

1. DISEÑO TEÓRICO METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas modernas de rehabilitación permiten la recuperación de los estándares de diseño, reduciendo el impacto sobre los usuarios, tanto y durante la ejecución de las obras (requiriéndose muy poco tiempo para rehabilitar), como durante su vida en servicio (reduciendo los problemas de deterioro).

Dentro de las alternativas disponibles para rehabilitar pavimentos, y en particular, para pavimentos flexibles, se encuentran las capas delgadas de hormigón aplicadas directamente sobre el pavimento deteriorado.

Esta técnica se denomina Whitetopping, (cubierta blanca). La traducción literal marca la diferencia entre el color de un pavimento de hormigón (blanco) frente a uno de asfalto (negro) (Figura 2.1)

Este sistema incluye la corrección de las principales deformaciones en el asfalto y la colocación del hormigón que se construye directamente sobre la superficie asfáltica ya tratada.

Entre las ventajas del Whitetopping tenemos una larga vida, bajo costo en mantenimiento, bajo costo por aplicación, un aumento en la seguridad y una menor contaminación al ambiente.

De acuerdo al espesor de las capas de hormigón, tenemos distintas clasificaciones para esta técnica de rehabilitación de pavimentos. Si las capas son mayores a los 20 cm. de espesor se habla de Whitetopping convencional, mientras que para espesores entre los 10 a 20 cm. se denominan Whitetopping (delgados) y finalmente para espesores menores a 10 cm se habla de Ultra Thin Whitetopping (ultra delgados). (Figura 2.2)

La idea y objetivo de este trabajo, es mostrar la técnica Whitetopping como una alternativa viable a la hora de rehabilitar los pavimentos deteriorados de asfalto.

La primera etapa de este trabajo consistirá en la recopilación y análisis de experiencias extranjeras principalmente en los Estados Unidos.

Además está la posibilidad de varios sitios de Internet que cuentan las últimas novedades acerca de Whitetopping.

Del análisis de los datos reunidos, se obtendrá una guía de diseño, como también del proceso constructivo.

En Bolivia la técnica del Whitetopping es una práctica que no se ha desarrollado hasta el momento, pero sería un gran avance el incursionar esta técnica en nuestro país, ya que ingenieros Bolivianos asistieron al congreso denominado “Más y Mejores Caminos para el Crecimiento y la Integración” en el país vecino de Argentina donde se estuvo exponiendo la técnica mencionada.

El autor del presente trabajo pretende incursionar la técnica del “Ultra Thin Whitetopping”, que sería aplicada en el pasaje Las Rosas de la Ciudad de Tarija, ubicado entre calles Oruro y Potosí, la cual tiene un pavimento flexible deteriorado y con un volumen de tráfico medio, el cual podría servir de una vía de descongestionamiento para la avenida La Paz, y de esta forma darle un mayor tiempo de vida útil al pavimento.

Queriéndose determinar el espesor adecuado de pavimento rígido que requerirá el pasaje Las Rosas, se debe mencionar que esta vía servirá para reducir el flujo vehicular sobre la avenida La Paz en horas pico, así como también dar comodidad a conductores, el diseño del espesor necesario se llevará a cabo mediante la elaboración de probetas de hormigón y hormigón-asfalto los cuales se realizaran en el Laboratorio de Hormigones de SO.BO.CE., el espesor se diseñará bajo técnicas de recomendaciones de la (PCA), el cual sirvió para diseñar los espesores de avenidas de Estados Unidos como del país vecino Argentina.

La aplicación de esta técnica en la ciudad de Tarija pretende dar una solución económica a las instituciones encargadas de construir las calles, caminos, carreteras y aeropuertos, ya que reducirá sustancialmente los costos en mantenimiento y al mismo tiempo le dará mayor tiempo de vida útil al pavimento.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido al crecimiento poblacional y vehicular de la ciudad de Tarija, se vio necesario utilizar la técnica del “Ultra Thin Whitetopping” para la rehabilitación de los pavimentos flexibles, en las avenidas de la ciudad, identificando problemas en las capas estructurales y

minimizando de esta manera su deterioro, ya que esta misma provoca malestar en los peatones y conductores que transitan por las calles y avenidas, tratando de buscar una solución a este problema se ve la necesidad de utilizar la técnica del “Ultra Thin Whitetopping” para contrarrestar el deterioro y a su vez darle mayor tiempo de vida útil al pavimento flexible. El principal justificativo de este trabajo es el de mejorar el flujo vehicular, mejorando el pavimento flexible existente de manera adecuada bajo la técnica del Whitetopping.

Aminorando los costos en mantenimiento, de esta manera destinar los recursos económicos sobrantes a otras obras vecinas para una mejor calidad de vida de los habitantes de nuestra ciudad.

Hay numerosos beneficios del uso del Ultra Thin Whitetopping. Uno de ellos es que el Whitetopping le da más resistencia al pavimento asfáltico deteriorado, extendiendo la vida en servicio del pavimento de la carretera o el aeropuerto, otro beneficio es que el Whitetopping puede proveer un tránsito suave que le de confort al conductor y puede mejorar significativamente la vida funcional del pavimento.

1.3. SITUACIÓN PROBLÉMICA

Los continuos problemas que se presentan en nuestras calles, avenidas y carreteras es el desgaste acelerado del pavimento flexible, como también su bajo tiempo de vida útil.

1.3.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.

El avance del deterioro del pavimento flexible, involucra malestar en el transitar y flujo vehicular de los vehículos en calles y avenidas de la ciudad de Tarija.

1.3.2. OBJETO DE ESTUDIO.

Técnica del “Ultra Thin Whitetopping” para la prevención del deterioro de los pavimentos flexibles.

1.3.3. CAMPO DE ACCIÓN.

Rehabilitación de pavimentos flexibles, basados en la técnica del “Ultra Thin Whitetopping” para extender la vida útil de los pavimentos asfálticos deteriorados aplicados en calles, carreteras, avenidas y aeropuertos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL:

Elaborar una alternativa de solución de rehabilitación del pavimento flexible del Pasaje Las Rosas, mediante la técnica del Ultra Thin Whitetopping,

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Definir un pavimento flexible y sus características técnicas.
- ❖ Determinar el espesor del asfalto mediante la extracción de núcleos del pasaje las rosas, el cual nos servirá para realizar el espesor del Ultra Thin Whitetopping.
- ❖ Caracterizar el análisis mecánico de los agregados como ser: Granulometría, Peso Específico, Peso Unitario y cemento, empleados para pavimento rígido.
- ❖ Determinar las características básicas del hormigón, elaborando probetas y vigas en laboratorio, comprobando la resistencia a compresión y flexión.
- ❖ Realizar una evaluación superficial del pavimento flexible mediante el método P.C.I.
- ❖ Realizar el estudio de tráfico del Pasaje las Rosas.
- ❖ Determinar el Índice de rugosidad (IRI) del pavimento flexible.
- ❖ Diseñar un espesor adecuado de refuerzo, tomando en cuenta el tráfico vehicular y la capa de rodadura que presenta actualmente el Pasaje Las Rosas.
- ❖ Comparar el factor económico entre la técnica del Ultra Thin Whitetopping vs refuerzo de pavimento flexible.

1.5 ALCANCES

En el alcance de esta investigación, se deberá hacer una breve introducción de la técnica del Whitetopping para conocer las primeras experiencias que se realizaron, la preparación del pavimento a recubrir, su ejecución y evaluación posterior, luego una aproximación de los años de servicio que tienen las mismas.

La técnica que se estudiará, está definido como la técnica del Ultra Thin Whitetopping ya que el pavimento cumple con los requerimientos necesarios.

Describir la tecnología Whitetopping como una alternativa de solución diferente frente a las continuas operaciones de conservación realizadas a los pavimentos asfálticos.

2. ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. INTRODUCCIÓN

Desde los senderos hechos a fuerza de paso, hasta las grandes carreteras de concreto, el hombre ha modificado su entorno de acuerdo con las necesidades de su tiempo.

Actualmente, en la era de las comunicaciones, la necesidad de construir caminos más fuertes y más seguros intensifica su mirada en el concreto, material de grandes posibilidades para el desarrollo de los caminos en el mundo contemporáneo. La historia de las modernas técnicas de construcción de caminos y puentes tiene sus inicios alrededor de 1850, con Tressaguet en Francia y John Metcalfe en el Reino Unido, quienes desarrollaron un método de construcción con base en la colocación de piedras largas, limitadas por piedras de tamaño progresivamente más pequeño. Este tipo de caminos, junto con otros realizados con piedras, grava y arena, fueron diseñados para los bajos volúmenes y velocidades de los primeros vehículos, hasta que la industria automotriz, al ir creciendo a pasos agigantados, fue demandando mejores carreteras y caminos urbanos. El reto, entonces, era buscar un material que resistiera pesadas cargas de manera eficiente y duradera: la solución se tradujo en lo que ahora llamamos la construcción de caminos pavimentados. Fue John Loundon MacAdam, a principios del siglo XIX quien desarrolló el sistema notablemente más económico que se usa en la actualidad. La historia del primer pavimento de concreto se remonta al año 1905, en la ciudad de Ohio, en los Estados Unidos. De ahí en adelante, el uso de este material en la construcción de caminos será recurrente, tanto en dicho país como en Europa. La cronología de la expansión de caminos de concreto en el siglo XX, es la siguiente:

- ❖ 1920 - 1939: Uso de pavimentos de concreto hidráulico, en el Sistema de carreteras de los Estados Unidos, difundiéndose en Europa.
- ❖ 1940 - 1950: Inicios de la aviación comercial; se construyen aeropuertos que utilizan pistas de concreto.
- ❖ 1960 -1970: Uso intensivo de pavimentos de concreto en el sistema de carreteras y aeropuertos de Estados Unidos.
- ❖ 1990: Era de la sobre carpeta de concreto hidráulico o Whitetopping.

La elaboración de concreto para pavimentos, no requiere de materiales ni técnicas especiales. Los componentes de la mezcla (cemento, agua, aire, agregados y aditivos) se pueden adaptar para producir las resistencias deseadas, y bastará con controlar la relación, reacción y contenido de agua y cemento. Sin embargo, al momento de colocar el concreto se debe asegurar la resistencia requerida, ya que de lo contrario, será necesario elaborar una cimentación mucho más fuerte que la normal

El modelo tradicional para la gestión de pavimentos, hoy se reestructura por medio de iniciativas nuevas que han desembocado en programas sistemáticos. Dichos programas están bajo revisión constantemente y se actualizan vía la adquisición de experiencia e información cuantitativa del desempeño de los pavimentos. Se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se puede prolongar a menor costo cuando se implementa un sistema de conservación a intervalos estratégicamente planeados. Se establece que los tratamientos de pavimentos no deben realizarse al azar, sino que se deben aplicar estratégicamente y de acuerdo a un programa que fomente la administración efectiva de la red vial.

La conservación de pavimentos se define como actividades orientadas a brindar y a mantener carreteras usando tratamientos de bajo costo para retardar el deterioro de pavimento, la cual extiende la vida útil de los mismos mejorando también su desempeño y reduciendo las molestias para los usuarios. CP (Conservación de Pavimentos) incluye el mantenimiento preventivo, pero no incluye los pavimentos nuevos o que necesitan reconstrucción.

El lema de la CP en EE.UU. tiene como fundamento la siguiente filosofía: *'The right treatment, at the right time, on the right pavement'*.

'El tratamiento correcto, en el momento correcto, en el pavimento correcto'

Dicho de otra manera, este modelo para la gestión de la red vial propone hacer uso efectivo de recursos económicos limitados, al identificar correctamente las fallas de los pavimentos a ser tratados, empleando tratamientos correctos en el tiempo correcto y por la selección del pavimento correcto. Claro está que esta consigna e implica mayores investigaciones y conocimientos del desempeño del los pavimentos.

La implementación de programas de la CP en EE.UU. tiene por objetivos, la conservación de la inversión de sus redes viales, proporcionar al público pavimentos de mayor seguridad, con las menores molestias e interrupciones por la frecuencia de reconstrucciones. Esto nos permite percibir la magnitud de emprendimientos y el gran reto que representa la implementación sistemática de la Conservación de pavimentos.

2.2. ASPECTOS GENERALES

La infraestructura vial incide mucho en la economía de nuestro país por el gran valor que tiene en ésta, pues al alto costo de construcción, mantenimiento o rehabilitación hay que adicionarle también los costos que se derivan por el mal estado de las vías, por eso los nuevos ingenieros que se dediquen a esta rama de la profesión se enfrentarán a un reto muy importante que es el de proporcionar estructuras de pavimentos eficaces con presupuestos cada vez más restringidos.

Dentro del contexto del diseño de pavimentos se acepta que el dimensionamiento de estas estructuras permite que se establezcan las características de los materiales de las distintas capas del pavimento y los espesores, de tal forma que el pavimento mantenga un "índice" de servicio aceptable durante la vida de servicio estimada

Cuando los pavimentos asfálticos presentan deterioro con fallas tales como ahuellamiento, grietas, piel de cocodrilo y baches dentro de las más comunes, es necesario desarrollar algún tipo de rehabilitación para recuperar el estándar de diseño y a la vez disminuir los riesgos que accidentes que aumentan con las fallas antes mencionadas. La solución más recurrente en nuestro país son los recapados de asfalto, pero con este sistema, si bien se corrige las fallas funcionales, las fallas estructurales permanecen y con el paso del tiempo, el recapado presentará las mismas fallas que presentaba el pavimento original. Es por esta razón que buscando nuevas alternativas de rehabilitación el Whitetopping aparece como una alternativa viable y segura. La construcción de capas de hormigón sobre pavimento asfáltico deteriorado es una técnica conocida como Whitetopping. Incluye la reparación del asfalto existente antes de aplicar la capa, la corrección de las principales deformaciones del perfil de la vía y la colocación de la capa de hormigón, que se construye directamente sobre la superficie de asfalto (Figura 2.1). Esta técnica corrige las deficiencias funcionales y estructurales a la vez.

Según el espesor de la capa de hormigón, el Whitetopping presenta subcategorías: convencional, delgado y ultra delgado, (Figura 2.2) siendo las dos últimas mucho más recientes que la primera, tal como veremos en el breve repaso histórico a continuación.



Figura 2.1: Esquema de la estructura de los pavimentos delgados de hormigón sobre asfalto.

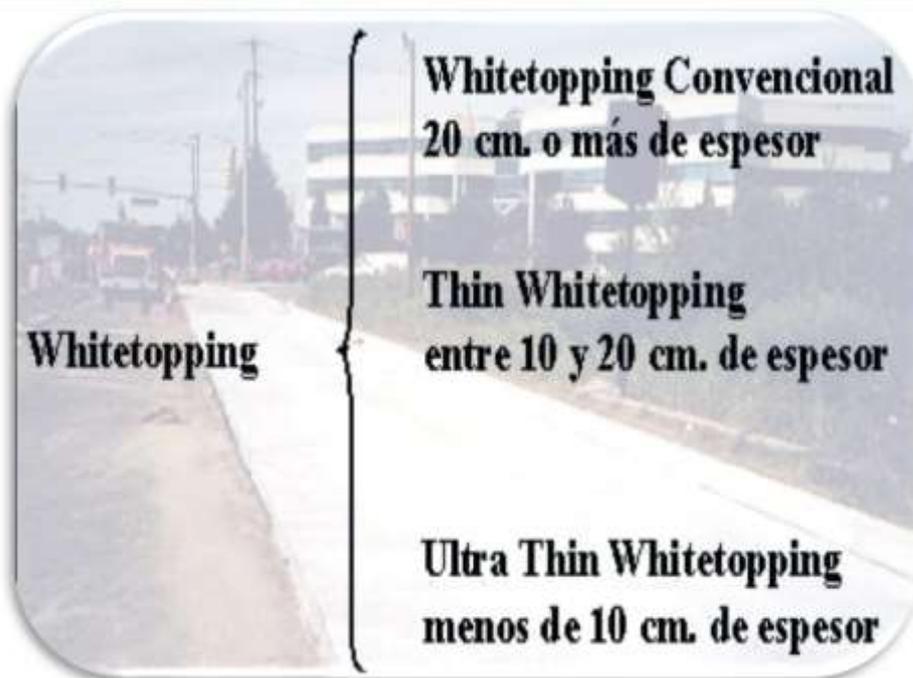


Figura 2.2: Clasificación de los pavimentos de hormigón sobre asfalto, según su espesor.

2.3. RESUMEN HISTÓRICO

Ya desde el año 1918, en los EEUU, se construyen recapados de hormigón, con usos tan variados como aeropuertos, autopistas, carreteras principales y secundarias, calles y áreas de estacionamiento.

Entre los años 1940 y 1950, el principal uso fue en aeropuertos civiles y militares. El espesor en estos casos variaba entre los 20 y 46 cm.

Desde el año 1960, el hormigón ha sido muy utilizado para reparar vías de autopistas existentes en estados como California, Iowa y Utah.

En estas aplicaciones, los espesores variaban entre 17,5 a 25 cm. Según estudios norteamericanos, más de la mitad de los estados han construido proyectos TWT (Thin Whitetopping) o UTW (Ultra Thin Whitetopping) durante el periodo 1999 – 2004.

El crecimiento también se ve reflejado en los datos entregados por la American Concrete Pavement (ACPA) que tiene registros de 282 proyectos UTW en el periodo comprendido entre los años 1992 -2001, totalizando 765000 m².

Como se puede apreciar, el Whitetopping delgado y el ultradelgado son técnicas relativamente nuevas en comparación al Whitetopping convencional que data de principios del siglo pasado. De aparición reciente también, y como complemento a la técnica Whitetopping, son los hormigones Fast Track o de habilitación temprana, que permiten una apertura al tránsito al poco tiempo de aplicada la capa de hormigón.

De esta manera la interrupción de tráfico se reduce al mínimo, pudiendo incluso realizar la rehabilitación de alguna vía en un fin de semana.

La utilización de recubrimientos ultradelgados de hormigón es una técnica de desarrollo relativamente reciente en el mundo, pero desde su implementación en escala experimental, la cantidad de proyectos ha mostrado un crecimiento sostenido a la fecha.

Se ilustra el período 1991-1996 (Figura 2.3). La primera obra experimental, hecha en los EEUU con UTW, se construyó en una zona de relleno próxima a Louisville, Kentucky, y comenzó en septiembre de 1991. En Julio de 1996, Bob Parckard, director de diseño de ingeniería de la American Concrete Pavement Association (ACPA) reportó un total de 68 proyectos en EEUU, Canadá, México y Suecia.



Figura 2.3: Incremento sostenido de proyectos de UTW en EEUU.

El desarrollo simultáneo de hormigones de habilitación temprana (Fast-Track) permite sumar las ventajas de la puesta en servicio de los recubrimientos a pocas horas de haber concluido la ejecución propiamente dicha, con lo que se consigue un Ultra-Thin-White-Topping-Fast-Track (UTWFT) o recubrimiento ultra delgado de habilitación temprana. A continuación un resumen de proyectos citados en la literatura.

Kentucky

Este fue el primer proyecto UTW en los Estados Unidos, se realizó en septiembre del año 1991, específicamente en la zona de Louisville, Kentucky, en el camino de acceso a un basural con un tráfico de 400 a 600 camiones por día, 5.5 días a la semana. La elección de este lugar se debió a que los resultados se verían en menos tiempo dada la alta demanda a que sería sometido. Se ejecutaron tres tramos, tal como se detalla en la tabla 2.1.

Tabla 2.1:
Detalles Proyecto Louisville, Kentucky

SECCIÓN	DIMENSIONES [M]	ESPESOR HORMIGÓN [CM]	PREPARACIÓN ASFALTO	SEPARACIÓN DE JUNTAS [M]
1	84 x 7	9	Fresado	1.83 x 1.83
2	15 x 7	9 - 5	Fresado	1.83 x 1.83
3	84 x 7	5	Fresado	1.83 x 1.83 0.6 x 0.6

Fuente : American Concrete Pavement Association (ACPA).

Este proyecto fue monitoreado por sólo 13 semanas, pero dadas las condiciones de tráfico que poseía, este periodo equivale a un año en condiciones normales. De esta experiencia se concluyeron los siguientes puntos.

