,579	2,643	1,534

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

4.3.4 Determinación del peso específico del agregado fino

El peso específico es la relación entre el peso del material y el volumen.

Figura N° 13 Pesaje de muestras para la determinación del peso específico del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

Como ningún sólido puede encontrarse totalmente compacto, todos poseen dos a 3 volúmenes distintos, el aparente que incluye los poros, y a granel o absoluto, que no toma en cuenta los poros.

Tabla N° 19. Peso específico agregado fino.

N°	P. E. a Granel	P. E. Saturado con sup. seca	P. E. Aparente	% Absorción
	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	(gr/cm ³)	%
1	2,277	2,316	2,368	1,66
2	2,502	2,543	2,610	1,64
3	2,502	2,543	2,610	1,64
Promedio	2,427	2,467	2,530	1,65

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio

4.3.5 Determinación del peso unitario suelto y compactado

Las tablas N° 19 y 20 indican los pesos unitarios sueltos y compactados de ambos agregados, los cuales se usaron para la dosificación.

Tabla N° 20. Peso unitario suelto y compactado agregado grueso.

Peso unitario suelto y compactado agregado grueso			
Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Peso muestra compactada	Peso unitario compactado
(gr)	(gr/cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)
14903	1,512	16143	1,638
14803	1,502	16098	1,635
14823	1,504	16113	1,635
Promedio	1,506	Promedio	1,636

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

Tabla N° 21. Peso unitario suelto y compactado agregado fino.

Peso unitario suelto y compactado agregado fino			
Peso muestra suelta	Peso unitario suelto	Peso muestra compactada	Peso unitario compactado
(gr)	(gr/cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)
4321,6	1,470	4795	1,632
4328,5	1,473	4896	1,666
4325	1,472	4934	1,679
Promedio	1,472	Promedio	1,659

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

4.3.6 Determinación del porcentaje de humedad

Realizados los ensayos a ambos agregados los resultados se exponen en la siguiente tabla.

Tabla N° 22. Porcentaje de humedad de los agregados.

Porcentaje de humedad	
Agregado	%
Grueso	1,36
Fino	2,85

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

4.4 Determinación de la dosificación

Para la dosificación del hormigón y encontrar la combinación más económica y práctica de agregados disponibles, cemento, agua, agregado fino y grueso, se tomó en cuenta el procedimiento propuesto por el comité ACI - 211.

A continuación, en la tabla N° 22, se muestra los pasos del método ACI - 211, para establecer las proporciones de cada componente para un metro cúbico de hormigón el cual se detalla en el Anexo 3.

Tabla N° 23 Procedimiento de diseño ACI – 211.

Procedimiento de diseño ACI-211	
Paso	Descripción
1	Selección del asentamiento
2	Selección del tamaño máximo del agregado
3	Estimación del contenido de aire
4	Estimación del contenido de agua de mezclado
5	Determinación de la resistencia de diseño
6	Selección de la relación agua-cemento
7	Cálculo del contenido de cemento
8	Estimación de las proporciones de agregados
9	Ajuste por humedad de los agregados
10	Ajustes a las mezclas de prueba

Fuente: Método ACI – 211.

4.4.1 Diseño de la mezcla de hormigón

Las mezclas están diseñadas de acuerdo al procedimiento descrito por la ACI – 211, las características de diseño adoptadas fueron adoptadas de tablas descritas anteriormente. Todo el cálculo realizado para la dosificación, se detalla en Anexo 3, por lo que a continuación se observan los pesos finales de los materiales, tanto en estado seco como húmedo y las proporciones que presenta cada uno por m³ de concreto.

Tabla N° 24. Pesos secos de ingredientes por metro cúbico de concreto.

Pesos secos de los ingredientes por (m ³) de concreto			
Ingrediente	Peso seco	Volumen absoluto	Peso específico
	kg/m ³	lt/m ³	gr/cm ³
Cemento	417,5	136,885	3,05
Agua	167	167	1
Grava	1095,839	414,673	2,64
Arena	711,979	281,440	2,52

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

Tabla N° 25. Pesos húmedos de ingredientes por metro cúbico de concreto.