- ❖ Los pavimentos ultra delgados de hormigón con espesores entre 50 y 90 mm. pueden soportar cargas típicas de tránsito en caminos con bajo volumen de tráfico, calles de sectores residenciales y lugares de estacionamiento.
- ❖ Las fallas predominantes fueron las grietas de esquina.
- ❖ Los espaciamientos entre las juntas tuvieron un significativo efecto en la formación de las grietas de esquina.
- ❖ El área con juntas a 0.6 m presentó una cantidad considerablemente menor de grietas en comparación al sector que presentaba separaciones entre juntas de 1.8 m.

Iowa

En el año 1994, 11 Kilómetros entre Whitetopping delgado y ultra delgado se usaron en la rehabilitación de una carretera de este estado, la Ruta 21. Los espesores para este caso variaron entre los 5 y 20 cm. La carretera fue construida en el año 1961, que luego en el año 1964 fue rehabilitado con 75 mm., de asfalto.

El tráfico existente era aproximadamente 1350 vehículos, con un 13 % de camiones. Este proyecto entregó los primeros datos sobre el comportamiento del Whitetopping aplicado a una autopista. Aportó con datos de diseño, técnicas de construcción y datos de los resultados obtenidos. Se utilizaron distintas combinaciones de espesores, espaciamiento de juntas, distintas mezclas de hormigón y alternativas para la preparación de la superficie asfáltica previa al hormigón.

Esta experiencia es una de las que más datos ha entregado a los investigadores, para así continuar desarrollando esta técnica de rehabilitación.

Missouri

Esta experiencia es interesante porque es la primera que se realizó en un aeropuerto, el Spirit of St. Louis Airport, en el año 1985. Si bien no fue un proyecto en alguna autopista,

aportó importantes datos en cuanto al diseño y construcción principalmente. En este caso, los espesores eran de 9 cm. hasta 25 cm., vale decir desde el Whitetopping ultra delgado hasta el convencional.

Colorado

Este proyecto se construyó en el año 1996. Los espesores variaron entre los 10 a 12,5 cm (TWT). En este caso se experimentó con distintas alternativas para el asfalto existente.

En algunos casos se dejó tal como estaba, en otro se fresó y en un tercer tramo se aplicó una nueva capa de asfalto antes del hormigón.

Las losas fueron de 1,5 m^2 además se instrumentaron con sensores para medir deformaciones, deflexiones y temperatura.

La importancia de este proyecto, es que sirvió de base para el desarrollo del método mecanicista de diseño que se tratará más adelante.

Argentina, Buenos Aires

En el acceso oeste a la ciudad de Buenos Aires se realizó una rehabilitación utilizando UTW (ultra delgado) y TWT (delgado), en el año 2002 en donde los espesores variaron entre los 8 y 12 cm. La importancia de este proyecto es la utilización de hormigones de habilitación temprana, lo que permitió reanudar el tránsito a las 24 horas de colocado el hormigón.

Entre las conclusiones de esta experiencia se citan las siguientes:

- ❖ Es importante incrementar los espesores en las losas de borde.
- ❖ En sectores donde el derrame de combustibles es elevado se debe prever el sellado de juntas, para evitar el ingreso de combustible asfáltico, que afecta la adherencia entre las dos capas.
- ❖ Es importante conocer el espesor del asfalto que se deja como base del pavimento, ya que si es menor que 75 mm., las posibilidades de falla aumentan.

- ❖ No se recomienda la ejecución de UTW muy delgados para contar con un adecuado margen de seguridad que contemple la sobrecarga de los vehículos fuera de reglamento.

2.3.1. CUANDO UTILIZAR WHITETOPPING

El Whitetopping constituye una forma de rehabilitación de un pavimento, que se diseña para extender la vida de un pavimento asfáltico deteriorado. Se aplica comúnmente donde es recurrente la formación de baches de los pavimentos asfálticos es un problema recurrente. El Whitetopping permite la construcción directamente sobre la superficie flexible existente, sin remover o reparar la base a lo largo de todo el tramo en cuestión. Generalmente al hablar de recubrimientos ultra delgados o delgados se piensa en usarlo sobre asfalto que presenta fallas tales como piel de cocodrilo (Figura 2.4), ahuellamiento (Figura 2.5), desplazamientos (shoving) y otras fallas superficiales. Un pavimento asfáltico dañado severamente con un importante deterioro estructural, con problemas en las bases o sub bases, malas condiciones de drenaje, desmoronamiento de áridos, no es un buen candidato para ser reparado con UTW o TWT. 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.

Tabla 2.2:
GUÍA PARA REPARAR FALLAS EXISTENTES EN PAVIMENTOS DE ASFALTO ANTES DE APLICAR UNA SOBRE CAPA DE HORMIGÓN.

CONDICIÓN GENERAL DEL PAVIMENTO	TRABAJO DE REPARACIÓN
Ahuellamiento (menos de 5 cm.)	Ninguno
Ahuellamiento (más de 5 cm.)	Fresado o nivelación
Desplazamiento	Fresado o nivelación
Huecos	Relleno con roca triturada, mezcla fría o caliente
Falta de subrasante	Ninguno
Piel de cocodrilo	Ninguno
Falla de bloque	Ninguno
Grietas transversales	Ninguno
Grietas longitudinales	Ninguno
Desprendimiento de áridos	Ninguno
Afloramiento	Ninguno

Fuente : American Concrete Pavement Association (ACPA).



Figura 2.4: Piel de Cocodrilo, falla típica de los pavimentos de asfalto.



Figura 2.5: Ahuellamiento severo de un pavimento asfáltico.

2.3.2. VENTAJAS DEL WHITETOPPING

Hay numerosos beneficios del uso del Whitetopping. Uno de ellos es que le da más resistencia al pavimento asfáltico deteriorado, extendiendo la vida en servicio del pavimento de la carretera o el aeropuerto. Segundo, puede proveer un tránsito suave que puede mejorar significativamente la vida funcional del pavimento. En oposición a la reconstrucción completa con una nueva base, el Whitetopping utiliza al pavimento asfáltico existente como una base sólida, proveyendo estabilidad adicional.

Los recubrimientos de hormigón ofrecen beneficios a largo plazo para las entidades encargadas de los aeropuertos, carreteras, calles, puesto que reduce considerablemente el tiempo y las demoras causadas por el mantenimiento de una superficie de asfalto. Los ahuellamientos, los desplazamientos, las grietas causadas por la temperatura, la piel de cocodrilo y los daños generados por el ambiente, exigen labores de mantenimiento como los sellados de grietas y tratamientos superficiales. Una superficie de hormigón es duradera y requiere de menos tiempo y dinero para el mantenimiento. Las sobrecapas de hormigón 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 sean intolerables. Otro uso importante de los recubrimientos de hormigón son aquellos para mejorar la seguridad de la superficie de un pavimento. Las cargas pesadas causan desplazamientos y ahuellamientos en el asfalto, lo cual es peligroso para los usuarios y es un problema serio en los sitios en donde los vehículos frenan y arrancan frecuentemente, como las intersecciones, los peajes, las rampas y áreas de estacionamiento en aeropuertos.

Cuando los ahuellamientos se llenan con agua causan deslizamiento o pérdida del control de los vehículos lo que puede generar accidentes y lesiones personales.

Según estudios de seguridad las distancias de frenado en las superficies de hormigón son mucho menores que para las superficies de asfalto, especialmente cuando el asfalto está húmedo y ahuellado (Figura 2.6). Las cargas pesadas no ahue llan ni desplazan el hormigón y también presenta una buena resistencia al deslizamiento. Las sobrecapas o recubrimientos de hormigón no desarrollan las fallas encontradas en el asfalto, las experiencias realizadas demuestran que cuando ocurre ahuellamiento, éste no se elimina

con la colocación de un recubrimiento de asfalto; el ahuellamiento reaparece por la incapacidad del concreto asfáltico de alcanzar la compactación adecuada en las huellas de las ruedas o la incapacidad del asfalto de soportar las presiones y cargas del tráfico hoy en día. El hormigón puede rellenar uniformemente las huellas existentes en el asfalto y así corregir el perfil de la superficie.

El reflejo de las grietas es otra de las fallas que puede disminuir considerablemente la vida útil de la sobrecapa de asfalto.

Esto no ocurre en las losas de hormigón por la facilidad de atender los problemas existentes en la capa inferior. (Figura 2.7). Las sobrecapas de hormigón sobre pavimentos de asfalto han sido utilizadas como reemplazo de la "construcción por etapas" de los pavimentos flexibles.

En la mayoría de los casos, la primera capa se deteriora antes de lo previsto por haber sido subdiseñada; las siguientes capas de asfalto no tienen entonces un buen comportamiento porque los problemas de la capa original se reflejan rápidamente a través de las nuevas. Aún si se especifica una capa de asfalto más gruesa, los resultados no son mucho mejores. Se ha demostrado que las capas gruesas se ahuecan más rápidamente que las delgadas.

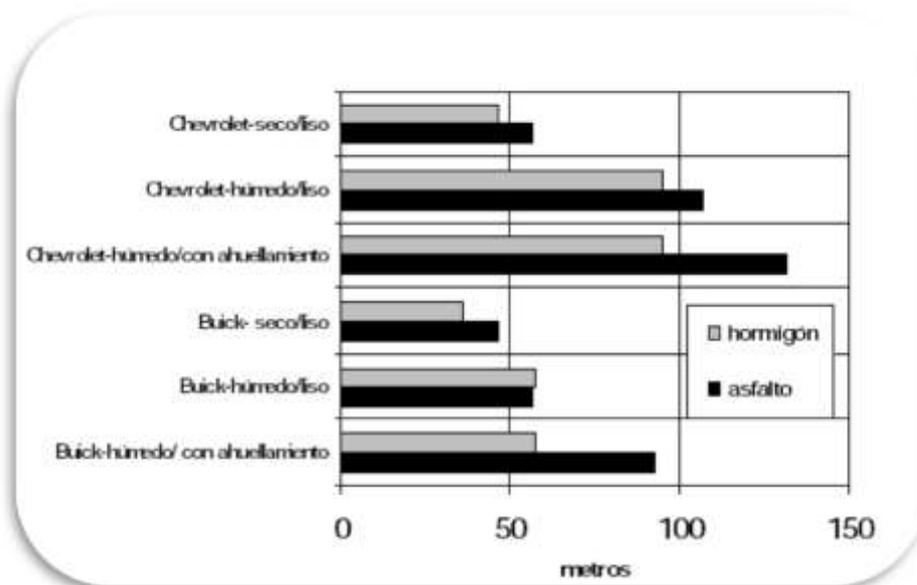


Figura 2.6: Distancia de frenado desde 96 km/hr., de dos vehículos sobre condiciones diferentes de superficie. Nótese que por no presentar el hormigón ahuellamiento, los datos para la condición húmeda con ahuellamiento son los mismos que para la húmeda lisa.



Figura 2.7: Dentro de las ventajas de los pavimentos delgados de hormigón, está el de no reflejar los problemas existentes de la superficie de asfalto.

2.4. TENDENCIAS EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

2.4.1. ANTECEDENTES

El diseño de pavimentos se ha venido realizando en base a experimentaciones realizadas hace más de medio siglo, los cuales fueron realizados a partir de cargas de tráfico menores a 2 millones de ejes equivalente (pista de prueba ASSHTO), pero con el crecimiento del parque automotor (Figura 2.8), estas cargas de tráfico se han incrementado por encima de los 50 millones de ejes equivalentes.



Figura 2.8: Crecimiento del parque automotor.

Los grandes avances en el conocimiento humano, el desarrollo de la automatización, la gran facilidad de las comunicaciones, investigaciones y experimentación ayudarán a tener un mejor conocimiento del comportamiento del pavimento ante solicitaciones de carga.



Figura 2.9: Grandes Avances Tecnológicos e Investigaciones.

La filosofía del diseño de pavimentos se ha basado en los procedimientos mecánico - empíricos que están disponibles hace medio siglo; sin embargo, en la última década se han desarrollado procedimientos que pueden ser utilizados fuera del ambiente académico o de la investigación, los cuales han ayudado a ingresar a una nueva etapa de avances tecnológicos en el estado del arte en el diseño de pavimentos.

- ❖ El uso del espectro de ejes de carga para la simulación del tráfico.
- ❖ El uso del análisis de elementos finitos para la predicción de la respuesta del pavimento.
- ❖ La incorporación de la confiabilidad y el análisis económico del pavimento.

a) **Mecánico:** Se refieren a aquellos métodos que incorporan modelos basados en principios de ingeniería mecánica para evaluar el estado de esfuerzos de un pavimento, predecir su respuesta, comportamiento y durabilidad (performance).



Figura 2.10: Modelos Basados en Principios de Ingeniería Mecánica.

b) Empírico o experimental: Son aquellos procedimientos que cuentan con modelos desarrollados a partir de la experimentación u observaciones de durabilidad de pavimentos ya construidos.



Figura 2.11: Modelos Desarrollados a partir de la Experimentación de Pavimentos ya construidos.

2.4.2. MODELOS ANALÍTICOS

Se están usando modelos para predecir el estado de esfuerzos en un pavimento bajo simulación de cargas de rueda y clima. La mayoría de estos modelos están basados en la teoría multicapa y/o en el análisis de elementos finitos.

a) Modelos Multicapa: predicen el comportamiento del pavimento bajo cargas de rueda, más no las variaciones del clima, relativamente fáciles de operar.

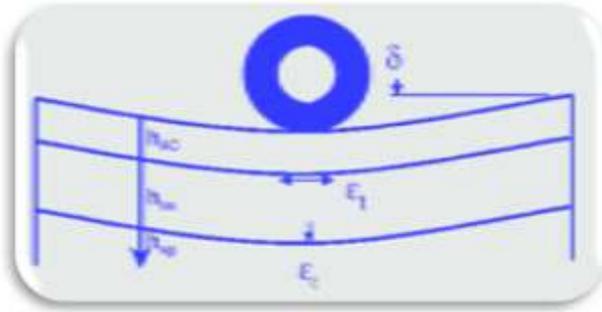


Figura 2.12: Comportamiento del Pavimento Bajo Cargas de Rueda.

- b) **Modelos de Elementos Finitos:** predicen el comportamiento del pavimento bajo cargas de rueda, y también las variaciones del clima, son complicados de operar.

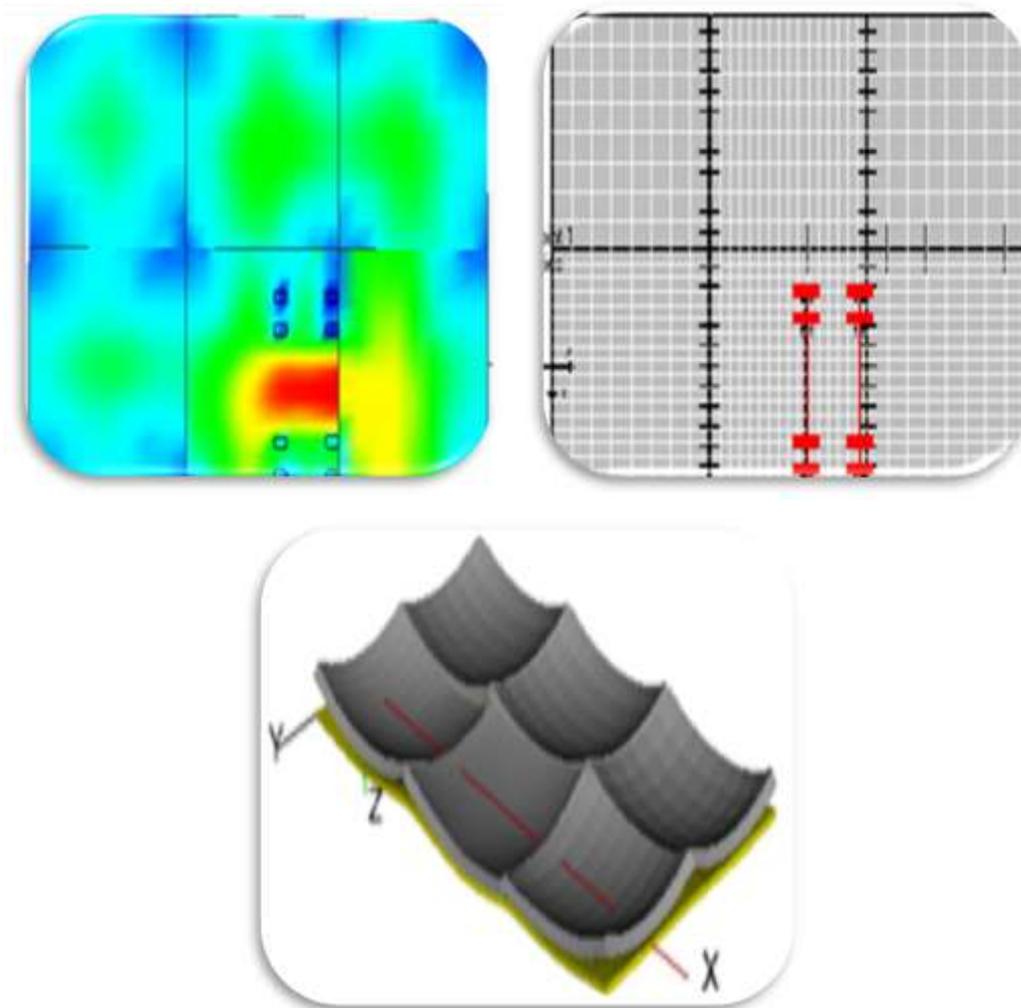


Figura 2.13: Modelo de Elementos Finitos "2 Losas" Software "EVER-FE".

2.4.3. SIMULACIÓN DE CARGAS DE TRÁFICO

Las cargas de tráfico se han venido realizando con conceptos que fueron desarrollados hace 40 años, esta metodología tiene todavía cierta validez.

Pero es débil cuando:

- ❖ Se toma en cuenta las altas presiones de los neumáticos.
- ❖ Los nuevos tipos de neumáticos.

En la Guía AASHTO 2002, se plantea el uso de un espectro de cargas, el cual paulatinamente irá desplazando el uso de ESAL.



Figura 2.14: Las cargas de Tráfico Desarrollaron Cargas desde hace 40 años.

2.5. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

Todos los pavimentos se deterioran con el tiempo y éstos pueden ser **Funcionales** si afectan la calidad de rodadura o **Estructurales** si afectan la integridad del pavimento.

Entre los factores principales que determinan el deterioro de los pavimentos mencionamos las siguientes causas:

- ❖ Fatiga del material.
- ❖ Deterioros en las capas inferiores.
- ❖ Combinación de efectos climáticos.
- ❖ Cargas pesadas o problemas de los materiales constitutivos.

Otra clasificación:

-Fractura.

-Distorsión.

-Desintegración.

Medición de los Deterioros Visibles:

Tipo	(Bache – Fisura, etc.)
Severidad	(Alta - Media – Baja)
Cantidad	(m ² ; ml; Nro)

2.5.1. PAVIMENTO FLEXIBLE

Un pavimento debe diseñarse estructuralmente de manera que tanto sus capas componentes como es suelo de fundación queden sometidos a tensiones y deformaciones inferiores las que producen la rotura.

En los pavimentos flexibles, los ciclos repetidos de carga debidos al paso de los vehículos dan lugar a las grandes deformaciones que conducen a la falla del pavimento.

El cálculo estructural difiere relativamente poco de cualquier otro proyecto de Ingeniería Civil .Sin embargo, las consideraciones económicas hacen que los periodos de proyecto (12 a 20 años) y los coeficientes de seguridad sean generalmente inferiores a los utilizados habitualmente en otras áreas de la ingeniería.

El pavimento flexible también conocido como pavimento de asfalto es una estructura formada por varias capas como lo son la sub-rasante, la sub base, la base y la carpeta asfáltica; cada una con una función determinada, las cuales en conjunto tienen los siguientes propósitos:

- ◆ Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito. El pavimento flexible debe estar constituido de manera tal que las cargas, producidas por el tránsito, no provoquen deformaciones de ningún tipo en su estructura, siendo de mucha importancia el espesor que el mismo tenga.
- ◆ Tener la impermeabilidad necesaria. Este pavimento debe ser lo suficientemente impermeable para impedir la infiltración que puede darse por parte del agua, afectando la capacidad soporte del suelo.

De esto se concluye que es de mucha importancia la existencia de un drenaje adecuado.