Pesos húmedos de los ingredientes por (m ³) de hormigón		
Ingrediente	Peso seco	Peso húmedo
	kg/m ³	kg/m ³
Cemento	417,5	417,5
Agua	167	160,33
Grava	1095,83	1110,75
Arena	711,97	732,26

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

Una vez obtenido los pesos de cada componente para un m³ de concreto, procedemos a determinar las proporciones de nuestra mezcla, dando como resultado:

Tabla N° 26. Proporciones de mezcla para el Whitetopping.

Proporciones de mezcla		
Cemento	Arena	Grava
1	1,7	2,6

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

4.5 Elaboración de probetas y vigas

4.5.1 Preparación de los materiales

Grava y arena

Tanto la grava como la arena utilizada en la presente práctica deberán estar limpias y totalmente secas, para proceder con la elaboración de la mezcla.

Cemento

Las características tanto físicas como químicas del cemento "El Puente IP - 30" usado fueron proporcionadas por medio de un informe de calidad dado por el laboratorio de SO.BO.CE. Este informe se encuentra dentro de las especificaciones que exige la Norma Boliviana (NB 011).

Agua

Siempre se utilizó agua potable y para su cuantificación se usaron probetas graduadas y normalizadas considerando el ajuste por humedad de los áridos.

4.5.2 Procedimiento de elaboración

Mezclado.

Para el mezclado se utilizó una mezcladora de tambor rotatorio eléctrico proporcionada por el laboratorio de la Universidad Juan Misael Saracho.

Figura N° 14 Mezcladora de tambor.



Fuente: Elaboración propia.

Consistencia del Hormigón.

La consistencia de cada preparación de concreto se midió inmediatamente después de mezclar, realizando el ensayo de asentamiento, usando el Cono de Abrams.

Figura N° 15 Cono de Abrams.



Fuente: Elaboración propia.

Vaciado.

El vaciado se realizó sobre los núcleos de asfalto obtenidos del tramo en estudio. Se usaron moldes cilíndricos metálicos de 10 cm x 20 cm proporcionados por el laboratorio de suelos y asfaltos para combinar con los núcleos. Moldes metálicos de 15 cm x 30 cm proporcionados del laboratorio de hormigones y vigas de 15 cm x 15 cm x 50 cm, donde estos fueron cubiertos en su interior con aceite para que la superficie quede lisa y fácil de desencofrar.

Figura N° 16 Vaciado en probetas de 15 x 30 cm.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 17 Moldes para el vaciado de vigas 15 cm x 15 cm x 50 cm.

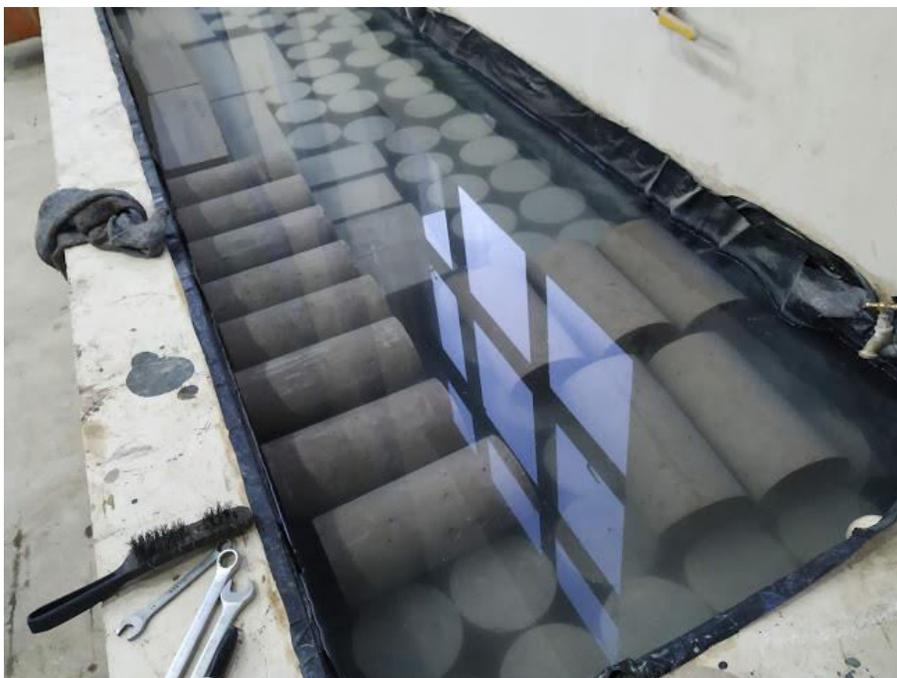


Fuente: Elaboración propia.

Curado.

Vaciadas las mezclas, se dejan fraguar durante 24 hrs para luego proceder al desencofrado y luego sumergir las probetas en la piscina que brinda el laboratorio para el curado de probetas.

Figura N° 18 Piscina usada para el curado de probetas.



Fuente: Elaboración propia.

4.5.3 Probetas para el ensayo de compresión

Se realizó dos ensayos: el primero se hizo 3 probetas de 15 cm x 30 cm de prueba, para el control de la mezcla y posteriormente la resistencia a compresión mediante la prensa.

Figura N° 19 Probetas de 15 X 30 cm.



Fuente: Elaboración propia

La segunda prueba se realizó 6 probetas pequeñas (asfalto – hormigón) y 6 probetas de 15 cm x 30 cm, los ensayos de rotura en ambas pruebas son necesarios ya que sirven para el control de la dosificación, resistencia, comportamiento y adherencia del asfalto – hormigón a diferentes edades (14 y 28 días).

Figura N° 20 Probetas asfalto - hormigón de 10 cm X 20 cm (Whitetopping).



Fuente: Elaboración propia.

Previa realización del ensayo de compresión, se debe pesar cada probeta, además medir el diámetro y altura. Una vez ya con estos datos se coloca la probeta entre las placas de la máquina verificando que estén debidamente centradas para la realización del ensayo.

Figura N° 21 Probetas Whitetopping colocadas en el plato de carga.



Fuente: Elaboración propia

4.5.4 Vigas para el ensayo a flexo-tracción

Para el ensayo a flexo-tracción se realizó 4 moldes con la dosificación usada para las probetas cilíndricas. Para esto se usó moldes de 15 cm x 15 cm x 50 cm y siguiendo el mismo procedimiento para las probetas cilíndricas se coloca la mezcla en los moldes, a las 24 horas se desencofra, curado en la piscina (7, 14, 28 días) y posteriormente se determinar la resistencia a flexión.

Figura N° 22 Elaboración de vigas para ensayo a flexión.



Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos del ensayo a flexo-tracción se encuentran en el Anexo 3, a continuación, se presenta una tabla resumida de los resultados obtenidos sobre las vigas realizadas. Tanto la caracterización, preparación y dosificación de los materiales para la mezcla se realizó en el laboratorio de hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Tabla N° 27 Resultados del ensayo a flexo-tracción en vigas

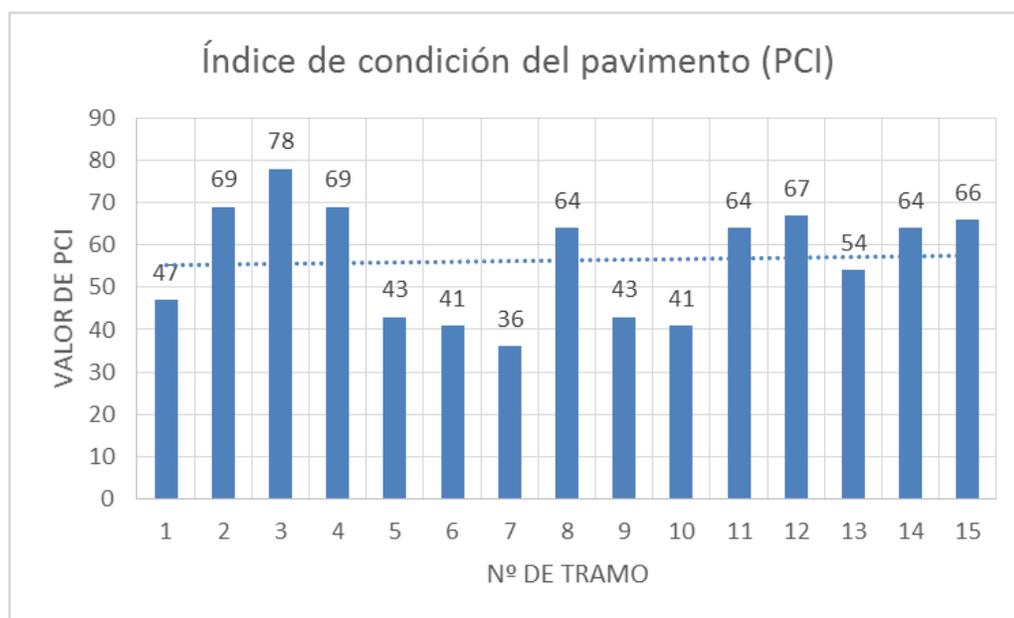
Prob. N°	Identificación	Edad	Dim. "a"	Carga "F"	Flextr (fct,f)
		(días)	(cm)	(KN)	(kg/cm ²)
1	Viga muestra 1	7	15	12,88	17,51
2	Viga muestra 2	14	15	18,7	25,43
3	Viga muestra 3	14	15	16,3	22,16
4	Viga muestra 4	28	15	22,33	30,36