- ❖ Resistir los agentes atmosféricos. Como un efecto continuo de su presencia, los agentes atmosféricos provocan la meteorización y alteración de los materiales que componen el pavimento, reflejándose este problema, en la vida económica y útil del mismo. Por lo tanto deben procurarse materiales de mayor calidad y resistentes a los agentes físicos y químicos.
- ❖ Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos. La superficie del pavimento, debe proporcionar un aspecto agradable, seguro y confortable, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con las llantas del vehículo, de manera que el deslizamiento de los vehículos sea óptimo. Esta superficie, que debe ser lisa, también debe ser antideslizante en caso de estar húmeda.
- ❖ Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub-base. La flexibilidad del pavimento es muy importante en caso de presentarse asentamiento en alguna de sus capas; pudiendo así adaptarse a las pequeñas fallas sin necesidad de reparaciones costosas.

Conformación

Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la sub base, las cuales se encuentran conformadas por materiales que deben llenar las especificaciones requeridas. La calidad de estas capas va disminuyendo con la profundidad.

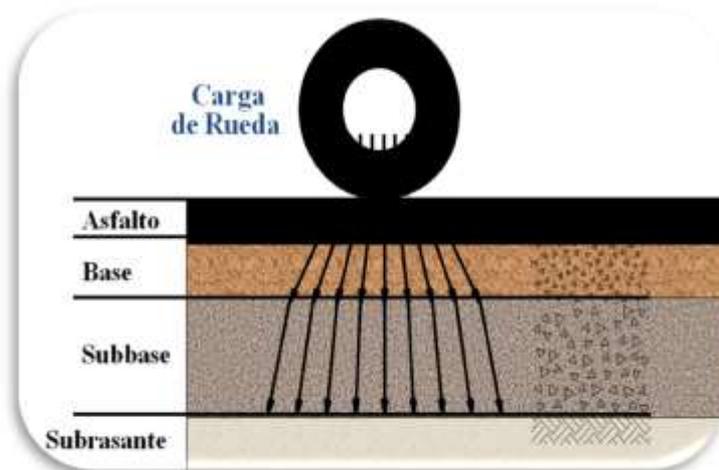


Figura 2.15: Distribución de la Carga en Pavimentos Flexibles.

Fallas más significantes en pavimentos flexibles:

Denominación	Fisuras Longitudinales
	<p>Fractura del pavimento paralelo al eje de la vía.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Acción del tránsito, fatiga del pavimento · Proceso constructivo deficiente de las juntas longitudinales (pavimento mixto). · Contracción de la mezcla asfáltica por endurecimiento del bitumen o reflexión de fisuras causadas por grietas existentes debajo de la superficie de rodamiento. · Confinamiento lateral deficiente. En ese caso, las fisuras ocurren a una distancia de 0.30 a 0.60 cm. del borde.
Denominación	Fisuras Transversales
	<p>Fractura del pavimento transversal (o casi) al eje de la vía.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Insuficiente espesor de pavimento y/o falta de sobre ancho de las capas inferiores en los bordes. · Retracción de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debida a un exceso de filler, envejecimiento del asfalto, etc. · Reflexión de grietas de capas inferiores y apertura de juntas de construcción defectuosas (pavimento mixto).
Denominación	Fisura Longitudinal Fatiga (Piel de Cocodrilo)
	<p>Serie de fisuras interconectadas formando pequeños polígonos irregulares de ángulos agudos. Dimensión máxima menor de 0.60 m.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fatiga de las capas asfálticas sometidas a una repetición de cargas superior a la permisible. · Indicativo de insuficiencia estructural del pavimento. <p>Esta falla comienza en la parte inferior de las capas asfálticas. No tiene porque ocurrir en pavimentos mixtos.</p>

Denominación	Ahuellamiento
	<p>Depresiones continuas longitudinales (> 6 metros) a lo largo de las huellas de los vehículos. Cuando el radio de influencia de la zona ahuellada es pequeño, el origen está en el pavimento, cuando es amplio, el origen está en el suelo y fundación.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Acción del tránsito. · Insuficiencia estructural del pavimento. · Estabilidad deficiente del pavimento fundación.
Denominación	Peladuras
	<p>Desintegración superficial de la carpeta asfáltica debido a:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Pérdida del ligante bituminoso. · Desprendimiento del agregado. <p>Se aumenta la textura del pavimento y expone a los agregados a la acción del clima y el tránsito.</p> <p>Esta falla indica las siguientes causas probables:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Asfalto defectuoso o endurecido y perdiendo sus propiedades ligantes. · Agregados defectuosos (sucios o muy absorbentes). · Defectos de construcción. · Efecto de agentes agresivos (solventes, agua).
Denominación	Hundimiento
	<p>Depresión de la superficie del pavimento en un área localizada del mismo.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Asentamiento de la fundación. · Deficiencias en la construcción. <p>Se localizan en bordes (debido al menor confinamiento lateral) o en cualquier otro lugar de la superficie del pavimento.</p>

Denominación	Baches
	<p>Descomposición o desintegración total de la mezcla asfáltica y su remoción en una cierta extensión, formando cavidades de bordes netos.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fundaciones y capas inferiores inestables · Espesores insuficientes. · Defectos constructivos. · Retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. · Fisuras, piel de cocodrilo, etc. No remediadas a tiempo. <p>Alto impacto sobre el tránsito y la seguridad. Se llega a esta falla por evolución de otras fallas y carencia de mantenimiento.</p>
Denominación	Exudación
	<p>Afloramiento de material bituminoso de la mezcla a la superficie del pavimento. Forma una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Excesivo contenido de asfalto en la mezcla · Bajo contenido de vacíos, con el calor el asfalto llena los vacíos y aflora a la superficie.
Denominación	Corrugaciones y desplazamientos
	<p>Distorsiones y ondulaciones de la superficie del pavimento por desplazamientos de la mezcla asfáltica. Levantamientos del material formando cordones. Irregularidades del perfil y serpeo de la demarcación son signos típicos de estas fallas.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Acción del tránsito (zonas de aceleración y frenado son afectadas). · Altas temperaturas favorecen el desarrollo de esta falla.

2.5.2. PAVIMENTO RÍGIDO

El pavimento rígido tiene como elemento estructural principal una placa de concreto, la cual debe poseer un apoyo suficientemente uniforme y establece que garantice un adecuado comportamiento estructural ya que tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico.

El tiempo de vida útil para pavimentos rígidos varía entre (25 o 40 años).

Son los pavimentos conformados por cemento Portland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa.

Dependiendo de la necesidad, estos pavimentos pueden estructurarse por la capa de sub base y base, conformando así una losa de concreto, de espesor, longitud y ancho variables.

Los pavimentos rígidos o hidráulicos como se les conoce también, defieren de los pavimentos de asfalto o flexibles, en que poseen una resistencia considerable a la flexión, además de que se ven considerablemente afectados por los cambios de temperatura. Los pavimentos rígidos están sujetos a los siguientes esfuerzos:

- ◆ Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- ◆ Esfuerzos directos de compresión y cortadura, causados por las cargas de las ruedas.
- ◆ Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.
- ◆ Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto.
- ◆ Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Debido a la relación que existe entre los pavimentos rígidos y los esfuerzos anteriormente mencionados y para que los pavimentos cumplan con su vida útil como se espera, es necesario basarse en los siguientes factores:

- ❖ Volumen, tipo y peso del tránsito a servir en la actualidad y en un futuro previsible.
- ❖ Valor relativo de soporte y características de la sub rasante.
- ❖ Clima de la región.
- ❖ Resistencia y calidad del concreto a emplear.

Estos factores son de mucha importancia para que el pavimento sea óptimo y económico.

Es necesario el conocimiento del volumen del tránsito además de sus características, tanto actual como futuro, de tal manera que se puedan fijar aspectos como el número y ancho de las vías, el peso de las cargas por rueda, muy importante a la hora de calcular el espesor de las losas.

Debido a esto es muy importante toda recopilación de datos que se pueda obtener con relación al tránsito en el lugar; para esto puede recurrirse a los censos de tránsito en el lugar en estudio.

La realización de los censos de tránsito es muy relevante para estimar el tránsito futuro. Para esto debe realizarse un estudio de las características comerciales, turísticas, etc., de la región en la cual se realizará el proyecto, densidad poblacional, vinculación de la carretera con otras existentes y el estudio de los volúmenes de tránsito y cargas de ruedas sobre caminos de igual importancia existentes en otras zonas.

Además de la información recopilada anteriormente, es necesario investigar sobre la existencia de fábricas, minas, etc., cuyo tránsito pueda valorarse, el cuál va a formar parte del nuevo proyecto.

Respecto a los esfuerzos generados por las cargas, los de flexión son los más relevantes en las losas.

Mediante estudios teóricos y ensayos en losas, se ha comprobado que el punto crítico de una losa de espesor uniforme, es el correspondiente a la esquina de la misma, es decir, el ángulo formado por un borde exterior y una junta transversal.

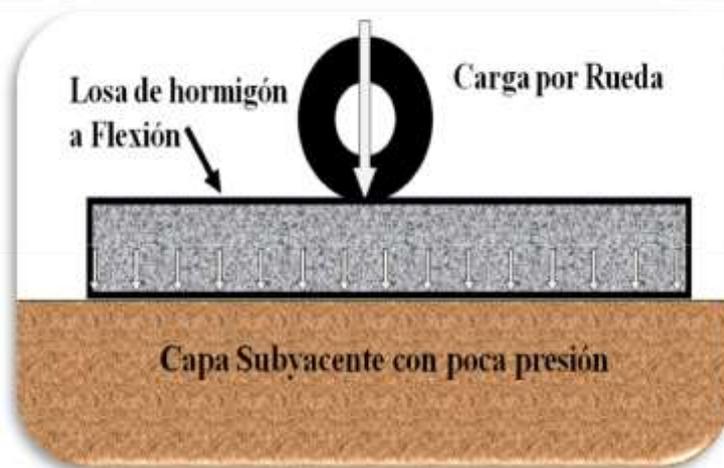


Figura 2.16: Distribución de la Carga en Pavimentos Rígidos.

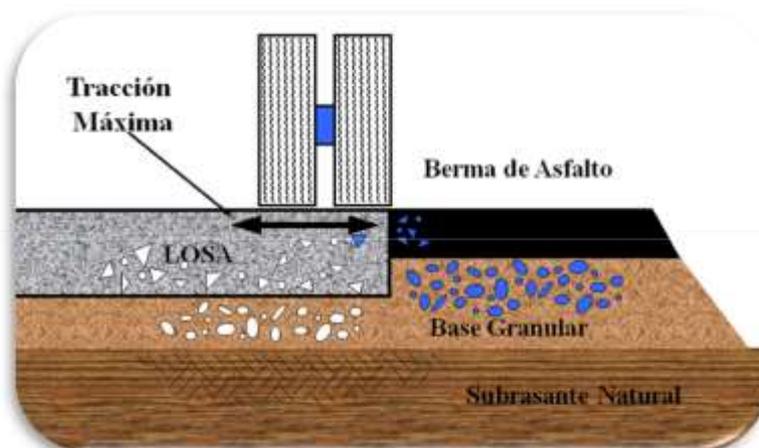


Figura 2.17: Tensiones Máximas en la Losa.

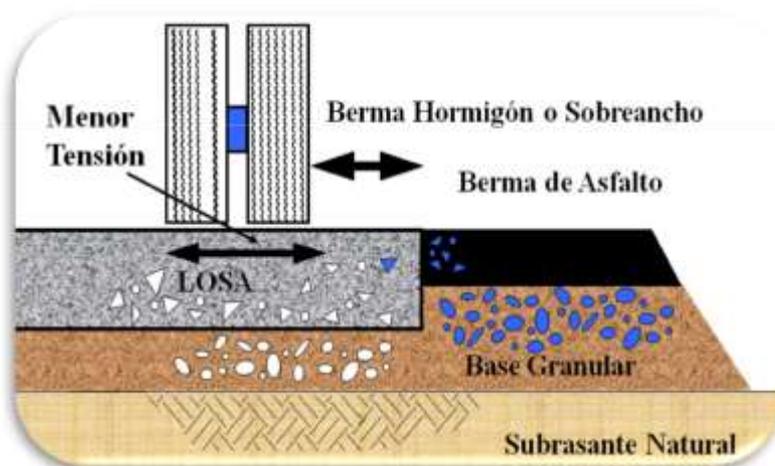


Figura 2.18: Tensiones Menores con Sobre Ancho de Hormigón.

Fallas Significativas en los Pavimentos Rígidos

Denominación	Deficiencias de material de sello
	<p>Condiciones que posibilitan que material no compresible se acumule en las juntas, no permitiendo el movimiento de la losa y provocando posible desportillamiento, levantamientos o fracturas.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Remoción o pérdida del material de sello · Extrusión del material de sello (se sale). · Endurecimiento por oxidación del material de sello. · Pérdida de adherencia con los bordes de la losa.
Denominación	Fisuras en esquina
	<p>Fisura que intercepta las juntas o bordes que delimitan la losa a una distancia menor de 1.30 m. a cada lado, medida desde la esquina.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Acción de tránsito pesado. · Pérdida de soporte de la fundación (posiblemente por fallas de drenaje). · Variaciones en el espesor de la losa. · Transferencia de carga deficiente en las juntas.
Denominación	Fisuras Transversales
	<p>Fracturamiento de la losa aproximadamente perpendicular al eje del pavimento, dividiendo a la losa en varios paños.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Acción de tránsito pesado. · Pérdida de soporte de la fundación. · Variaciones en el espesor de la losa. · Ausencia de juntas transversales. · Losas con relación longitud/ancho excesivo. · Frecuentemente acompañadas de hundimientos.

Denominación	Escalonamiento
	<p>Diferencias de nivel entre losas. Notable en las juntas.</p> <p>Frecuentemente acompañada de fisuras.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Drenajes defectuosos (disminuye el soporte de la fundación). · Transferencia de carga deficiente en las Juntas.
Denominación	Desportillamiento
	<p>Fracturamiento o desintegración de los bordes de las losas dentro de los 0.60 m. de una junta o de una esquina.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Excesiva tensión en las juntas debido a las cargas. · Deficiente diseño y/o construcción de los sistemas de transferencia de carga entre losas. · Acumulación de agua a nivel de las juntas.
Denominación	Peladuras
	<p>Desintegración progresiva de la superficie del pavimento por pérdida de material fino, forma superficie rugosa y eventualmente cavidades.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Efecto de tránsito sobre concreto de calidad pobre. · Deficiencias de la construcción. · Agua con sulfatos, arenas angulosas, etc.

Denominación	Pulimento de la superficie
	<p>Superficie excesivamente lisa.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Efecto de tránsito sobre concreto de calidad pobre, produciendo el desgaste superficial de agregados de naturaleza degradable. · Crea problemas de seguridad.
Denominación	Bache – desintegración total
	<p>Descomposición o desintegración y remoción de la losa de concreto, formando una cavidad de bordes netos.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fundaciones y capas inferiores inestables. · Espesores insuficientes, defectos constructivos. · Retención de agua en zonas hundidas y/o fisuradas. · Acción de tránsito sobre fisuras en bloque. <p>Falla grave, a la cual se llega por evolución de otras fallas y falta de mantenimiento oportuno.</p>
Denominación	Hundimiento – Depresión
	<p>Depresión de la superficie del pavimento en un área localizada.</p> <p>Frecuentemente asociado con fisuramientos, debido al asentamiento diferencial del pavimento.</p> <p>Causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Asentamientos de la subrasante, terraplenes defectuosos, movimientos de la estructura. · Áreas cercanas a estructuras de drenaje. · Filtraciones de agua que se llevan el terraplén. · Compactación deficiente. · Deficiencias en la construcción.

a) Tecnología en Pavimentos Rígidos (Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón)

La gente quiere vialidades seguras

- ◆ Con mejor visibilidad
- ◆ Sin deformaciones
- ◆ Con mejores condiciones de manejo y frenado

La sociedad quiere vialidades de calidad

- ◆ Seguras, confortables y económicas

El País requiere vialidades duraderas

- ◆ Con una mayor vida útil
- ◆ De alta resistencia
- ◆ Que necesiten menor mantenimiento

La tecnología de los pavimentos rígidos ha alcanzado en los últimos años un elevado grado de desarrollo y de competitividad, mejorando al mismo tiempo sus características esenciales: gran durabilidad, capacidad de transmitir bajas tensiones a los suelos de fundación y textura controlada para la seguridad vehicular. El grado de madurez que ha alcanzado la técnica de construcción con hormigón se advierte en la capacidad de adaptación a las particularidades de cada obra, como ser:

- ◆ El área a pavimentar, que permite elegir entre una enorme diversidad de equipo, herramientas y técnicas, desde el reemplazo de una losa en una carretera antigua, la construcción de calles, hasta la pavimentación de grandes carreteras y pistas de aeropuertos con pavimentadora deslizante.
- ◆ Soluciones específicas de acuerdo al tipo de tráfico, con espesores tan pequeños como 7 cm. en calles sobre empedrados, hasta 30 o más en carreteras con elevados volúmenes de tránsito pesado.
- ◆ La técnica también es versátil para diversas velocidades de circulación, desde las muy bajas en aéreas de estacionamientos o maniobra para

vehículos pesados, hasta elevadas velocidades en autopistas y carreteras principales, así como aeropuertos. En cada caso, las necesidades de los usuarios son muy diferentes.

- ❖ Actualmente, existen materiales muy diversos para la fabricación de hormigón, para obtener desde mezclas muy secas compactadas con rodillo vibratorio hasta hormigones con aditivos fluidificantes y fibras, pudiéndose realizar sus juntas en hormigones frescos o aserrados en hormigón endurecido.
- ❖ Con determinados cuidados y aditivos apropiados, el hormigón puede fabricarse en climas extremos, muy cálidos o muy fríos.
- ❖ La técnica mundial ofrece actualmente estructuras de cada vez mayor vida útil, con periodos realistas de servicio no inferiores a 30 años (Bolivia) y con capacidad de llegar a 40 años o más y soluciones de menor costo en el proyecto y en la ejecución, pavimentos de hormigón armado, hormigón simple con y sin barras para juntas, hormigón compactado con rodillo, etc.

a.1.) Durabilidad de los Pavimentos Rígidos

Es un aspecto cada vez más importante a nivel mundial.

Los diseños de los pavimentos rígidos se especifican para una vida útil:

- ❖ En México de **20 a 25** años.
- ❖ En Estados Unidos los están llevando a períodos de **30 a 40** años.
- ❖ En Europa no es raro que se diseñen para **50** años ó más.

Además los pavimentos rígidos de la actualidad son más funcionales, con una superficie de rodadura antideslizante pero a la vez poco ruidoso y muy regular.

En resumen, los pavimentos de hormigón constituyen una solución tecnológicamente madura y versátil, económicamente muy competitiva y de gran durabilidad con verdaderamente poco mantenimiento.

Estas y otras características, han ocasionado una creciente demanda de los pavimentos de hormigón tanto en los países industrializados así como en los países en

desarrollo, como el nuestro, gracias también al continuo intercambio de información de las experiencias internacionales que han coadyuvado para que los pavimentos de hormigón se extiendan rápidamente y sólidamente por todo el mundo.

El IBCH realizó eventos en Guadalajara México y la Conferencia Internacional de Pavimentos de Hormigón de la Universidad de Purdue en Estados Unidos, encuentros que permiten una rápida difusión de los conocimientos y una discusión más ágil de los resultados.

A nivel nacional, se realizaron seminarios del Cemento y el Hormigón del IBCH que incluyó también el tema de los pavimentos rígidos, difundiendo también los últimos adelantos en cuanto a maquinaria de construcción con hormigón y las recomendaciones básicas para su correcta ejecución.

Es creciente en nuestras autoridades la toma de conciencia de que la importación de asfalto y el frecuente mantenimiento que éste requiere, significan una considerable fuga de divisas y continuas erogaciones para el país, y de que se puede conseguir resultados mejores y más duraderos con materiales nacionales.

El lema del IBCH se basa en lo siguiente:

***“NO MAS BACHES.....USEMOS LA “MATERIA
GRIS”***

Algunas de las recomendaciones para conseguir esta considerable durabilidad son:

- ❖ Drenaje de la interfaz de la losa y la base, en especial en el borde exterior cuando no es de hormigón.

Para ello se disponen zanjas longitudinales drenantes, capas permeables bajo las losas, que pueden estar constituidas por materiales granulares o geotextiles adecuados.

- ❖ Mejora de las características mecánicas de la base, en particular su resistencia a la erosión; para ellos se emplean suelos estabilizados o en algunos países una base hormigón pobre.

- ❖ Mayor espesor de las losas, con la que se consigue una mayor durabilidad reduciendo las tensiones en el material.
- ❖ Menor longitud de las losas para limitar las tensiones debidas a las cargas con gradientes térmicos desfavorables.
- ❖ Ensanche de las losas exteriores o empleo de cunetas unidas a las losas; esta medida equivale a un sobre- espesor del pavimento al reducir las tensiones debida a las cargas del borde.
- ❖ Disposición de pasadores en las juntas transversales de los pavimentos de hormigón para tráfico pesado. Se ha demostrado que la técnica sin pasadores tiene un límite máximo de aplicación y actualmente existe maquinaria deslizante que coloca automáticamente los pasadores a la profundidad deseada, facilitando enormemente la tarea.

Las diversa técnicas de pavimento de hormigón van cobrando cada día más importancia y su creciente uso en nuestro país, especialmente en las ciudades de Santa Cruz, Cochabamba y Sucre servirá de puntal para desarrollar cada vez mejores vías y a menor costo social, experiencias de enorme valor para la construcción de las carreteras de integración, tan determinantes para nuestro país.

b) Normalización y Tecnología del Hormigón:

Por: Ing. Gonzalo Dalence E. Director de Normalización – IBNORCA

No es posible pensar en la tecnología del hormigón, sin contar con una herramienta eficaz como es la normalización, lo cual permite contar con documentos técnicos (normas) destinadas a fijar niveles de calidad, que faciliten la obtención de un producto apto para su utilización.

Por otro lado hablar de la tecnología del hormigón, es hablar de la calidad del cemento de los agregados del agua y en su caso de los aditivos; los cuales apropiadamente mezcladas y con los debidos controles, permitirán la utilización de un material de construcción confiable y apto para solucionar las necesidades en el campo estructural; posibilitando con ello, ahorros significativos en este tipo de industria.

Todo esto se puede lograr con una ayuda eficaz de las normas técnicas, que proporcionan las posibilidades de investigar y controlar al hormigón, tanto desde el punto de vista de sus materiales componentes, como el producto final (hormigón fresco y endurecido), tomando en cuenta sus características, especificaciones, clasificaciones, metodologías de ensayo, además de aspectos de suministro y comercialización; por lo tanto cubriendo todo el ámbito relacionado con la calidad de estos materiales.

En este caso el Instituto Boliviano de la Normalización y calidad IBNORCA, como el Organismo Nacional de Normalización ONN, debidamente autorizada por el gobierno con el D.S. N° 24498 de fecha 1997-02-17, pone al servicio del país y en la construcción en particular ,una serie de normas relacionadas con este amplio tema.

2.6. VENTAJAS COMPARATIVAS ENTRE PAVIMENTO FLEXIBLE VS PAVIMENTO RÍGIDO

El pavimento de hormigón tiene aproximadamente una y media o dos veces mayor vida útil que el pavimento asfáltico y soporta un tráfico considerablemente más intenso. Investigaciones realizadas en diferentes Estados Americanos muestran que es posible predecir la vida remanente de un pavimento y efectuar los análisis de costo de su ciclo de vida.

WASHINGTON: Se demostró que en los pavimentos asfálticos nuevos la calidad decrecía entre 150 a 200% más que en los pavimentos de hormigón; y que los recapados asfálticos se deterioraban aproximadamente un 50% más rápido que los pavimentos asfálticos nuevos.

OREGON: Todos los pavimentos de hormigón del sistema estatal se están comportando bien, algunos en servicio por más de 30 años. Los más antiguos han soportado una carga de tráfico 2 a 6 veces mayor que para la que fueron diseñadas y aún mantienen buenas condiciones de servicio.

KENTUCHY: El 41% de los pavimentos de hormigón han sido recapados a una edad promedio de 20 años. El resto está aún en servicio, algunos con 31 años de antigüedad. En cambio, un 94% de los pavimentos de asfalto han sido recapados a una edad promedio de 12 años.

ILLINOIS: Los pavimentos de hormigón se han comportado mucho mejor que lo esperado, con una duración media de 20 años, soportando un tráfico de camiones 2,7 a 4 veces mayor que el diseñado.

LOUISIANA: De los caminos de hormigón construidos entre 1963 y 1967, el 14% fueron recapados a una edad promedio de 18 años, y el resto todavía está en servicio, mientras el 77% de los pavimentos de asfalto fueron recapados a los 14 años de vida.

OHIO: Se analizaron los recapados en un periodo de 7 años y, aunque ninguno ha presentado fallas, la calidad del asfalto está decreciendo aproximadamente 350% más rápido que la del hormigón.

Fuente: Robert G. Packard.

Se debe mencionar también que en la construcción de pavimentos de calles y carreteras existen grandes ventajas que poseen los pavimentos de hormigón.

Las principales son las siguientes:

Costos Totales Inferiores: Al comparar diferentes alternativas de pavimentación en valor presente neto, generalmente el pavimento rígido resulta más barato.

Esto se debe principalmente a que los costos de mantenimiento del pavimento rígido son mucho menores (usualmente sólo se requiere subsanar detalles de sellado de juntas a intervalos de 5 a 10 años).

Por otra parte, el pavimento de hormigón tiene una vida útil más larga que el pavimento asfáltico.

Costo de Operación de la Carretera: Los pavimentos de hormigón al tener una superficie plana alargan la vida de los vehículos, evitando que se dañen y minimizando su mantenimiento. El costo de consumo de combustible se reduce hasta en un 20% para camiones tipo trailer.

Social de Mantenimiento: Para el recapado periódico de los pavimentos de asfalto, se requiere ejecutar desvíos que perjudican a vecinos y usuarios. En las construcciones con hormigón se minimizan estos aspectos.

Fuga de divisas: Los asfaltos de uso vial, en Bolivia son importados, originando una fuga de divisas. Se puede conseguir mejores resultados con materiales nacionales, movilizand o nuestra economía y generando fuentes de trabajo.

Facilidad de Construcción: Las plantas dosificadoras – mezcladoras de hormigón junto al uso de pavimentadoras deslizantes reducen significativamente los costos de construcción.

En pavimentos urbanos se puede usar equipos pequeños y encofrados fijos al alcance de cualquier contratista.

Durabilidad: Las superficies de hormigón duran más. Estadísticamente se ha demostrado que las carreteras de hormigón han soportado hasta tres veces su capacidad de carga de diseño y en pavimentos de aeropuertos, el doble. El hormigón incrementa su resistencia con el tiempo.

Resistencia: El hormigón resiste sin sufrir deterioros los derrames de gasolina y diesel, así como los efectos de la intemperie. Los pavimentos de hormigón transmiten bajas presiones al suelo de fundación.

Resistencia a altas temperaturas: El hormigón no es afectado por el calor, no se vuelve pegajoso, ni se volatilizan algunos de sus ingredientes (no es contaminante). En zonas calurosas, (especialmente en áreas urbanas) se mantiene fresco, reduciendo la temperatura del entorno.

Indeformabilidad: En las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, el hormigón no se deforma.

Textura: La superficie del pavimento de hormigón se puede hacer tan segura (antiderrapante) como se quiera, gracias a las diversas técnicas disponibles para darle textura, ya sea durante la construcción o una vez que el pavimento ha estado en servicio y requiera de una mayor resistencia al deslizamiento.

Drenaje: Al no deformarse ni encharcarse las superficies de concreto proporcionan un buen drenaje superficial para el agua de lluvia.

Seguridad: Por su planicidad y textura, El fenómeno del hidropneumático de vehículos (deslizamiento en superficies mojadas), tiene menores posibilidades de producirse en superficies de hormigón.

Estética y seguridad peatonal: Para dirigir el tráfico peatonal y vehicular por rutas más seguras, el estampado o color en el hormigón permite marcas duraderas.

Economía en capa base: El hormigón reduce sustancialmente el espesor de la capa base, reduciendo el impacto ambiental y solicitando menores volúmenes de materiales pétreos. Esta cualidad también reduce los volúmenes de excavación.

El pavimento flexible debe construirse en capas y cada una de ellas (carpeta, base y sub base), a su vez, también en capas debido a restricciones de espesor para lograr las compactaciones especificadas.

Este aspecto se hace más patente (evidente) en el caso de suelos con baja capacidad portante, en los cuales los pavimentos de hormigón resultan mucho más económicos y transmiten al suelo presiones muy bajas (del orden de 0.4 Kg/cm^2

Economía en Iluminación: La superficie altamente reflectante del hormigón es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se puede ahorrar hasta un 30% de energía y se brinda mayor seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos, reflejan mejor la luz en el hormigón.

Rapidez de puesta en obra: Con el hormigón se pueden alcanzar altas resistencias en cuestión de horas. La resistencia del hormigón se puede predecir y controlar con mayor facilidad.

La construcción rápida y la pronta puesta en obra de la vía redundan en menores costos sociales y financieros.

Limpieza: La superficie de hormigón es muy plana y fácil de limpiar.

Ahorro de energía: No se requiere calentar ninguno de los ingredientes para elaborar el hormigón (se ahorra combustibles).

En la elaboración del concreto asfáltico, los agregados y el asfalto deben calentarse a temperaturas elevadas, manteniendo altas temperaturas dependiendo del tiempo de transporte y colocado.

Contaminación: La mezcla asfáltica siempre contamina al ser colocada, aunque si se trata de mezclas en caliente o en frío e independientemente de una carpeta o de un bacheo rutinario.

El asfalto recién colocado se pegara en las llantas de los vehículos y en los calzados de los transeúntes y terminara ennegreciendo los alrededores. El hormigón no contamina durante su colocación.

Reparaciones: El hormigón se repara fácilmente, bajo cualquier condición climática, se pueden emplear una gran cantidad de aditivos que permiten efectuar todo tipo de trabajos con gran rapidez y eficiencia.

Señalización: Todo tipo de marcas, pinturas y señalamientos duran más cuando se colocan sobre hormigón.

Aeropuertos: No existe sustituto a los pavimentos de hormigón para aeropuertos, debido a:

- ❖ Superior capacidad de carga.
- ❖ Resistencia de reserva para sobrecargas no previstas.
- ❖ Resistencia a la deformación.
- ❖ No se pierden partículas que podrían ser dañinas para turbinas y partes de los aviones.
- ❖ Excelente visibilidad para aterrizajes.
- ❖ Textura superficial permanente para prevenir “acuaplaneo” y resbalamientos.
- ❖ Menor acumulación de calor sobre la superficie del pavimento.
- ❖ No se solicitan recapamientos periódicos ni cerrar aeropuertos para reparaciones.
- ❖ Construcción rápida y económica.
- ❖ Planificación de larga vida.

La posibilidad de ejecutar recapamientos de hormigón sobre pavimentos de asfalto en aeropuertos se viene utilizando desde hace 60 años con excelentes resultados.

Pavimentos de hormigón de endurecimiento rápido pueden ser construidos y abiertos al tráfico en 12 horas.

Tecnología: Existen equipos de pavimentación con hormigón muy diversos, sencillos y económicos con uso extensivo de mano de obra y de alto rendimiento para carreteras.

Investigación y Desarrollo La investigación de temas referidos a la tecnología del hormigón constantemente obtiene nuevos resultados.

El desarrollo de sobrecapas ultradelgadas de hormigón de alta resistencia, reforzado con fibras sintéticas de entre 7,5 a 10 cm de espesor, colocadas sobre asfalto deteriorado, conforma un “paquete estructural compuesto” de excelentes características y a un precio menor al de un recapamiento asfáltico y por supuesto, con mayor durabilidad.

El IBCH se halla abocado al estudio y difusión de los pavimentos de hormigón por ser este material más económico, durable, y versátil que el asfalto.

a.) Comparación entre una estructura de pavimento flexible y una estructura de pavimento hidráulico.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.



Figura 2.19: El pavimento rígido tiene una buena distribución de cargas produciendo bajas tensiones en la sub-rasante.

Lo contrario sucede en un pavimento flexible, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

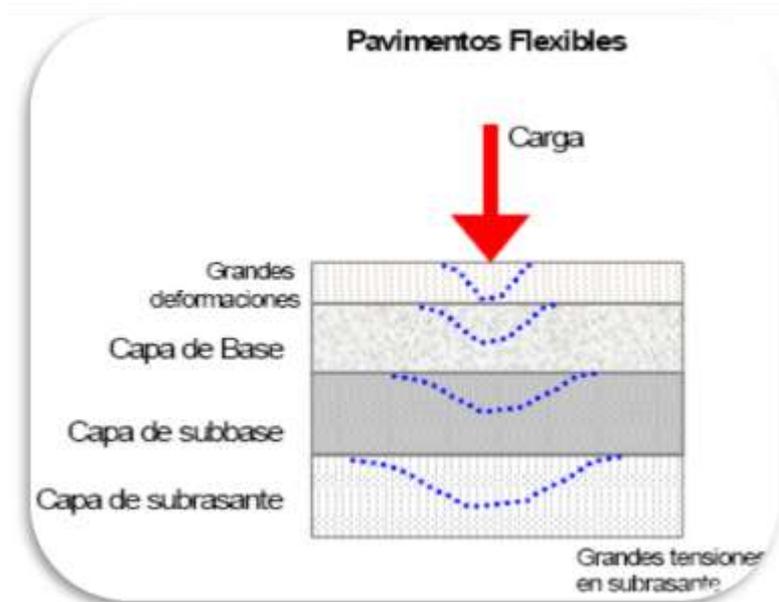


Figura 2.20: El pavimento flexible se deforma más produciendo mayores tensiones en la sub-rasante.

b.) Presiones al Suelo

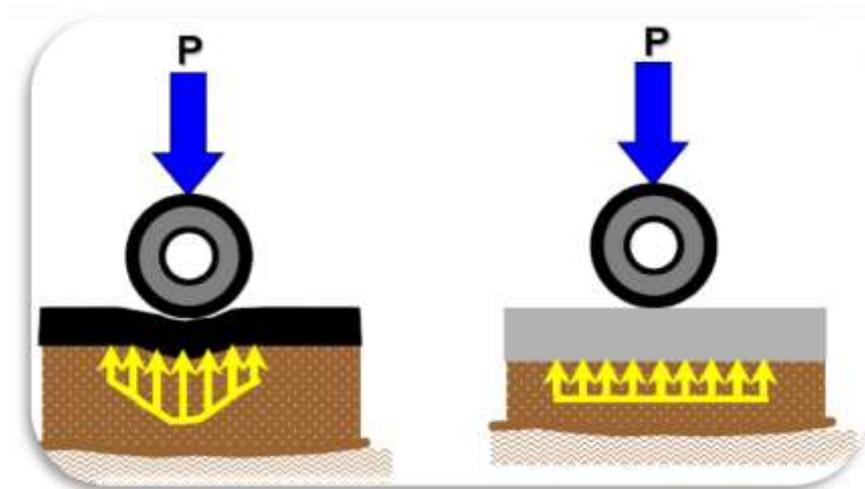


Figura 2.21: Las presiones en pavimento flexible son mayores a la de los pavimentos rígidos

Las presiones transmitidas a la estructura de terracerías son menores en los pavimentos de concreto hidráulicos.

c.) Estructuras Usuales



Figura 2.22: Comparación entre pavimento de asfalto y hormigón.

d.) Capacidad de carga

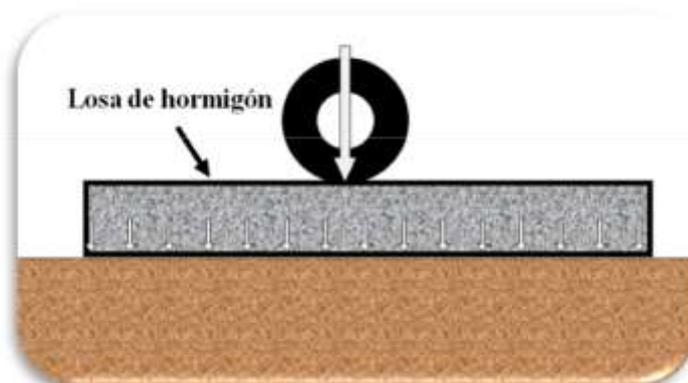


Figura 2. 23: El incremento del espesor del pavimento aumenta su capacidad de carga.

Al incrementar el espesor del pavimento de concreto en 2.5 cm, incrementamos **al doble la capacidad de carga** de ese pavimento.

Un pavimento de 30,5 cm de espesor puede **soportar un 400% más** que un pavimento de 25,5 cm y **cuesta solamente un 20% más**.

e.) Ventajas del Concreto Hidráulico

- Se deteriora con el tiempo
- Requiere reparaciones y recarpeteos constantes
- Alto costo de mantenimiento
- Se deforma su superficie ofreciendo un manejo irregular, o bajo índice de servicio.

- Deterioro mínimo durante su Vida útil
- Duración de 20 a 30 años
- Mantenimiento mínimo
- Deformación mínima de su superficie
- Índice de servicio alto durante su vida útil
- Mayor velocidad de construcción
- Disminución de Costos de Operación
- Mejor drenaje superficial
- Mayor reflexión de la luz
- Requiere menor estructura de soporte

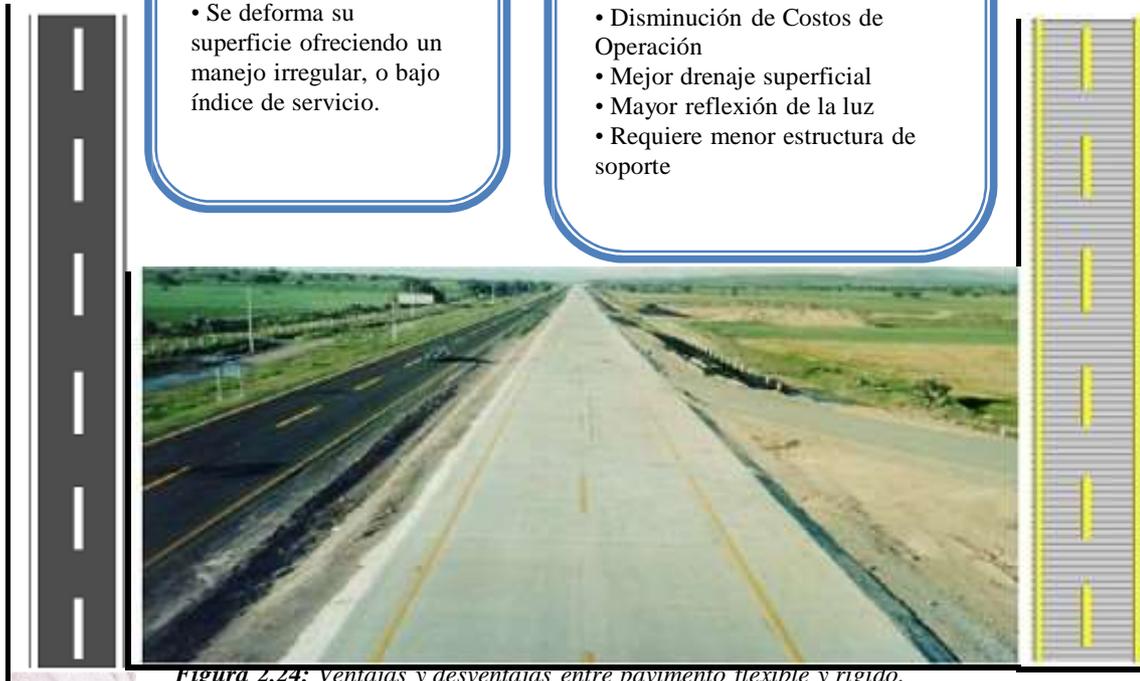


Figura 2.24: Ventajas y desventajas entre pavimento flexible y rígido.

f.) Ahorros

La alternativa de construcción de pavimentos rígidos se vuelve más relevante, principalmente por su bajo costo de conservación y algunos otros ahorros:

- ❖ Hasta 20% en combustibles de camiones.
- ❖ Entre 20 y 25% en iluminación de vialidades urbanas.

g.) Durabilidad

1. Vida útil:

- ❖ Concreto hidráulico: 25 a 40 años.
- ❖ concreto asfáltico: 12,5 a 20 años.