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio.

4.6 Análisis e interpretación de resultados.

1.- Una vez terminado con todo el proceso que requiere una rehabilitación con Whitetopping, podemos comenzar por la interpretación de los resultados obtenidos en la evaluación visual del tramo, mediante la metodología del índice de condición del pavimento descrito anteriormente, teniendo como resultados los valores expuestos en la Tabla N° 11 pág. 48 se expresan en la siguiente figura.

Figura N° 23 Valores de la evaluación visual (PCI)



Fuente: Elaboración propia

Teniendo un valor medio de PCI=56 para todo el tramo en estudio catalogado como regular, donde podemos evidenciar la necesidad de una rehabilitación a simple vista, la calidad de rodaje es aceptable pero el deterioro aumenta rápidamente.

2.- Los resultados obtenidos en la verificación de los materiales de las capas que conforman el paquete estructural existente se exponen en el anexo 4, donde fue de mucha utilidad para comprender las causas que intervinieron en el deterioro del tramo, la clasificación se realizó en dos puntos en los cuales las fallas eran visibles, dando la siguiente clasificación:

Tabla N° 28 Clasificación de los materiales que componen las capas base y subbase.

Capa	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS
Base	A-2-4(IP=10,7)	GP - GC
Subbase	A-2-6(IP=10.9)	GW - GC

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio

Las granulometrías obtenidas en los ensayos cumplen con las especificaciones técnicas dadas en las tablas N° 3 y N° 5 páginas 17 y 18 obtenidas del "Instituto Nacional de Vías Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras", lo cual el problema en los deterioros no radica en estas capas.

3.- Continuando la evaluación estructural del tramo con métodos destructivos, para la capa de rodadura se realizó un ensayo de extracción de núcleos, el cual pudimos verificar los espesores y el contenido de cemento asfáltico expuesto en el anexo 4, donde obtuvimos un valor de 4,75 % de contenido de cemento asfáltico, el cual se encuentra por debajo del contenido mínimo que es de 4,85 % dado por el Ing. Carlos Crespo Villalaz en su libro "Vías de Comunicación Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos". Por lo tanto es un factor por el cual el tramo en estudio sufrió un deterioro más rápido de lo predicho al momento de su diseño.

4.- Dados los resultados de la evaluación, evidenciamos la necesidad de una rehabilitación, por lo tanto se estudió la aplicación del Whitetopping para el tramo en estudio. Se realizó la caracterización de los materiales del lugar para la conformación del Whitetopping dándonos como resultado las siguientes cantidades por metro cúbico:

Tabla N° 29. Cantidades de materiales para m³ de hormigón

Ingrediente	Peso seco kg/m³	Peso húmedo kg/m³
Cemento	417,50	417,50
Agua	167,00	160,34
Grava	1095,84	1110,76
Arena	711,98	732,26

Fuente: Elaboración propia en base a ensayos de laboratorio

Y estableciendo una proporción de agregados de:

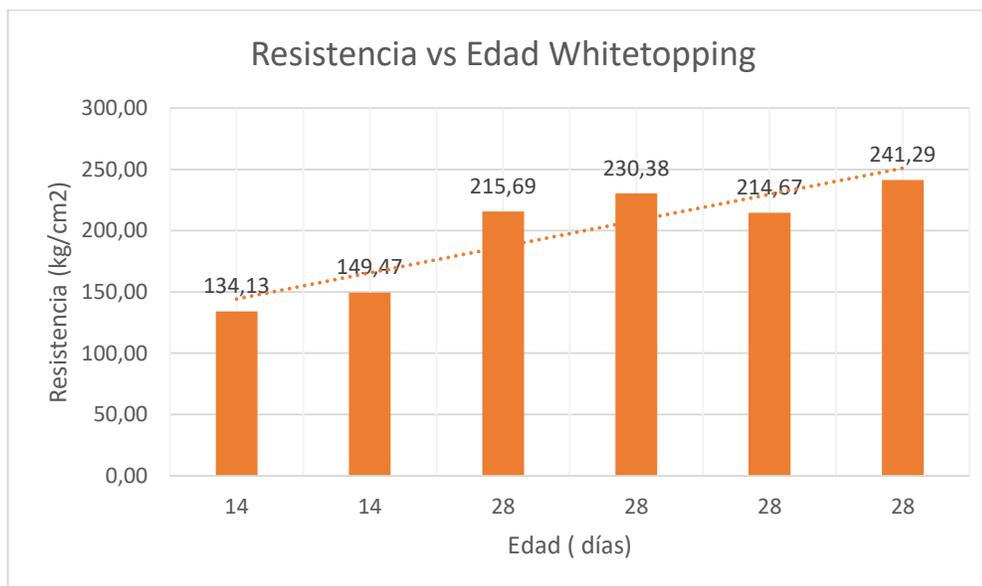
Cemento	Arena	Grava
1,0	1,71	2,62

Posteriormente con estos valores se realizó la preparación de la mezcla para el control respectivo de resistencia del hormigón.

Realizado el ensayo de compresión, se expone los resultados obtenidos en la tabla N° 29.

5.- Realizadas los ensayos para el Whitetopping (probetas asfalto + hormigón), se puede decir que las resistencias esperadas para esta nueva metodología de rehabilitación de pavimentos están por debajo a lo propuesto, pudiendo influir los espesores del asfalto existente o materiales extraídos de canteras cercanas, con los cuales se trabajó en estas probetas para el diseño del tramo en estudio, los resultados de los ensayos fueron a 14 y 28 días de curado expresados en el siguiente gráfico:

Figura N° 24 Resistencias a compresión del Whitetopping



Fuente: Elaboración propia

Estos resultados del Whitetopping nos indican que el asfalto existente en el tramo y el hormigón a colocarse pueden trabajar conjuntamente, pero con la necesidad de incorporar correcciones en la dosificación que mejoren los resultados en los ensayos.

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos de las roturas a compresión simple, donde se generó dos hipótesis sobre lo obtenido:

Hipótesis 1: La media de rotura del concreto asfáltico es mayor que la media muestral.

Hipótesis 2: La media de rotura del concreto asfáltico es menor que la media muestral.

Para obtener el valor de la resistencia del asfalto de nuestras muestras se sacó la media muestral de las probetas asfalto - hormigón y las de hormigón.

Probetas A +

Probetas H⁰

H°	
215,6942675	249,47208
230,3820341	229,87243
214,6657842	232,050169
241,2917197	239,006835
215,6942675	272,577495
230,3820341	242,547771
214,6657842	249,824204
241,2917197	217,138004
	231,575372
	224,81232

X1=	225,5084514	X2=	238,887668
-----	-------------	-----	------------

Posteriormente despejamos la resistencia del asfalto(ΔF) de la siguiente ecuación donde comparamos la resistencia a compresión de las probetas compuestas (A+H) de las probetas simples.

$$X1 + \Delta F$$

X1= Resistencia media Asfalto - Hormigón

X2= Resistencia media del Hormigón

ΔF = Resistencia media muestral del Asfalto

μ = Media poblacional de rotura del asfalto

$$\frac{\Delta F}{X2 - X1} = 100$$

$$\frac{\Delta F}{238,88 - 225,51} = 100$$

$$\Delta F = 5,60063088 \text{ kg/cm}^2$$

La media poblacional se obtuvo de investigaciones realizadas en Perú y Ecuador donde se promedió un valor de resistencia a compresión del asfalto de:

$$\mu = 4,53 \text{ kg/cm}^2$$

Obtenidos los resultados de ambas medias se pasa a comprobar la hipótesis propuesta al inicio:

$$\mu < \Delta F$$

μ	<	ΔF
4,53		5,6

H1:	$\mu > \Delta F$
H2:	$\mu < \Delta F$

H1: La media de la resistencia del refuerzo Whitetopping es menor a la media del pavimento sin refuerzo.