2. Resistencia:

- ❖ Concreto hidráulico: gana hasta un 10% adicional de resistencia después del primer mes.
- ❖ Concreto asfáltico: se reblandece por temperatura.

3. Mantenimiento:

- ❖ Concreto hidráulico: sello de grietas, sustitución de sello en juntas, cada 5 años.
- ❖ Concreto asfáltico: bacheo anual, recarpeteo cada 5 años.

h.) Seguridad

1. Mejor visibilidad:

El concreto hidráulico refleja la luz proporcionando una mejor visibilidad.

Separación de armazones:

- ❖ Concreto hidráulico: 60 m.
- ❖ Concreto asfáltico: 40 m.
- ❖ Ahorro de energía de 20 a 30%.

2. Libre de deformaciones:

- ❖ Superficie rígida indeformable.
- ❖ No se forman roderas.
- ❖ Se evita acuaplaneo.
- ❖ Menor riesgo de accidentes.

2.7. CALIDAD DE DISEÑO EN PROYECTOS CONSTRUIDOS

Para la preparación de este manual, se partió de un supuesto fundamental: un pavimento de calidad tiene un buen desempeño.

La calidad es una propiedad inherente de un pavimento bien construido. La calidad no es un tema de fallas o aciertos.

Según lo define la Sociedad Norteamericana de Ingenieros Civiles (ASCE),

“La calidad nunca es un accidente. Siempre es el resultado de las mejores intenciones, una dirección inteligente y una ejecución calificada. Representa una sabia elección entre muchas alternativas”

La construcción de calidad exige dedicación, desde la gerencia del proyecto hasta la ejecución por parte de la mano de obra.

La gerencia, al igual que el personal de trabajo de campo, debe participar en el concepto de calidad de la construcción, no necesariamente porque sea obligatorio, sino porque esto constituye un enfoque correcto.

Es necesario que el contratista ponga énfasis en el trabajo en equipo y la responsabilidad colectiva para la construcción de pavimentos duraderos.

Los buenos materiales y las buenas prácticas de construcción son vitales para producir pavimentos de concreto duraderos y de alta calidad para.

Aun cuando un pavimento esté diseñado con la más alta calidad, no tendrá un desempeño adecuado si no está construido correctamente.

Un pavimento que está bien construido requiere menos mantenimiento y reparaciones con el transcurso del tiempo.

Para lograrlo, es necesario que los requisitos y especificaciones de construcción estén correctamente definidos, que se puedan medir y que no sean arbitrarios. Las especificaciones del proyecto deben tener la suficiente flexibilidad para permitir innovaciones por parte del contratista.

2.8. FUNCIONAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DELGADOS Y ULTRADELGADOS

Después de la revisión de la literatura acerca de la técnica Whitetopping, se puede apreciar que en todas las experiencias en que se usaron pavimentos delgados (TWT) y/o ultradelgados (UTW), se repiten 3 factores importantes. Éstos son los siguientes.

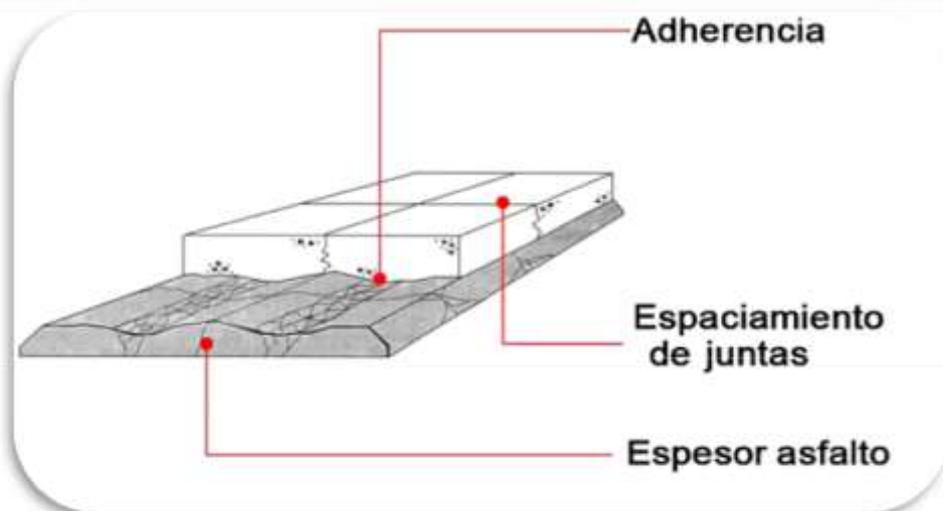


Figura 2.25: Factores que influyen en el comportamiento de los pavimentos delgados de hormigón sobre asfalto, la adherencia entre el asfalto y el hormigón, el espaciamiento entre las juntas y el grosor de la capa asfáltica que sirve de base para el hormigón.

2.8.1. ADHERENCIA

La adherencia entre el asfalto y el hormigón permite un funcionamiento como una sección compuesta. Esto causa que las capas actúen monolíticamente y compartan las cargas. Con la adherencia, el eje neutro en el hormigón cambia desde la mitad de la losa de hormigón hasta el fondo de la misma. Este descenso del eje neutro disminuye los esfuerzos llevándolos a valores que el hormigón puede soportar. (Figura 2.26)

La sección compuesta tiene efectos opuestos en los esfuerzos de esquina. Los esfuerzos en el hormigón disminuyen porque la sección completa es más gruesa. Sin embargo, como el borde se comporta como un voladizo, su máximo esfuerzo ocurre arriba de la losa, y el descenso del eje neutro aumenta la distancia entre las fibras superiores y el eje neutro. En resumen, en las esquinas los esfuerzos disminuyen

porque la adherencia crea una sección más gruesa, sin embargo en la superficie de la losa, aumentan a causa del descenso del eje neutro.

Si el eje neutro se desplaza lo suficientemente bajo, la ubicación de la carga crítica debe moverse desde el borde hacia la esquina, dependiendo de los materiales y de las características de la capa. Esto explica porqué muchos proyectos han desarrollado grietas de esquina.

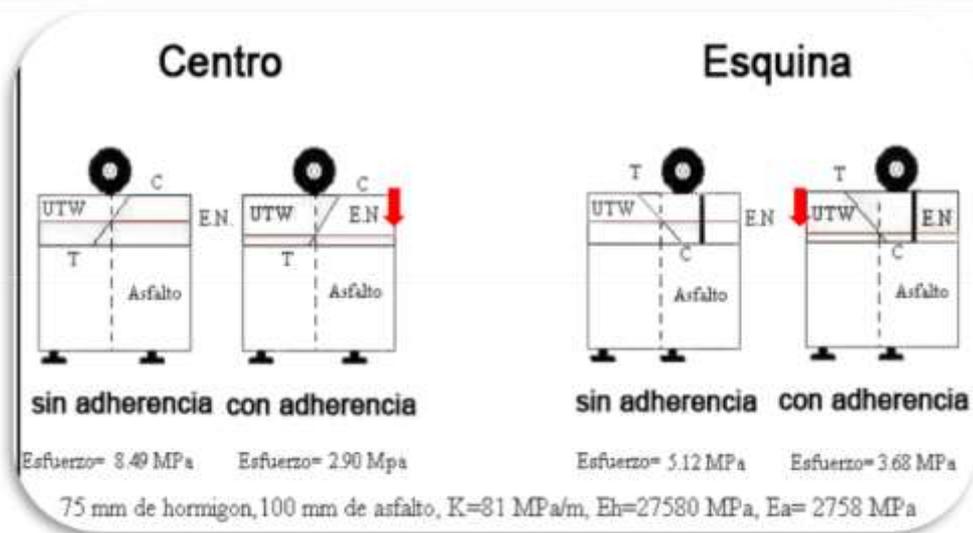


Figura 2.26: La adherencia produce un descenso del eje neutro, lo que hace que los esfuerzos disminuyan, en el caso del centro de la losa, en el caso de las esquinas disminuye también el esfuerzo, pero menos que en el caso del centro de la losa.

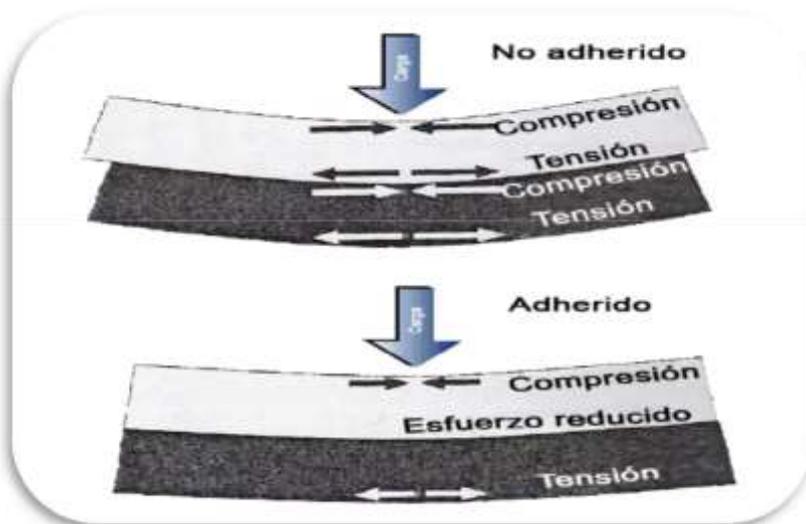


Figura 2.27: El Whitetopping, que idealmente es adherido, reduce los esfuerzos, gracias a la adherencia entre las capas de hormigón y de asfalto.

2.8.2. ESPACIAMIENTO DE LAS JUNTAS

Todos los sistemas de pavimentos deben absorber la energía de aplicación de carga, ya sea por flexión o deflexión (flecha). Las juntas son construidas a poca distancia ya que esto reduce el brazo de momento de aplicación de la carga y minimiza los esfuerzos debido a la flexión.

Este espaciamiento forma un sistema de pavimento de bloque, el cual transfiere la carga al pavimento flexible a través de deflexión antes que la flexión (Figura 2.27).

Los espaciamientos típicos que funcionan bien fluctúan entre 0,6 a 1,5 m (figura 2.28). Se recomienda que el máximo desplazamiento sea 12 a 15 veces el espesor de la losa en ambas direcciones.

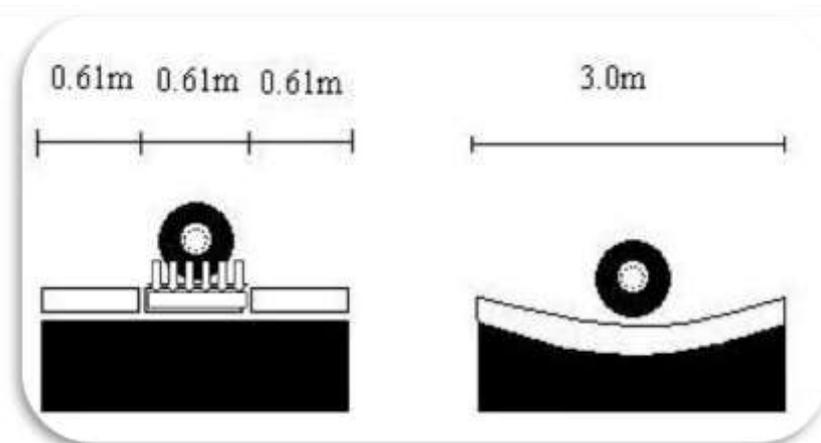


Figura 2.28: Al tener espaciamientos cortos, se busca que el pavimento actúe como mecanismo y no como estructura.

2.8.3. ESPESOR DEL ASFALTO

Después de preparar la superficie, debe quedar asfalto suficiente para formar una sección compuesta que soporte la carga. Se recomienda que el mínimo espesor de asfalto después del fresado sea de 75 mm.

Un espesor mayor aumenta la capacidad de carga del sistema, disminuye los esfuerzos críticos en el hormigón y disminuye la fatiga en la parte inferior de la capa de asfalto (Figura 2.29). Para espesores mayores a los 10 cm, se habla de recubrimientos convencionales.

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

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

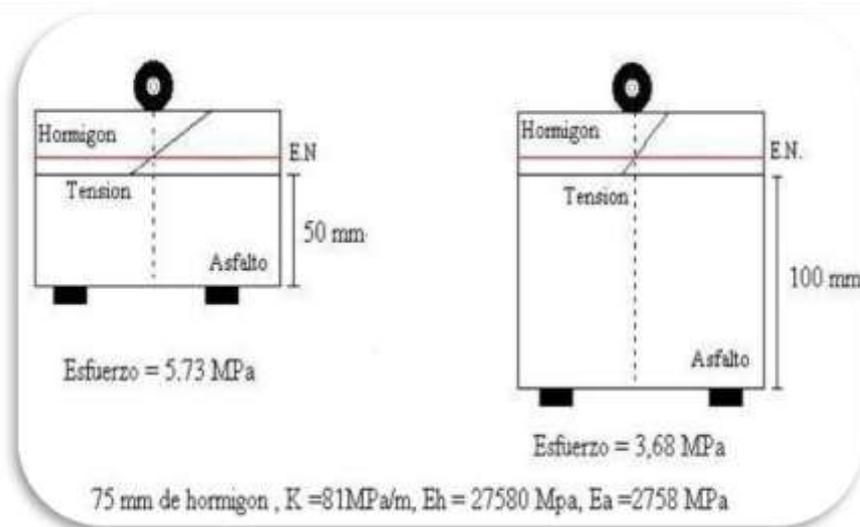


Figura 2.29: Efecto del espesor del asfalto, a mayor espesor, las tensiones disminuyen.

2.8.4. PROCESO CONSTRUCTIVO

Sólo es necesario reparar problemas serios del pavimento existentes tales como ahuellamientos severos, desplazamientos y baches (Tabla 2.2). 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 reemplazarse.

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.

2.8.4.1. 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. En la siguiente figura se muestra el número de datos registrados para una sección transversal típica de 2 pistas. Por cada sección transversal se toman elevaciones en donde el criterio indique que la superficie se encuentra deformada. Generalmente se necesitan entre 7 a 9 datos para una vía de dos pistas. Son muy frecuentes las medidas en los bordes del pavimento, línea central, huellas y puntos en la mitad de cada pista. La sección transversal se determina en cada estación usando las elevaciones medidas y una elevación de la superficie propuesta (nueva rasante), que debe incluir los requisitos de espesor, incluso sobre elevaciones altas de la superficie existente.

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 removidos (que pueden utilizarse en la construcción de bermas). 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, por ejemplo el gálibo bajo un paso bajo nivel. 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.

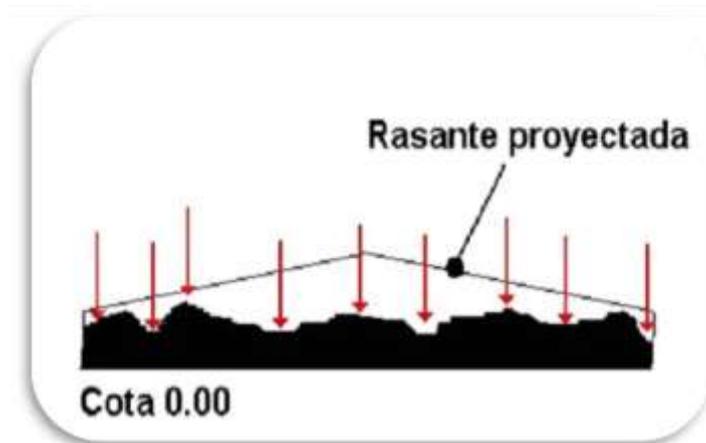


Figura 2.30: Esquema de recolección de puntos para realizar el perfil topográfico.



Figura 2.31: Vista de la superficie tras el fresado. Nótese la textura rugosa de la superficie, fundamental para obtener una buena adherencia.

2.8.4.2. Limpieza de la Superficie

Tras la preparación de la superficie, es necesaria una profunda limpieza de ésta. Para la eliminación de las partículas grande, basta con un buen escobillón (Figura 2.32). Para limpiar el polvo, es recomendable aplicar aire comprimido (Figura 2.33). Se recomienda humedecer el asfalto de manera de enfriarlo para evitar un secado acelerado del hormigón que provocaría microfisuración en el hormigón fresco.



Figura.2.32: Faenas de limpieza con escobillón para las partículas grandes.

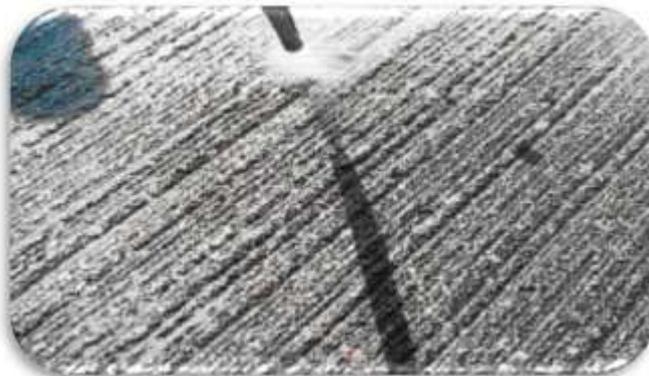


Figura 2.33: Faena de limpieza más profunda, usando aire comprimido, para remover las partículas más pequeñas.

2.8.4.3. Hormigonado de la Superficie

Para realizar la colocación del hormigón, se puede utilizar, en el caso de vías urbanas, un tren pavimentador de tamaño medio, especialmente diseñado para trabajos en ciudad. Este tren 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. (Figura 2.34 y 2.35) para la terminación puede realizarse un barrido manual, si es que la terminación del tren 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 (Figura 2.36)



Figura 2.34: Colocación del hormigón, directamente desde el camión Mixer.



Figura 2.35: Tren pavimentador en faenas de hormigonado.



Figura 2.36: Aplicación de aspillera, para la obtención de la textura rugosa.

2.8.4.4. Membrana de Curado

Es recomendable utilizar alguna membrana de curado para evitar el secado acelerado de la superficie y por lo tanto fisuración plástica.

La aplicación se realiza con rociado con fumigadores (Figura 2.37)



Figura 2.37: Aplicación de la membrana de curado.

2.8.4.5. Corte de Juntas

El corte de las juntas se debe realizar en cuanto la resistencia de la superficie sea suficiente como para soportar el peso de las máquinas de corte.

Esto ocurre por lo general cerca de las 4 horas de colocado el hormigón.

2.8.4.6. Curado del Hormigón

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 las experiencias realizadas 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.



Figura 2.38: Aplicaciones de mantas de polietileno para el curado del hormigón.

2.8.4.7. 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), pero en estos casos los espesores de diseños son mayores a los de Whitetopping delgado y ultradelgado en el caso de éstos, las barras de transferencia de cargas no se necesitan.

2.8.4.8. Apertura al Tránsito

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.



Figura 2.39: Apertura al tránsito.

3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y DIAGNOSTICO

Para comprender con mayor exactitud la rehabilitación correcta a aplicar sobre el Pasaje Las Rosas se deberá hacer un estudio del pavimento flexible.

En este capítulo se llevara a cabo el estudio estructural del pavimento, igualmente se efectuará el Índice de Regularidad Internacional (IRI) para ver en las condiciones que se encuentra, de esta forma verificar si requiere o no la restauración y si está dentro de los parámetros que se solicitan además se hará el estudio de tráfico en horas pico para saber cuántos vehiculos pasan por la vía en cuestión..

Para esto será preciso acudir a empresas y la alcaldía para que se proporcionen los datos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

3.1. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

Durante el proceso de elaboración de este proyecto se pudo observar que no se cuenta con algunos datos necesarios del tramo en estudio, con las limitaciones impuestas se llevo a cabo un reconocimiento visual sobre el pasaje “Las Rosas”, generando un esquema de las fallas superficiales que se mostrará más adelante.



Figura 3.1: Panorama Longitudinal del Pasaje Las Rosas visto desde la Calle Oruro.



Figura 3.2: Panorama Longitudinal del Pasaje Las Rosas visto desde Avenida Membrillos.

Haciendo un análisis de la situación actual del pavimento en estudio, se debe tomar en cuenta ciertos datos que se pudo recolectar de la alcaldía, los cuales no son de gran claridad porque los funcionarios cambiaron y posiblemente sean documentos que se perdieron, ya que hablamos de 18 años atrás, exactamente del año 1993, y hasta la fecha este asfalto ya habría cumplido en dos veces el tiempo de servicio. Puesto que fueron diseñados para una vida útil de 7 años.

Según datos compilados este pavimento fue construido por una empresa americana, que eran los únicos que contaban con la maquinaria necesaria para hacer este tipo de trabajos.

También con una sondeo a los vecinos que viven hace muchos años en lugar y se pudo evidenciar que el pavimento se colocó sobre las diferentes capas estructurales como son la sub base y la base.

Una vez efectuado la extracción de núcleos se pudo verificar la información que se obtuvo mediante la alcaldía y los vecinos del barrio en donde se encuentra este tramo en estudio, pudiéndose notar claramente la grava chancada y la arena (Figura 3.3), siendo estos agregados de útil importancia para la capa base.



Figura 3.3: Capa base conformada por grava chancada y arena.



Figura 3.4: Capa base el cual fue notorio mediante la extracción de núcleo.

Esta calle así como el casco viejo de la ciudad de Tarija fueron construidos de manera correcta, ya que cuentan con las capas estructurales que conforma un pavimento flexible es decir, sub rasante, sub base, y la base, y cabe reconocer que son pocos los pavimentos que se construyeron de manera considerada, ya que en estos últimos tiempos colocan el pavimento de asfalto sobre las calles empedradas.

También se notó claramente en la extracción de los núcleos la variación en sus espesores, esto para favorecer al bombeo del agua, ya que en la parte central tenía un espesor de 8 cm. y en las laterales desde 4,5 a 5 cm. de espesor.



Figura 3.5: Núcleos de diferentes espesores.

3.2. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE ENTIDADES COOPERANTES.

En este proyecto se pudo identificar considerables entidades cooperantes, primeramente fue preciso un tramo de estudio, el cual obligatoriamente fue necesario pedir el apoyo de la alcaldía, en la Dirección de Construcción y mantenimiento de las vías urbanas de la ciudad de Tarija, una vez obtenido el tramo para realizar la técnica del Ultra Thin Whitetopping.

Otra entidad cooperante fue la Sociedad Boliviana de Cemento, el cual me permitió hacer el uso de las instalaciones de sus laboratorios de hormigones de Cemento El Puente, de esta forma realizar las prácticas de laboratorio y obtener un hormigón de alta resistencia, ya que para esta técnica se pide un contenido alto de cemento para así alcanzar un recubrimiento de hormigón óptimo, resistente y duradero.

Para eso se requiere precisión en las granulometrías, peso específico, pesos unitarios, siendo que estos parámetros son necesarios para alcanzar una mezcla óptima de hormigón igualmente se necesita exactitud en cada una de las mediciones o pesajes del los agregados para el hormigón: como ser del agregado grueso, fino, cemento, agua y aditivo, también se hizo el uso de los materiales y equipos como ser los tamices, balanzas, moldes cilíndricos, moldes rectangulares, mezcladora y la maquina para Pruebas de Compresión de Probetas y Flexo-tracción de Vigas. SO.BO.CE. además fue el que proporcione los costos del pavimento rígido, así mismo la Administradora Boliviana de Carreteras A.B.C. coadyuvó con el costo de la maquina fresadora, el aire comprimido, y el pavimento flexible.

Otra entidad que colaboro fue la seleccionadora de Áridos Viracocha con el donativo de áridos para el estudio granulométrico, una vez obtenido los resultados de los respectivos análisis se procedió a la compra, ya que se obtuvieron resultados positivos en el estudio mecánico de las mismas.

Para la extracción de núcleos del pavimento flexible del tramo en estudio se pidió colaboración a la Dirección de Construcción y Mantenimiento de la Alcaldía, asimismo a la Empresa Constructora A.D.A. ya que el costo de extracción de cada uno de los núcleos oscila entre los 40 a 50 \$us, fue de gran ayuda la colaboración de cada una de las empresas, personas, ingenieros, que desinteresadamente contribuyeron para llevar a cabo este proyecto de grado

3.3. INFORMACIÓN RECUPERADA.

3.3.1. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS.

Mediante una valoración estructural del tramo en estudio se pudieron identificar puntos críticos, y se realizo un examen de las condiciones del pavimento existente en los cuales se alcanzó a observar:

- ❖ Grieta piel de cocodrilo en áreas mínimas.



Figura 3.6: Piel de cocodrilo de menor grado.



Figura 3.7: Piel de cocodrilo de mayor grado ubicado entre Av. Potosí y Rosendo Estensoro.

- ❖ Grietas de borde en especial en áreas de estacionamiento como en las de giro.
- ❖ Desnivel calzada - acera: este desperfecto se pudo observar en ciertas zonas en el que se realizó el reconocimiento, donde las mediciones variaban desde los 17 cm. hasta 13cm., así mismo se pudo visualizar hinchamiento, esto por parte de raíces de los árboles que afectan al pavimento.



Figura 3.8: Desequilibrio de acera - calzada.

- ❖ **Grietas longitudinales como Transversales:** En todo el trayecto explorado se pudo apreciar esta falla así también en la foto se observa que existe ahuellamientos.



Figura 3.9: Grietas longitudinales y transversales de menor grado.



Figura 3.10: Grietas longitudinales de mediano grado ubicados entre Av. Los Membrillos y Rosendo Estensoro.

- ❖ **Baches:** Estas fallas muestran una desintegración del asfalto los cuales afectan a la estructura del pavimento porque hacen retención agua y causan otros defectos como ser peladuras, desintegración.



Figura 3.11: Pequeño bache que sobresalta en el pavimento flexible.

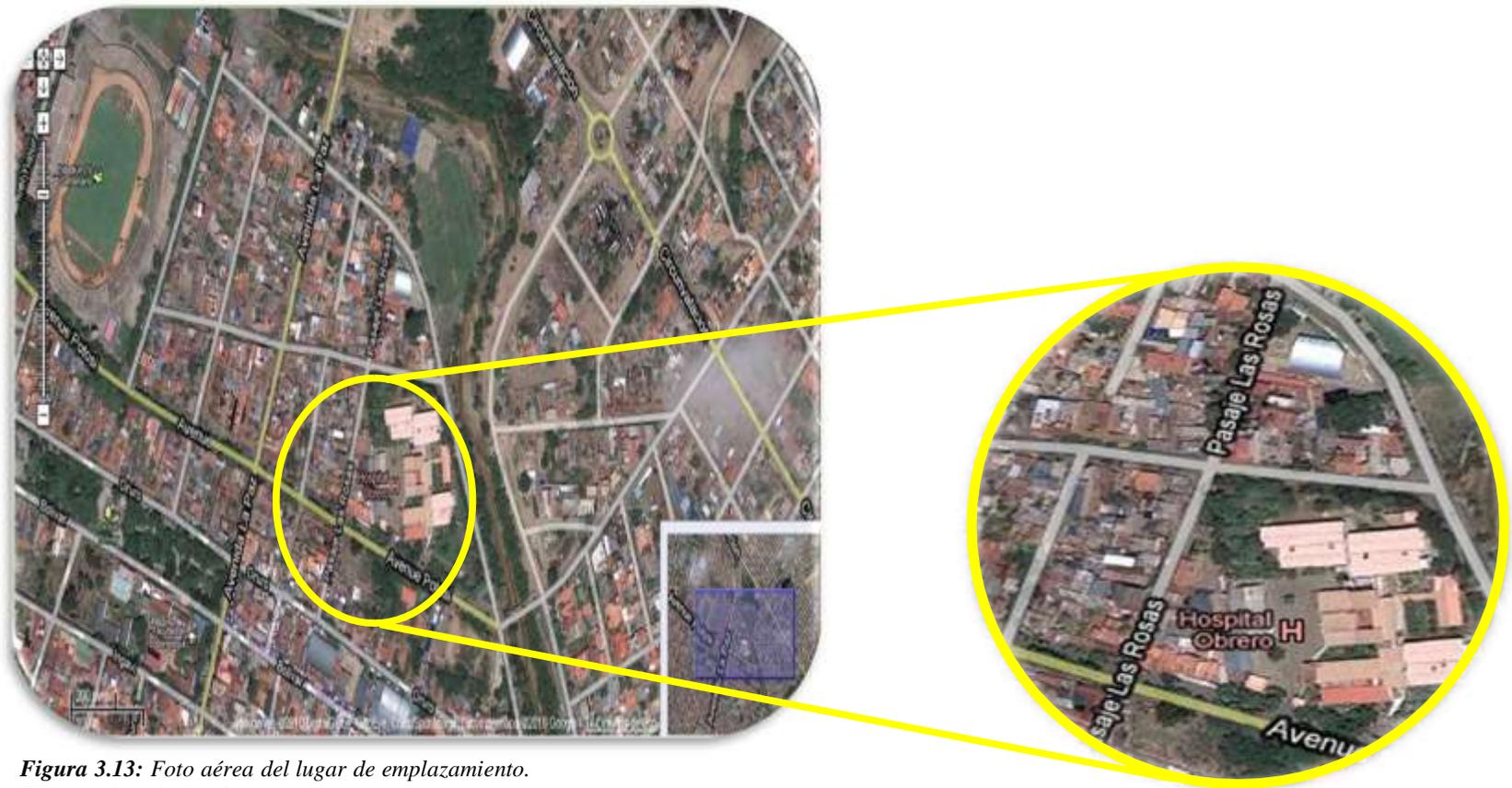


Figura 3.12: Peladuras en pequeñas áreas del pavimento.

- ❖ Huecos: estas fallas existen en menor grado así también son de un grado mínimo, de esta falla pueden producirse otras fallas como ser grieta piel de cocodrilo, desintegraciones y baches.

3.3.2. UBICACIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO.

El proyecto se encuentra ubicado en la ciudad de Tarija ubicada en el Departamento Autónomo de Tarija. En la fotografía aérea se puede apreciar una ubicación más fácil de distinguir en relación a la ciudad, ya que se puede apreciar que la calle de emplazamiento se halla entre avenida Potosí y calle Oruro y paralela a la Avenida La Paz.



*Figura 3.13: Foto aérea del lugar de emplazamiento.
Fuente: Google Earth*

Croquis de Ubicación

Como se puede observar en el croquis, la zona de estudio está ubicada entre la Av. Oruro y Membrillos paralela a la Av. La Paz el cual colinda hacia Norte con el barrio La Pampa, al Sur Con el barrio Villa Fátima, al Este con el Hospital Obrero y Barrio Palmarcito Oeste con Av. La Paz y el Parque Bolívar, sus coordenadas son al S $21^{\circ}32'2.61''$ y O $64^{\circ}43'16.05''$ y una elevación **1867.205 m.s.n.m.**



Figura 3.14: Croquis de ubicación del lugar de emplazamiento.
Fuente: Google Earth.

3.3.3. ANÁLISIS Y ESTUDIO DE TRÁFICO.

3.3.3.1. Generalidades

A partir de la década de los 30, ha surgido una nueva rama dentro de la ingeniería civil, que se la conoce como “Ingeniería de Tráfico”, debido al acelerado desarrollo del vehículo automotor.

Esta parte de la ingeniería civil, estudia las características de los cuatro elementos que son: el conductor, el peatón, el vehículo y la vía, además de la relación existente entre estos elementos.

El volumen y características del tránsito fijan el ancho del pavimento, mientras que el peso y las frecuencias de las cargas de los ejes o de ruedas de los vehículos determinan el espesor y otras características del diseño estructural.

Es evidente que la frecuencia de circulación de las cargas de rueda más pesadas, difieran fundamentalmente de una calle urbana de tránsito general a una calle residencial de tránsito local.

En general las calles urbanas pueden agruparse, de acuerdo con el tránsito, dentro de los siguientes sistemas:

Sistema de Tránsito General: Comprende las calles destinadas a servir grandes volúmenes de tránsito para comunicaciones inter comunales o provinciales, a velocidades relativamente altas, salvo raras excepciones, está reservada para calles de varias carriles con pocas intersecciones a nivel con sus accesos controlados.

Sistema Arterial Mayor: Agrupan las calles que reciben y aportan a las de sistemas de tránsito general, los volúmenes de tránsito que se mueven dentro o a través del área municipal, siendo utilizadas por los omnibuses y camiones que suplen necesidades comunes.

Sistema Colector: En este sistema están incluidas las calles arteriales secundarias o rutas afluentes, utilizadas para reunir.

Sistema Local: Sus calles llevan poco tránsito, principalmente originado en ellas mismas o el que es ocasionado por vehículos de reparto.

3.3.3.2. Volumen y Clasificación de Vehículos

El estudio sobre volúmenes de tránsito fue realizado con el propósito de obtener información relacionada con el movimiento de vehículos sobre puntos o secciones específicas dentro del sistema vial (Anexo I).

Estos datos de volúmenes de tránsito son expresados con respecto al tiempo.

Se define como volumen de tránsito al número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un período determinado.

Se ha contabilizado el movimiento vehicular de lunes a viernes ya que esos días los volúmenes de tráfico son de mayor aglomeración por el movimiento de tráfico y de personas que quieren movilizarse en la ciudad.

El elevado volumen de tráfico se lo encuentra en las horas pico esto se debe a que dicho tramo es una vía de descongestionamiento para la avenida La Paz.

Se contabilizaron los vehículos que terminan la calle en su totalidad (Tabla 3.1), como los que circulan entre la calle Oruro y avenida Potosí (Tabla3.2) de esta forma sacar el espesor de Whitetopping que requiere la vía.

Se consideró que vehículos o combinaciones de vehículos circulen por la vía con un peso bruto vehicular promedio indicados a continuación:

La composición de tráfico de automóviles livianos, corresponde a las siguientes clases de vehículos:

Vehículos livianos:

- ❖ Automóviles.
- ❖ Vagonetas.
- ❖ Camionetas.
- ❖ Otros livianos.

Tabla 3.1:
ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR

Proyecto: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"
Vía: Pasaje Las Rosas
Universitaria: Sinthya S. Gonzáles Alejo.
Referencia: Cantidad de vehículos que terminan la calle en su totalidad

CONTEO DE VEHÍCULOS EN HORAS PICO

FECHA	DIA	TURNO	HORAS	AUTOS	CAMIONETAS
12-jul-11	MARTES	MAÑANA	7:30 -8:30	28	18
		TARDE	11:30 -12:30	31	23
		NOCHE	18:30 -19:30	26	17
		TOTAL			85
13-jul-11	MIÉRCOLES	MAÑANA	7:30 -8:30	27	15
		TARDE	11:30 -12:30	32	24
		NOCHE	18:30 -19:30	24	20
		TOTAL			83
14-jul-11	JUEVES	MAÑANA	7:30 -8:30	28	18
		TARDE	11:30 -12:30	33	24
		NOCHE	18:30 -19:30	26	18
		TOTAL			87
15-jul-11	VIERNES	MAÑANA	7:30 -8:30	26	18
		TARDE	11:30 -12:30	33	22
		NOCHE	18:30 -19:30	25	17
		TOTAL			84
18-jul-11	LUNES	MAÑANA	7:30 -8:30	27	17
		TARDE	11:30 -12:30	35	23
		NOCHE	18:30 -19:30	21	21
		TOTAL			83

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.2:
ESTUDIO DE TRÁFICO VEHICULAR

Proyecto: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"
Vía: Pasaje Las Rosas
Universitaria: Sinthya S. Gonzáles Alejo.
Referencia: Cantidad de vehículos que circulan entre calle Oruro y Av. Potosi

CONTEO DE VEHÍCULOS EN HORAS PICO

FECHA	DIA	TURNO	HORAS	AUTOS	CAMIONETAS
12-jul-11	MARTES	MAÑANA	7:30 -8:30	64	28
		TARDE	11:30 -12:30	70	32
		NOCHE	18:30 -19:30	65	28
TOTAL				199	88
13-jul-11	MIÉRCOLES	MAÑANA	7:30 -8:30	68	42
		TARDE	11:30 -12:30	76	46
		NOCHE	18:30 -19:30	72	40
TOTAL				216	128
14-jul-11	JUEVES	MAÑANA	7:30 -8:30	83	43
		TARDE	11:30 -12:30	75	48
		NOCHE	18:30 -19:30	67	43
TOTAL				225	134
15-jul-11	VIERNES	MAÑANA	7:30 -8:30	75	45
		TARDE	11:30 -12:30	80	52
		NOCHE	18:30 -19:30	78	56
TOTAL				233	153
18-jul-11	LUNES	MAÑANA	7:30 -8:30	68	40
		TARDE	11:30 -12:30	74	53
		NOCHE	18:30 -19:30	71	50
TOTAL				213	143

Fuente: Elaboración Propia

3.4. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Las características estructurales del pavimento en estudio se efectuó mediante una evaluación superficial basado en el método PCI (Anexo I), aquí se da una breve explicación de la forma de metrado que se efectuó mediante una tabla y para su mejor explicación mediante teoría se realiza la información del método establecido

3.4.1. MÉTODO DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

(Pavement Condition Index - PCI)

(El Índice de Condición de pavimento - PCI)

El método de evaluación de pavimentos PCI, fue desarrollado por M.Y. Shahin y S.D. Khon y publicado por el cuerpo de Ingenieros de la armada de Estados Unidos en 1978.

El objetivo de este estudio fue desarrollar un Índice de Condición de Pavimentos (PCI) para carreteras y calles para proveer al ingeniero de un método estándar para evaluación de la condición estructural y de la superficie de una sección de pavimento, y de un método para determinar necesidades de mantenimiento y reparación en función de la condición de pavimentos.

Entre las características del método de evaluación del PCI, se puede citar las siguientes:

- ◆ Es fácil de emplear
- ◆ No requiere de ningún equipo especial de evaluación, el procedimiento es enteramente visual.
- ◆ Ofrece buena repetitividad y confiabilidad estadística de los resultados.
- ◆ Suministra información confiable sobre las fallas que presenta el pavimento, su severidad y área afectada (Anexo I).

Los pasos requeridos para la evaluación de cada tramo o sección de vía están orientados a:

- ◆ Recorrer la vía en un vehículo “estándar” a la máxima velocidad permitida en la misma.

- ❖ Seleccionar dentro del tramo un subtramo que represente la condición promedio del pavimento en todo el tramo.
- ❖ Determinar el valor del PCI en una sección del subtramo. Es importante que la sección seleccionada sea lo más representativa posible de la condición promedio del pavimento en todo el tramo.
- ❖ **Unidades de Muestreo.-** Se divide la vía en secciones o “unidades de muestreo”, cuyas dimensiones varían de acuerdo con los tipos de vía y de capa de rodadura:
- ❖ Carreteras con capa de rodadura asfáltica y ancho menor que 12 m: El área de la unidad de muestreo debe estar en el rango $230 \pm 93\text{m}^2$. En el cuadro se presentan algunas relaciones longitud – ancho de calzada pavimentada. **“Para el tramo en estudio elegimos un área de 231 m²”** que está en el rango que recomienda el manual del (PCI).

Tabla 3.3:
LONGITUDES DE UNIDADES DE MUESTREO ASFÁLTICAS

Ancho de Calzada en (m.)	Unidades de Longitud de Muestreo en (m.)
5	46
5,5	42
6	38
6,5	35
7,3	32
8	29
8,5	27
9	26
9,5	24
10	23
10,5	22
11	21
11,5	20
12	19

Fuente: Evaluación estructural y desempeño de pavimentos.

El grado de deterioro de un pavimento estará dado en función del tipo de falla, su severidad (ancho de grieta, etc.) y de su densidad (% del área afectada)

3.4.2. CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

El PCI califica la condición “integral” del pavimento en base a una escala que varía desde 0 hasta 100. A continuación se muestran los puntos para la calificación del PCI:

100  Pavimento en “perfecto” estado.

70  Punto en que el pavimento comienza a mostrar pequeñas fallas localizadas, es decir el punto en que deben iniciarse acciones de mantenimiento rutinario y/o preventivo menor.

55  Punto en que el pavimento requiere acciones de mantenimiento localizado para corregir fallas más fuertes.

Condición para corregir fallas fuertes. Su condición de rodaje sigue siendo “buena” pero su deterioro o reducción de calidad de rodaje comienza a aumentar.

40  Punto en cual el pavimento muestra fallas más acentuadas y su condición de rodaje puede calificarse como “regular” o “aceptable”, el deterioro aumenta rápidamente.

Este punto es cercano al definido como punto “óptimo” de rehabilitación.

0  El pavimento está fuertemente deteriorado, presenta diversas fallas avanzadas y el tráfico no puede circular a velocidad normal.