H2: La media de la resistencia del refuerzo Whitetopping es mayor a la media del pavimento sin refuerzo.

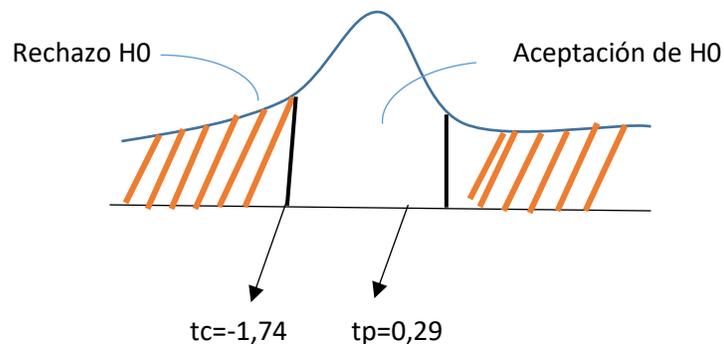
Se usará una significación del 5%

Para obtener los valores críticos se usará la tabla de T-Student ya que la cantidad de datos manipulados anteriormente son menores a 30 datos. En la tabla se ingresa con la confianza y los grados de libertad que es el número de datos menos uno.

Grados de libertad: $n-1 = 18-1=17$

Nivel de
confianza:

0.95



Con esto obtenemos el valor crítico que es $t_c = 1.740$

Tabla 3. VALORES T DE LA DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT

Valores de $T_{\alpha,v}$				$1 - \alpha = P (T \leq t_{\alpha,v})$			
$v \backslash 1-\alpha$	0.8	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995	0.999
1	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656	318.289
2	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.328
3	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.214
4	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173
5	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.894
6	0.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208
7	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785
8	0.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501
9	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297
10	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144
11	0.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025
12	0.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930
13	0.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852
14	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787
15	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733
16	0.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686
17	0.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646

Luego se procede a la obtención del valor de prueba donde por fórmula para datos menores a 30 se realiza con la siguiente ecuación:

$$T_p = \frac{X - \mu}{\frac{S}{(\sqrt{n})}}$$

$$T_p = \frac{5,6 - 4,53}{\frac{15,39}{(\sqrt{18})}}$$

$T_p =$	0,29497242
---------	------------

Decisión: Se acepta la hipótesis nula propuesta

Conclusión: La media del refuerzo Whitetopping es menor a la media del pavimento sin refuerzo, no obstante, pueden llegar a ser valores cercanos a la media poblacional, la cual no tiene la suficiente fundamentación estadística confiable.

6.- Se realizó el diseño del refuerzo Whitetopping aplicando la metodología AASHTO – 93 dándonos como resultado un espesor de 6 cm, valor que se encuentra entre los rangos de espesor para este tipo de refuerzos de pavimentos asfálticos.

Así también se realizó el diseño mediante la metodología ACPA (Asociación del Cemento Portland Americano) BCOA-ME, dándonos como resultado un espesor de 5,76 pulgadas (15 cm) para los parámetros de nuestro tramo en estudio. Esta metodología fue diseñada para las condiciones climatológicas y regiones de Estados Unidos, para poder adaptarla a nuestro medio se buscó semejanzas tanto en el clima y alturas sobre el nivel del mar.

7.- Para comprobar la viabilidad de esta técnica de rehabilitación se hizo un análisis de precios unitarios como también un presupuesto total, tanto para el refuerzo de hormigón Whitetopping como para un refuerzo de asfalto, que se encuentra en el anexo V, de esta forma pudimos confirmar las teorías estudiadas sobre las ventajas de este tipo de rehabilitaciones en cuanto a costos se refiere.

El presupuesto que se sacó fue para un área de 7,3 m. (ancho de vía) y 2600 m. de longitud.

Tabla N° 30 Presupuesto total Whitetopping

PRESUPUESTO TOTAL REFUERZO WHITETOPPING					
Proyecto: Diseño de pavimento Whitetopping en pavimentos adheridos al tramo Canaletas - Entre Ríos					
Ítem N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. Total	Costo P/Ítem
1	Limpieza de superficie	m ²	18980	10,3388	196229,53
2	Losa de H° S° e= 6 cm	m ³	1138,8	1512,22	1722115
3	Curado del Hormigón	m ²	18980	19,3575	367404,56
4	Corte y Sellado con SIKA	ml	2600	16,5707	43083,889
				Costo total (Bs)=	2.328.833
				Costo total (\$us)=	334.602,44

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 31 Presupuesto total refuerzo asfáltico

PRESUPUESTO TOTAL REFUERZO ASFÁLTICO					
Proyecto: Diseño de pavimento Whitetopping en pavimentos adheridos al tramo Canaletas - Entre Ríos					
Ítem N°	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. Total	Costo P/Ítem
1	Limpieza de superficie	m ²	18980	10,338753	196229,5282
2	Imprimación asfáltica	m ²	18980	16,942433	321567,3853
3	Refuerzo de pavimento asfáltico	m ²	18980	154,45299	2931517,712
Costo total (Bs)=					3.449.314,63
Costo total (\$us)=					495.591,18

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 32 Resultados del ensayo de compresión.

Ensayo de resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón simple										
Diseño de pavimento whitetopping en pavimentos adheridos tramo Canaletas - Entre Ríos										
Laboratoristas: Jhonny Gabriel Torrez Cayo										
Identificación: Pavimento Rígido										
Procedencia: Comunidad de Gareca										
Solicitante: Jhonny Gabriel Torrez Cayo										
Probeta N°	Procedencia	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad (días)	Sección (cm ²)	Lectura KN	Carga (kgr)	Resistencia (kgr/cm ²)	Fecha: 26/10/2018	
									Proyección a 28 días	
1	Carril Central (A+H)	12/10/2018	26/10/2018	14	76,94	126,6	12913,2	167,84	134,13	
2	Carril Izquierdo (A+H)	12/10/2018	26/10/2018	14	73,86	138,2	14096,4	190,85	149,47	
3	Carril Derecho (A+H)	12/10/2018	09/11/2018	28	78,50	195	19890	253,38	215,69	
4	Carril Central (A+H)	12/10/2018	09/11/2018	28	77,48	191,8	19563,6	252,50	230,38	
5	Carril Izquierdo (A+H)	12/10/2018	09/11/2018	28	75,55	188,6	19237,2	254,63	214,67	
6	Carril Derecho (A+H)	12/10/2018	09/11/2018	28	78,50	185,7	18941,4	241,29	241,29	
7	Mezcla 1	12/10/2018	26/10/2018	14	176,63	191,8	19563,6	110,76	130,31	
8	Mezcla 1	12/10/2018	26/10/2018	14	176,63	195,1	19900,2	112,67	132,55	
9	Mezcla 1	12/10/2018	26/10/2018	14	176,63	185,7	18941,4	107,24	126,17	
10	Mezcla 2	16/10/2018	08/11/2018	23	176,63	325	33150	187,69	249,47	
11	Mezcla 2	16/10/2018	08/11/2018	23	176,63	380	38760	219,45	229,87	
12	Mezcla 2	16/10/2018	08/11/2018	23	176,63	383,6	39127,2	221,53	232,05	
13	Mezcla 2	16/10/2018	08/11/2018	23	176,63	313,5	31977	181,04	239,01	
14	Mezcla 2	16/10/2018	13/11/2018	28	176,63	390,2	39800,4	225,34	272,58	
15	Mezcla 2	16/10/2018	13/11/2018	28	176,63	420	42840	242,55	242,55	
16	Mezcla 2	16/10/2018	13/11/2018	28	176,625	432,6	44125,2	249,82	249,82	