El pavimento se considera “fallado” y requiere acciones de mantenimiento mayor y eventualmente reconstrucción parcial de un alto porcentaje de su área.

El cuadro resume la acción a tener en cuenta de acuerdo al valor del PCI calculado para cada vía.

Se aprecia además el estado del pavimento asociado a este mismo valor.

PCI	ESTADO	INTERVENCIÓN
0 - 30	Malo	Construcción
31 - 70	Regular	Rehabilitación
71 - 100	Bueno	Mantenimiento

Fuente: Evaluación estructural y desempeño de pavimentos.

Tabla 3.4:
RANGOS DE CALIFICACIÓN DEL PCI
Rango de Clasificación

RANGO	CALIFICACIÓN
100 – 85	Excelente
85 – 70	Muy Bueno
70 – 55	Bueno
55 – 40	Regular
40 – 25	Malo
25 – 10	Muy Malo
10 – 0	Fallado

Fuente: Evaluación estructural y desempeño de pavimentos.

Los trabajos de Mantenimiento ($PCI > 70$) están referidos a la actividad de “aumentar” la vida útil de la estructura de pavimento, en términos de comodidad y seguridad. Puede constituir una práctica preventiva y/o correctiva.

Los trabajos de Rehabilitación ($70 > PCI > 30$) se refiere a la actividad necesaria para “devolver” a la estructura de pavimento las condiciones de soporte de carga con las que inicialmente se construyó así como su nivel de servicio en términos de seguridad y comodidad

Finalmente los trabajos de Construcción ($PCI < 30$) se vinculan a la caracterización de una estructura de pavimento nueva sobre vías en afirmado o tierra o que por su estado

de deterioro se considera deben ser reconstruidas. Entre las fallas consideradas en el método del PCI se consideran un total de diecinueve (19) que involucran a todas aquellas que se hacen comunes en la degradación del pavimento.

Nº. DESCRIPCIÓN UNIDADES

1. Grieta Piel de cocodrilo	m2.
2. Exudación de Asfalto	m2.
3. Grietas de contracción (en bloque)	m2.
4. Elevaciones y Hundimiento	m.
5. Corrugaciones (encalaminado)	m2.
6. Depresiones	m2.
7. Grieta de borde	m.
8. Grietas de reflexión de juntas	m.
9. Desnivel calzada-Hombrillo	m.
10. Grietas longitudinales y transversales	m.
11. Baches y zanjas reparadas	m2.
12. Agregado Pulidos	m2.
13. Huecos	No.
14. Acceso y salidas a puentes, rejilla de drenaje, líneas férreas	m2.
15. Ahuellamientos	m2.
16. Deformación por empuje	m2.
17. Grietas de deslizamientos	m2.
18. Hinchamiento	m2.
19. Disgregación y desintegración	m2.

Es importante que el evaluador del pavimento esté familiarizado con estos tipos de falla, sus niveles de severidad y las formas de medición establecidas en el método. Los tipos de fallas más comunes en pavimentos asfálticos son: grieta del tipo piel de cocodrilo, de contracción, de reflexión de juntas, longitudinales y transversales, baches, huecos, ahuellamientos, y desintegración o disgregación superficial. El resto de los tipos de falla considerados en el método, son encontrados menos frecuentemente. En algunos casos se requiere entender como es afectada la calidad de rodaje por diversos tipos de falla a fin de determinar su severidad.

BAJO: Las vibraciones o saltos en el vehículo se sienten, pero no es necesario reducir la velocidad por razones de seguridad y/o confort.

MEDIO: Se producen vibraciones o salto significativos, que hacen necesario reducir la velocidad por seguridad y/o confort. Saltos individuales o continuos que producen molestias.

ALTO: Excesivas vibraciones hacen reducir considerablemente la velocidad.

Saltos individuales que producen gran molestia, peligro o posible daño vehicular.

3.4.3. CAUSAS DE FALLAS

Los daños en los pavimentos flexibles se deben a múltiples causas:

Tabla 3.5:
CAUSANTES DE LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

FALLA	CAUSAS
Tráfico de Diseño	- Cargas mayores a las de diseño
	- Incremento del tráfico
Proceso Constructivo	- Deficiencias en los procesos constructivos
Deficiencias de Proyecto	- Diseños inadecuados
	-Mala calidad y dosificación de los materiales
	-Mala valoración en la subrasante
Factores Ambientales	- Elevación de la napa freática, Inundaciones
	-Lluvias, congelamiento, sales
Deficiente Mantenimiento	-Técnicas inadecuadas de mantenimiento
	-Falta de conservación

Tráfico de Diseño: en muchos casos se tiene un tráfico de diseño del pavimento incorrecto, las cargas son bastante mayores a las previstas. Se debe a errores en la aproximación de cargas o también al incremento en el tráfico con los años.

Proceso Constructivo: deficiencias en los procesos constructivos hacen una estructura débil del pavimento. Esto se debe a inadecuados espesores y mezclas. Así como una deficiencia en la distribución y compactación de las capas.

Deficiencias de Proyecto: Diseños inadecuados y una mala valoración de la subrasante. Por otro lado, a veces se tiene una mala calidad y dosificación de las mezclas asfálticas y mala calidad de materiales usados en la producción.

Factores Ambientales: Elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, variación térmica, congelamiento, sales nocivas. Así como una insuficiencia en el drenaje superficial o profundo.

Deficiente Mantenimiento: Falta de mantenimiento y conservación.

3.4.4. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN

Se realiza una inspección visual inicial con un vehículo para observar de forma global el estado de las vías. Luego se procede a dividir la vía en subtramos para ser evaluadas, en este caso se dividió la vía en cuadras. Luego se procede a realizar la inspección detallada o relevamiento de fallas, que consiste en recorrer todas las vías caminando y haciendo las anotaciones correspondientes a todas las fallas observadas. Estas fallas son anotadas en un papel denominado formato de metrado de fallas. Finalmente, obtenida toda la información de campo se procede a calcular los valores del PCI de cada subtramo, con esto se tiene el inventario de todas las fallas de la vía y su ubicación, para poder definir la intervención necesaria con fines de rehabilitación.

El formato en el cual se aprecia el relevamiento de fallas de una calle. Lo primero que se llena en el formato es el nombre de la calle a ser evaluada, la fecha, el área y el responsable. Una vez llenado estos datos se comienza a recorrer la vía para realizar el relevamiento de fallas.

El formato se llena de la siguiente manera:

1. Se coloca el número de cada tipo de falla encontrada que se ubica en la parte

Fuente: Elaboración Propia.

2. Se coloca el metrado en cada tipo de falla observado con su nivel de severidad (Baja, Mediana o Alta)
3. Se obtienen los totales de cada tipo de falla.
4. Se calcula la densidad (%), que se obtiene del metrado entre el área total.
5. Se calcula los valores de deducción, que se obtienen de los gráficos de deducción (Anexo I) con la densidad. Luego se obtiene la suma total.
6. Se calcula el valor de deducción corregido (VDC)
7. Por último se calcula el valor del PCI:

$$\text{PCI} = 100 - \text{VDC}$$

Tabla 3.6:

FORMATO PARA LA OBTENCIÓN DEL MÁXIMO VALOR DEDUCIDO CORREGIDO (MVDC).

Nº	VALORES DE DESCUENTO INDIVIDUALES (VDI)							TOTAL	"q"	(VDC)
1	31	24	22	17	12	7	7	120	7	60
2	31	24	22	17	12	7		113	6	56
3	31	24	22	17	12			106	5	56
4	31	24	22	17				94	4	54
5	31	24	22					77	3	50
6	31	24						55	2	41
7	31							31	1	30

Calculo del (PCI) de la unidad restando de 100 el máximo (VDC) obtenido en la etapa anterior.

$$\text{PCI} = 100 - 60$$

$$\text{PCI} = 40$$

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.7:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL: MUESTRA N° 1

Formato de Metrado							
Proyecto: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"							
Vía: Pasaje Las Rosas				Unidad: 1 (Entre calle Oruro y Potosí)			
Universitaria: Sinthya S. Gonzáles Alejo.				Área de la Muestra: (ancho 5,5 m ; longitud 42 m.) = 231 m ²			
TIPOS DE FALLAS							
1	Grieta piel de cocodrilo	m ²	11	Baches y zanjas reparada.	m ²		
2	Exudación de Asfalto	m ²	12	Agregados pulidos	m ²		
3	Grietas de Contracción	m ²	13	Huecos	Nº		
4	Elevaciones- Hundimientos	m.	14	Acceso a puentes	m ²		
5	Corrugaciones	m ²	15	Ahuellamiento	m ²		
6	Depresiones	m ²	16	Deformación 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	Disgregación y Desintegra	m ²		
10	Grietas longitudinales y Transversales	m.					
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES							
	1	7	9	10	13	18	19
	7,5 L	4 M	16 M	10 M	3 L	3 M	1 M
				10 M		1 M	1,5 M
				8 M			0,9 M
TOTAL							
BAJA (L)	7,5	-	-	-	3	4	-
MEDIA (M)	-	4	16	28	-	-	8,4
ALTA (H)	-	-	-	-	-	-	-
CÁLCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> PCI = 100 - VDC </div> <div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 40 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO </div> <div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> REGULAR </div>			
1	3,25	L	22				
7	1,73	M	7				
9	6,93	M	7				
10	12,12	M	31				
13	1,30	L	24				
18	1,73	M	17				
19	3,64	M	12				
VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN (VDT)			120				
VALOR DE DEDUCCIÓN CORR. (VDC)			60				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.8:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL: MUESTRA N° 2

Formato de Metrado							
Proyecto: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"							
Vía: Pasaje Las Rosas				Unidad: 2 (Entre calle Potosí y Estensoro)			
Universitaria: Sinthya S. Gonzáles Alejo.				Área de la Muestra: (ancho 5,5 m. ; longitud 42 m.) = 231 m ²			
TIPOS DE FALLAS							
1	Grieta piel de cocodrilo	m ²	11	Baches y zanjas reparada	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	Deformación 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	Disgregación y Desintegr:	m ²		
10	Grietas longitudinales y Transversales	m					
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES							
	1	7	9	10	12	18	19
	7,5 M		4 M	14 M			
	2,5 M			5 M			
	12 H			8 H			
				5,5 H			
TOTAL							
BAJA (L)		-	-	-	-	-	-
MEDIA (M)	10	-	4	19	2	-	-
ALTA (H)	12	-	-	13,5	-	-	-
CÁLCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD.	VALOR DE DEDUCCIÓN	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> PCI = 100 - VDC </div> <div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 34 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO </div> <div style="border-bottom: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> REGULAR </div>			
1	4,33	M	38				
1	5,19	H	55				
9	1,73	M	4				
10	8,23	M	16				
10	5,84	H	24				
12	0,87	M	0				
VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN (VDT)			137				
VALOR DE DEDUCCIÓN CORR. (VDC)			66				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.9:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL: MUESTRA N° 3

Formato de Metrado							
Proyecto: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"							
Vía: Pasaje Las Rosas				Unidad: 3 (Entre calle Potosí y Estensoro)			
Universitaria: Sinthya S. Gonzáles Alejo.				Área de la Muestra: (ancho 5,5 m. ; longitud 42 m.) = 231 m ²			
TIPOS DE FALLAS							
1	Grieta piel de cocodrilo	m ²	11	Baches y zanjas reparada	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	Deformación 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	Disgregación y Desintegr	m ²		
10	Grietas longitudinales y Transversales	m					
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES							
	1	7	9	10	12	18	19
	9,5 M			14 M	6,5 M		3 M
				16 M	6 M		
				14 H	12 H		
				9 H			
TOTAL							
BAJA (L)	-	-	-	-	-	-	-
MEDIA (M)	9,5	-	-	30	12,5	-	3
ALTA (H)	-	-	-	23	12	-	-
CÁLCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> PCI = 100 - VDC </div> <div style="text-align: center; margin: 10px auto;"> 45 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO </div> <div style="text-align: center; margin: 10px auto;"> REGULAR </div>			
1	4,11	L	25				
10	12,99	M	32				
10	9,96	M	34				
12	5,41	M	3				
12	5,19	L	3				
19	1,30	M	11				
VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN (VDT)			108				
VALOR DE DEDUCCIÓN CORR. (VDC)			55				

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.10:
EVALUACIÓN ESTRUCTURAL: MUESTRA N° 4

Formato de Metrado							
Proyecto: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"							
Vía: Pasaje Las Rosas				Unidad: 4 (Entre calle Estensoro y Membrillos)			
Universitaria: Sinthya S. Gonzáles Alejo.				Área de la Muestra: (ancho 5,5 m ; longitud 42 m.) = 231 m ²			
TIPOS DE FALLAS							
1 Grieta piel de cocodrilo	m ²	11 Baches y zanjas reparada:	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 Deformación 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 Disgregación y Desintegr	m ²				
10 Grietas longitudinales y Transversales	m						
TIPOS DE FALLAS EXISTENTES							
	1	7	9	10	11	12	19
	2 L		6 M	11 M	6 M	12 M	
				15 M	8 M	18 M	
				12 H			
				8 H			
TOTAL							
BAJA (L)	2	-	-	-	-	-	-
MEDIA (M)	-	-	6	26	14	30	-
ALTA (H)	-	-	-	20	-	-	-
CÁLCULO DEL PCI							
TIPO DE FALLA	DENSIDAD	SEVERIDAD	VALOR DE DEDUCCIÓN	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> PCI = 100 - VDC </div> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 10px auto;">40</div> <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> CONDICIÓN DEL PAVIMENTO </div> <div style="font-size: 1.5em; font-weight: bold; margin: 10px auto;">REGULAR</div> <hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/>			
1	0,87	L	10				
9	2,60	M	5				
10	11,26	M	29				
10	8,66	H	30				
11	6,06	M	25				
12	12,99	M	11				
VALOR TOTAL DE DEDUCCIÓN (VDT)			110				
VALOR DE DEDUCCIÓN CORR. (VDC)			60				

Fuente: Elaboración Propia.

3.4.5. ÍNDICE DE RUGOSIDAD

En la ingeniería de carreteras, la calidad del pavimento se analiza determinando la Regularidad Superficial, que tiene que ver con las deformaciones verticales acumuladas a lo largo de un kilómetro con respecto a un plano horizontal en un pavimento, denominadas irregularidades. Éstas se deben principalmente a dos causas: la primera, al procedimiento constructivo, y la segunda, al daño producido a la carretera misma por el tránsito vehicular.

En ocasiones dichas irregularidades son una combinación de ambas; así por ejemplo, las diferentes capas que constituyen a un pavimento suelen presentar irregularidades debidas a asentamientos o acomodos de los materiales que las constituyen, y son función de las cargas que circulan sobre el pavimento y de un deficiente proceso constructivo.

En base a la información que se proporcionó en la Alcaldía el índice rugosidad ya habría pasado en dos veces su regularidad y se tomó en cuenta el resultado de la evaluación estructural por el método de PCI y se observó que necesita de una rehabilitación ya que la condición del pavimento está en un estado regular a malo.

Mediante tablas se procedió a sacar el índice de rugosidad teniendo el dato de la evaluación estructural un PCI variable en los tramos entre 45 y 34 con este dato ingresamos en el Tabla 3.10, donde se obtuvo un valor de QI de 35 – 65, con el valor obtenido ingresamos en la tabla 3.11 y procedimos a sacar el IRI de la calle en estudio y conseguimos un valor de IRI = 3,6 a 6,4 donde nos da la siguiente descripción :El pavimento presenta tramos con los primeros deterioros, baches ocasionales (1-3 baches cada 50m. 2% de baches), depresiones (20a 40mm. Cada 5m. O de 10a 20mm. Cada 3m.), velocidad normal de conducción 75Km. /hr.

Tabla 3.11:
RANGOS DE RELACIÓN ENTRE (PCI), (QI), (PSI)

RANGOS DE RELACIÓN (PCI), (QI), (PSI)				
(PCI)	DESCRIPCIÓN	(QI) UNIDADES/KM	(PSI)	DESCRIPCIÓN
90-100	Muy bueno, excelente	0-20	3-5,0	El pavimento es completamente nuevo.

60 - 90	Bueno	20 - 35	2,5 - 3	Pavimentos de concreto asfáltico de buena calidad, tratamiento superficial muy bueno, no existen corrugaciones ni baches.
40 - 60	Regular	35 - 65	1 - 2,5	El pavimento presenta tramos con los primeros deterioros, baches ocasionales (1-3 baches cada 50m. 2% de baches), depresiones (20a 40mm. Cada 5m. O de 10a 20mm. Cada 3m.), velocidad normal de conducción 75Km. /hr.
20 - 40	Muy pobre.			
0 - 20	Fallando	65 - 110	0,4 - 1	El pavimento está severamente afectado, con depresiones profundas y desiguales (mayores o iguales a 20mm/3m), baches frecuentes (15 – 20 baches cada 50m. o 15% de baches).

Fuente: Evaluación estructural y desempeño de pavimentos.

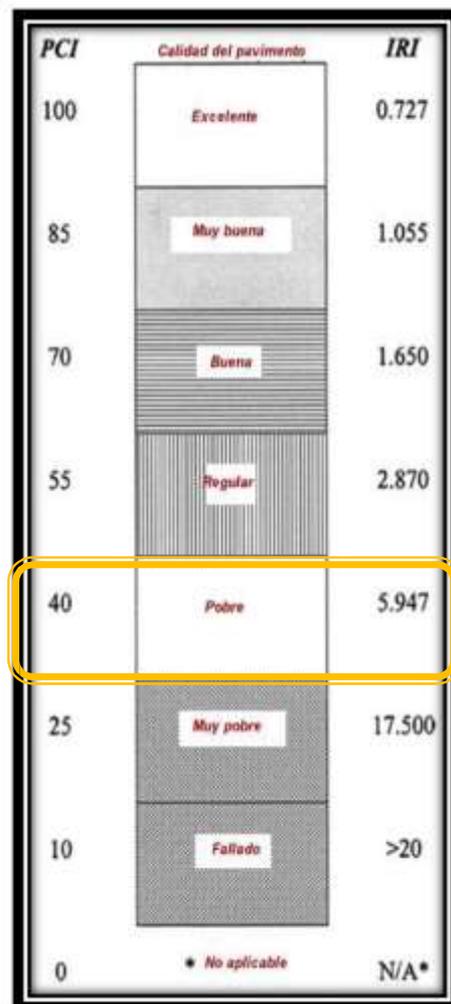
Tabla 3.12:
RUGOSIDAD ADMISIBLE Y MANTENIMIENTO A REALIZAR
EN LAS CALLES DE ESTUDIO

RUGOSIDAD ADMISIBLE Y MANTENIMIENTO		
(QI) RUGOSIDAD	0 - 40	mantenimiento de rutina permanente
(PSI)	5,0 -2,0	mantenimiento de rutina permanente
(PCI)	100 - 40	mantenimiento de rutina permanente
(IRI)	0 - 3,6	mantenimiento de rutina permanente
(QI) RUGOSIDAD	40-80	mantenimiento periódico
(PSI)	2 - 0,8	mantenimiento periódico
(PCI)	40 - 16	mantenimiento periódico
(IRI)	3,6- 6,4	mantenimiento periódico
(QI) RUGOSIDAD	80 - 120	rehabilitación

(PSI)	0,8 - 0,32	rehabilitación
(PCI)	16 - 6,4	rehabilitación
(IRI)	6,4 - 10	rehabilitación
(QI) RUGOSIDAD	mayor a 120	reconstrucción
(PSI)	0,32 - 0,0	reconstrucción
(PCI)	6,4 - 0,0	reconstrucción
(IRI)	10,0 - 20,0	reconstrucción

Fuente: Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos.

Figura 3.15: Calidad de pavimentos para valores de IRI y PCI



Fuente: Guía de diseño mecánico-empírico de pavimentos.

3.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA.

Mediante la información alcanzada se pudo evidenciar que el tramo en estudio necesita de una rehabilitación ya que en la evaluación estructural nos dio como resultado un P.C.I. = 40 y la descripción nos da:

40  Punto en cual el pavimento muestra fallas más acentuadas y su condición de rodaje puede calificarse como “regular” o “aceptable”, el deterioro aumenta rápidamente. Este punto es cercano al definido como punto “óptimo” de rehabilitación.