A+H= Asfalto más Hormigón

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Para justificar y sustentar que el tramo en estudio tiene la necesidad de recurrir a una rehabilitación, es necesario realizar un estudio a detalle sobre la condición del pavimento por medio de ensayos destructivos y no destructivos.
- Se pudo determinar la clasificación de las capas que componen el paquete estructural existente, donde la base y subbase presentan un suelo A-2-6 una grava bien graduada con arcilla con arena GW GC, clasificaciones que están dentro de las normas y notando que el problema del deterioro no radica en estas capas.
- La extracción de núcleos permite evidenciar los espesores del pavimento existente, que en este caso tenemos valores entre 2,30 a 2,70 cm. Dando a conocer que no se trata de un pavimento flexible común, siendo un tratamiento superficial triple.
- El análisis del tráfico fue realizado una vez procesados los aforos obtenidos para cada tipo de vehículo, donde se pudo evidenciar notablemente el crecimiento de camiones semirremolque y remolque que circula por el tramo en estudio, dándonos como resultado 2,81 E+06 Ejes Equivalentes (ESAL's).
- En la zona de estudio, análisis y aplicación del Whitetopping, se pudo evidenciar que el estado del pavimento asfáltico existente no se encuentra en condiciones aceptables, lo cual pudimos determinar mediante la evaluación superficial por el método del Índice de Condición del Pavimento, obteniendo un valor de PCI=56 que se califica como regular, donde en el cual el pavimento muestra fallas fuertes y su condición de rodaje es "buena" pero su deterioro o calidad de rodaje va en aumento.

- Para el diseño del refuerzo Whitetopping no se tiene un método en específico, analizando las condiciones particulares de este estudio y las metodologías usadas en nuestro medio para pavimentos de hormigón, se optó por usar el método AASHTO-93. Asimismo, se hizo el diseño mediante la metodología ACPA BCOA-ME la cual toma datos climáticos específicamente del país Estados Unidos, pudiendo asemejar las condiciones de dicho país con el nuestro.
- Una vez realizado el Whitetopping en laboratorio, podemos decir que el asfalto y el hormigón trabajaron conjuntamente, y no pudimos determinar si el espesor de la capa de rodadura ensayada tuvo incidencia en los valores de resistencias a compresión, ya que los valores de las probetas sin asfalto no varían de gran manera con las que se ensayaron con asfalto.
- De acuerdo a la clasificación en laboratorio de las capas existentes realizado en el presente estudio, podemos decir que el Whitetopping es un refuerzo que dependiendo de las condiciones de las capas inferiores y de la capa de rodadura el valor soporte puede variar significativamente, dándonos un módulo de reacción de 270 psi/pulg.
- Las especificaciones del hormigón para la elaboración del Whitetopping son las mismas usadas para pavimentos rígidos nuevos, donde realizados los ensayos de laboratorio, se determinó una dosificación por el método de la A.C.I de:

Cemento	Arena	Grava
1,0	1,71	2,62

- Del análisis económico resultante se obtiene el presupuesto total de construcción para las alternativas comparadas.

Refuerzo	Refuerzo Whitetopping	Refuerzo Asfáltico
Longitud del tramo (Km)	2,6	2,6
Costo en Bs.	2.328.832,97	3.449.314,63

Por lo cual la alternativa de refuerzo Whitetopping es la más adecuada desde el punto de vista económico.

- Después de la inspección a detalle de la totalidad de los 26 km que comprende el tramo Canaletas – Entre Ríos y realizar ensayos para determinar las causas del deterioro existente, podemos decir que existen lugares críticos donde las capas del paquete estructural están correctamente graduadas y el problema radica en la inestabilidad de taludes que en épocas de lluvia se agrava y provoca deslizamientos.

5.2 Recomendaciones

- Antes de proponer un pavimento Whitetopping se recomienda la evaluación superficial y estructural a detalle del pavimento existente, para así contar con información suficiente y seleccionar el método que más se adecúe a las condiciones del tramo.
- En tramos que presenten deterioros estructurales muy altos, se recomienda usar acciones alternativas de reparación previas al Whitetopping.
- Se deben desarrollar especificaciones técnicas precisas en cuanto a los materiales, equipo y controles de laboratorio respectivos, para así obtener mezclas con resistencias adecuadas a lo requerido.
- Para la confección de probetas se debe realizar primeramente una mezcla de prueba y verificar su resistencia, para luego corregir en caso de fallas en las resistencias.
- Se recomienda fresar y limpiar profundamente antes de depositar el Whitetopping para que adquiriera una textura rugosa y contribuya a la adherencia.
- Realizar aforos de vehículos las 24 horas en vías de alto tránsito, ya que el tránsito incide de manera directa en el diseño del Whitetopping.
- Efectuar ensayos de resistencias a los materiales a usar en la confección de probetas de Asfalto - Hormigón.
- Se recomienda estudiar la adherencia en los pavimentos Whitetopping, para poder verificar su incidencia en este tipo de pavimentos.