La capa asfáltica sujeta en estudio reúne las condiciones para ser rehabilitada mediante la técnica del Ultra Thin Whitetopping ya que es necesario que posea las capas estructurales como son la sub base y base.

4. DISEÑO DEL WHITETOPPING

INTRODUCCIÓN

Dado que la actividad constructiva en el campo de los pavimentos ha entrado en la era de la rehabilitación, que los grandes esfuerzos de los países en principios estaban orientados en aumentar su red pavimentada, debido al poco énfasis puesto en su conservación, la problemática se ha transferido a recuperar los pavimentos deteriorados y que requieren de una rehabilitación, se desarrollaron diferentes soluciones prácticas entre ellas el Whitetopping.

4.1 CRITERIOS GENERALES PARA EL DISEÑO.

Para el diseño del Whitetopping no existe un método único y uniforme. A medida que se han desarrollado proyectos, cada institución a cargo de éstos, adoptaron métodos que se adapten a sus requerimientos de mejor forma.

Se identificaron tres factores que favorecen en el buen comportamiento de los pavimentos delgados de hormigón sobre asfalto, que son: la adherencia entre la capa de hormigón y la capa de asfalto existente, el espesor de la capa de asfalto existente de 5 cm y el espaciamiento entre las juntas de 60 cm.

Estos tres factores mencionados, además de la resistencia a la flexión del hormigón y el soporte de la base, constituyen parámetros importantes en el diseño del espesor de la capa de hormigón, desarrollado por la American Concrete Pavement Association (ACPA) que veremos a continuación en donde se involucran todas estas variables para determinar la capacidad de carga que podrá resistir el pavimento proyectado, y a su vez determinar la vida de servicio que se pueda esperar de acuerdo al proyecto.

La American Concrete Pavement Association (ACPA) ha desarrollado una guía que proporciona la capacidad de carga y la vida útil, con tablas basadas en un análisis mecánico y su correlación con el desempeño en servicio de los proyectos construidos en Estados Unidos.

Las tablas abarcan las siguientes variables y rangos:

- ❖ h1: Espesor del UTW: 50 mm; 80 mm y 100 mm.

- ❖ h2: Espesor del asfalto remanente: 75 mm; 100 mm; 125 mm y 150 mm.
- ❖ Separación entre juntas: 0.60; 0.90; 1,20 y 1,80m.
- ❖ Resistencia a Flexión de diseño: 4,8 MPa y 5,5 MPa.
- ❖ Módulo de reacción subrasante / sub-base combinado k: 27 MPa/m y 54 MPa/m.
- ❖ Las tablas cubren dos categorías de carga: Eje simple: 8,0 t y 11,6 t y Eje doble: 16,0 t y 19,6 t.

4.2 DISEÑO DEL WHITETOPPING.

Método de Diseño UTW de la PCA (Portland Cement Association).

Éste es un método para el diseño de pavimentos ultradelgados (UTW), pero como vimos en el capítulo dos el funcionamiento de las capas ultradelgadas y delgadas, es similar, por lo que se consideró necesario revisar este procedimiento de diseño.

Técnicamente este método es un proceso de análisis que permite la predicción del número de ejes hasta llegar a la falla del pavimento, para una configuración dada en cuanto a espesores y separación de las juntas. Este método es mecanicista empírico.

4.2.1. MÉTODO DE DISEÑO DE ESPESOR DE LA ACPA (AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION)

Éste método de diseño está indicado para pavimentos ultradelgados (UTW). El método está basado en observaciones y mediciones en terreno. También se considera el efecto de los esfuerzos producidos por gradientes de temperatura.

A manera de simplificación, el método se resume en una serie de tablas ordenadas según categorías de camiones definidas como sigue:

- ❖ Carga por eje categoría A (camiones pequeños) con un máximo de carga por eje simple de 80kN (18000lb) y para eje doble 160 kN (36000 lb).
- ❖ Carga por eje categoría B (camiones medianos) con un máximo de carga por eje simple 116 kN (26000 lb) y para eje doble de 196 kN (44000 lb).

De las tablas se obtiene el número de camiones (en miles) para un supuesto de carga y de diseño de UTW el cual está definido en términos de capacidad de soporte de la

base, resistencia a la flexión del hormigón (PCC), espesor del hormigón, espesor del asfalto y la separación de las juntas.

Las tablas de diseño son las siguientes.

Tabla 4.1:
MÉTODO DE DISEÑO ACPA.

N° de camiones (en miles) admisibles por pista para UTW (Carga por eje Cat A, K= 27 Mpa/m)							
Resistencia Flexión Mpa	h2 Espesor Asfalto Cm	h1, espesor UTW (cm)					
		5		8		10	
		Espaciamiento de juntas (m)					
		0,91	0,61	1,22	0,91	1,83	1,22
4,8	7,62	6	60	40	104	137	303
4,8	10,16	56	156	125	234	294	546
4,8	12,7	169	375	314	507	593	996
4,8	15,24 o mas	462	839	709	1070	1188	1862
5,5	7,62	24	77	90	158	273	458
5,5	10,16	81	183	201	311	478	748
5,5	12,7	213	422	428	625	858	1290
5,5	15,24 o mas	507	935	880	1249	1572	2301

Fuente: American Concrete Pavement Association.

Tabla 4.2:
MÉTODO DE DISEÑO ACPA.

N° de camiones (en miles) admisibles por pista para UTW (Carga por eje Cat A, K= 54 Mpa/m)							
Resistencia Flexión Mpa	h2 Espesor Asfalto Cm	h1, espesor UTW (cm)					
		5		8		10	
		Espaciamiento de juntas (m)					
		0,91	0,61	1,22	0,91	1,83	1,22
4,8	7,62	30	163	117	258	331	640
4,8	10,16	140	385	310	519	606	1045
4,8	12,7	384	842	664	1008	1099	1748
4,8	15,24 o mas	765	1709	1092	1663	1591	2499
5,5	7,62	70	209	221	374	577	915
5,5	10,16	201	450	436	667	912	1396
5,5	12,7	480	938	840	1222	1487	2190
5,5	15,24 o mas	882	1877	1334	2227	2039	3574

Fuente: American Concrete Pavement Association.

TABLA 4.3:
MÉTODO DE DISEÑO ACPA.

N° de camiones (en miles) admisibles por pista para UTW (Carga por eje Cat B, K= 27 Mpa/m)							
Resistencia Flexión Mpa	h2 Espesor Asfalto Cm	h1, espesor UTW (cm)					
		5			8		10
		Espaciamiento de juntas (m)					
		0,91	0,61	1,22	0,91	1,83	1,22
4,8	7,62	NR	29	1	38	8	136
4,8	10,16	15	90	43	122	98	299
4,8	12,7	90	228	168	301	273	593
4,8	15,24 o mas	259	529	428	671	639	1181
5,5	7,62	2	43	31	84	106	268
5,5	10,16	39	110	98	188	238	471
5,5	12,7	129	263	252	406	501	845
5,5	15,24 o mas	328	596	576	840	1007	1581

Fuente: American Concrete Pavement Association.

TABLA 4.4:
MÉTODO DE DISEÑO ACPA.

N° de camiones (en miles) admisibles por pista para UTW (Carga por eje Cat B, K= 54 Mpa/m)							
Resistencia Flexión Mpa	h2 Espesor Asfalto Cm	h1, espesor UTW (cm)					
		5			8		10
		Espaciamiento de juntas (m)					
		0,91	0,61	1,22	0,91	1,83	1,22
4,8	8	NR	75	6	102	56	298
4,8	10	55	216	110	284	230	578
4,8	13	197	497	331	620	553	1076
4,8	15 0 mas	511	1053	771	1221	1148	1915
5,5	8	9	111	79	197	266	551
5,5	10	101	261	221	398	502	875
5,5	13	277	622	495	778	922	1460
5,5	15 o mas	639	1183	1002	1493	1583	2438

Fuente: American Concrete Pavement Association.

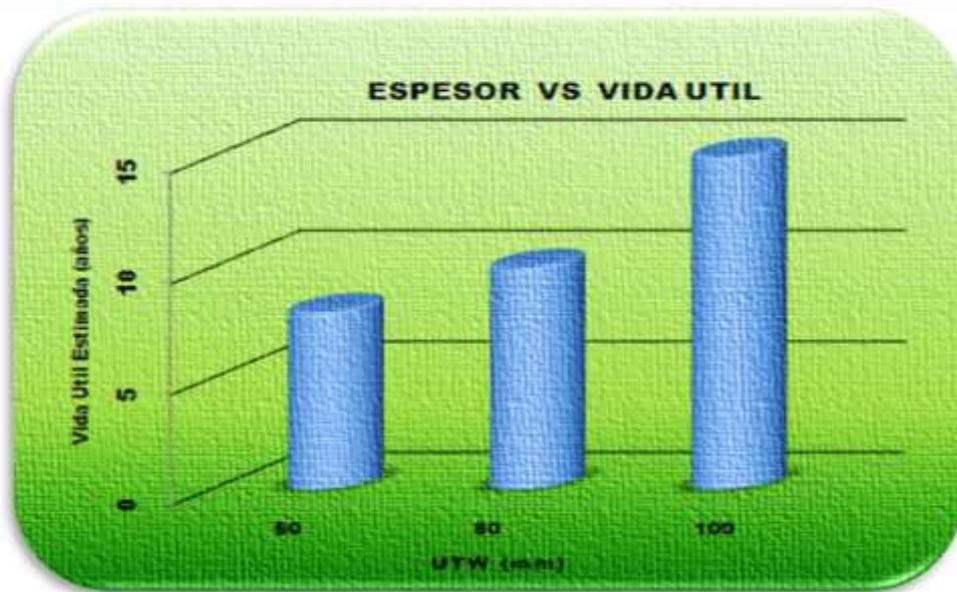


Figura 4.1: Espesor vs Vida Útil (ACPA).

Mediante las tablas y el gráfico procedimos a sacar la vida útil del UTW, con un análisis previo del pavimento existente y un estudio de tráfico en los cuales sólo se tomó en cuenta vehiculos de capacidad de carga media, ya que en la tabla 4.1 hasta la 4.4 nos piden los siguientes datos:

Las tablas abarcan las siguientes variables:

- _ h1: Espesor del UTW: 5,5 mm (Asumido).
- _ h2: Espesor del asfalto remanente: 75 mm.
- _ Separación entre juntas: 0.71 m. (tabla 4.2).
- _ Resistencia a Flexión de diseño: 3,77 MPa, se sugiere en tablas 4,8 MPa .
- _ Módulo de reacción subrasante / sub-base combinado k: 54 MPa/m.

(Este valor se sacó de tablas ya que la alcaldía no contaba con la información Módulo de reacción subrasante / sub-base del pavimento existente).

- _ Las tablas cubren dos categorías de carga: Eje simple: 8,0 ton. - 11,6 ton.
- _ Tráfico vehicular: 59 automóviles por día de mediano peso.

$$\text{Vida Útil (años)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de camiones (en miles)}}{\text{N}^{\circ} \text{ de vehiculos} \times 365 \text{ días}}$$

Nº de camiones (en miles) de tablas (A. C. P. A.) (Tabla 4.2)

$$\text{Vida Útil (años)} = \frac{156.000}{59 \times 365} = 7.24 \text{ Años}$$

Verificando este dato se construyó la Figura 4.2, el cual se realizó mediante una tabla en Excel basado en la Figura 4.1 Espesor vs Vida Útil (ACPA) que son experiencias realizadas en Estados Unidos.

Verificación del espesor de UTW asumido.

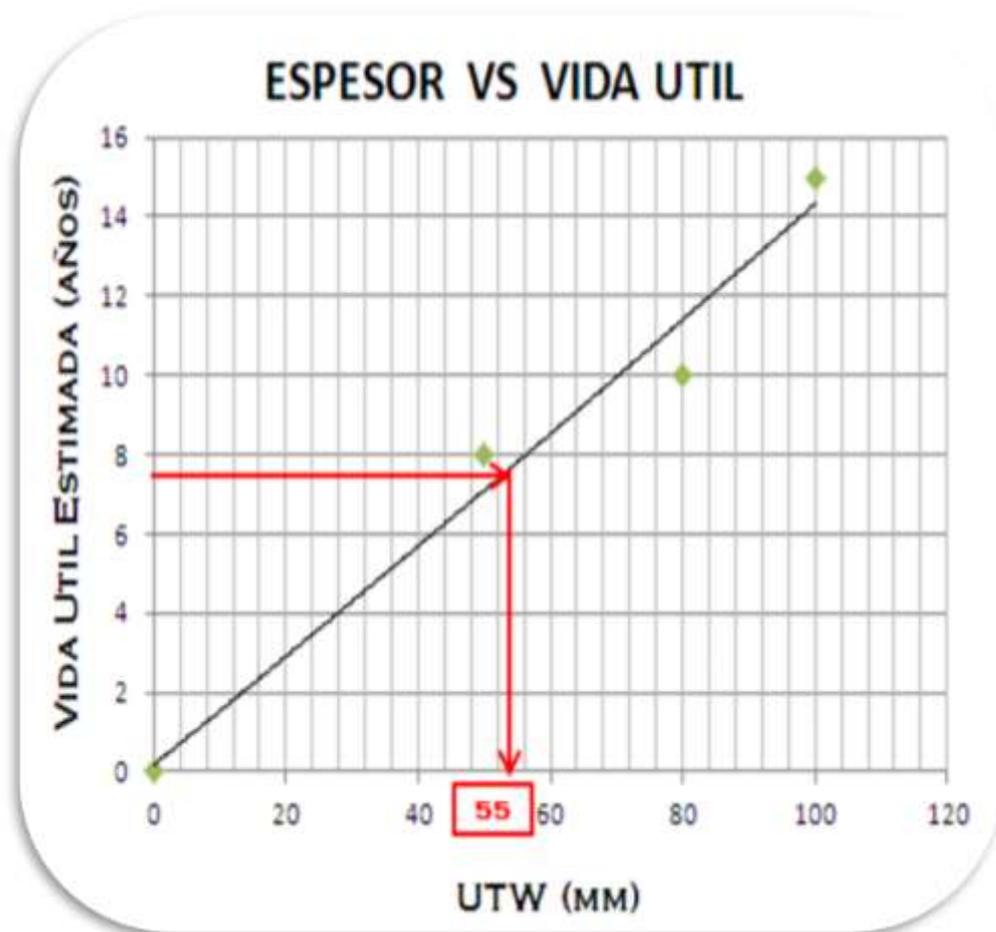


Figura 4.2: Verificación del UTW.

4.3 CARACTERIZACIÓN 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 de la Administradora Boliviana de Carreteras y a la Norma ACI 211; se tomó en cuenta los procedimientos de laboratorio que se tienen que realizar y especificaciones técnicas que se recomiendan para llevar a cabo los diferentes ensayos para el concreto, la confección de probetas y vigas con los propósitos de: verificar la calidad de los materiales componentes y su correcta dosificación.

En el presente proyecto se utilizará solamente el equipo necesario que verifique la caracterización de cada uno de los ensayos destinados a comprobar principalmente el cumplimiento de los requisitos de resistencia en obras viales. El análisis físico-químico del cemento será proporcionado por la fábrica de Cemento El Puente (mediante un informe técnico de calidad). Los ensayos realizados para el agregado grueso estarán de acuerdo al método proporcionada por la ABC. El procedimiento y los cálculos realizados para cada uno de los ensayos del agregado grueso, como fino, se muestran en forma detallada en el Anexo II, por lo que en este capítulo solamente se mostrarán los resultados finales.

4.4. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS UTILIZADOS

Los equipos utilizados para el presente trabajo se encuentran normalizados y calibrados ya que los ensayos fueron realizados en los laboratorios de hormigones de SO.BO.CE, entre éstos se señalan:

Para la Granulometría:

- ❖ Juego de tamices de la Serie Estándar Americana 1", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200., distribuida por la empresa PINZUAR LTDA (Ind. Colombiana).

Para pesaje de las muestras:

- ❖ Balanza Digital marca OHAUS modelo SCOUT Pro SP4001, cuya capacidad máxima es de 4000 gr., capacidad mínima de 0,50 gr., error máximo permisible de 0,10 gr.

❖ Balanza Digital marca PINZUAR (Ind. Colombiana). modelo T3806, cuya capacidad máxima es de 20 kg., capacidad mínima de 0,02 kg., con un error máximo permisible de 0,001 kg.

❖ Balanza Digital marca PINZUAR (Ind. Colombiana). modelo T3806, cuya capacidad máxima es de 100 kg., capacidad mínima de 0,05 kg., con un error máximo permisible de 0,01 kg.

Para Ensayo de Docilidad (Trabajabilidad):

❖ Cono de Abrams, de acuerdo a la Norma (ASTM C143 AASHTO T119).

Para Ensayo de Porcentaje de Vacíos:

❖ Presurímetro de vacíos, de acuerdo a las especificaciones de la Norma (ASTM C138 AASTHO T121).

Para Pruebas de Compresión de Probetas y Flexo-tracción de Vigas:

❖ Máquina de Ensayo Universal, con un alcance máximo de 1000 KN, marca PINZUAR. Clase I, con error relativo máximo hallado en exactitud de -0.53%.

Otros:

❖ Moldes cilíndricos de 150 mm. de diámetro por 300 mm. de altura, de acuerdo con la Norma ASTM C-470.

❖ Moldes rectangulares de 150 mm. de altura por 153 mm. ancho por 507 mm. de largo.

❖ Mezcladora mecánica, bandejas, badilejos, termómetros, cronómetros, cocina, ventiladora, etc.

4.5. IDENTIFICACIÓN DE MATERIALES

4.5.1. CEMENTO EL PUENTE IP- 40

Las características tanto físicas como químicas fueron proporcionadas mediante un informe de calidad dado por el laboratorio de SO.BO.CE. TABLA 4.5, este informe se encuentra dentro de las especificaciones que exige la Norma Boliviana (NB 011).

TABLA 4.5:
INFORME DE CONTROL DE CALIDAD “CEMENTO EL PUENTE IP-40”

ESPECIFICACIONES QUÍMICAS		Unidad	Cemento Portland IP- 40	Especificaciones NB IP-40
PPF		%	3,74	< 7
SiO ₂		%	30,84	
Al ₂ O ₃		%	4,96	
Fe ₂ O ₃		%	2,88	
CaO		%	50,65	
MG		%	2,1	< 6
SO ₃		%	2,49	< 4
R.I.		%	11,74	
Cal Libre		%	1.22	
ESPECIFICACIONES FÍSICAS		Unidad	Cemento Portland IP- 40	Especificaciones NB IP-40
BLAINE		cm ² /gr.	5216	> 2800
TIEMPO DE FRAGUADO	Inicial	Min.	2:06	> 45
	Final	hrs.	4:15	> 10:00
Expansión Lee Chatelier		mm.	0.1	> 8
Relación a/c		ml/gr.	0.542	
FLUIDEZ		%	108	
RESIDUOS EN MALLAS	200 M	% Ret	0.68	
	325 M	% Ret	4.89	
PESO ESPECÍFICO		g./ l.	2.98	
RESISTENCIA A COMPRESIÓN	3 días	MPa.	26.3	> 17
	7 días	MPa.	32.5	> 25
	28 días	MPa.	40.6	> 40

Fuente: Fábrica de Cemento El Puente – SO.BO.CE. S.A.

4.5.2. AGREGADO FINO

Se utilizó bancos de materiales localizado en la Pintada los cuales dieron resultados mecánicos que estaban dentro de los parámetros establecidos bajo la Norma Boliviana.

El agregado fino utilizado fue extraído de la seleccionadora de áridos Viracoche, que se encuentra en localidad de La Pintada, ubicada a 4 Km. al sud de la ciudad de Tarija (carretera a Bermejo).



Figura 4.3: Seleccionadora de áridos “Viracoche”.

4.5.2.1. Tamaño Máximo (T.M.)

El T.M. del agregado fino corresponde al material que pasa el 100% de la muestra:

T.M. = $\frac{3}{8}$ " (9.50 mm.).

4.5.2.2. Porcentaje de Finos

El porcentaje de finos fue determinado mediante ensayos que cumplen con la Norma (ASTM C117), el procedimiento del mismo se detalla en Anexo II:

◆ Porcentaje de Finos = 1.76%

Según especificaciones de la norma, el porcentaje de finos no debe exceder el 5%.



Figura 4.4: Lavado (agregado fino).

4.5.2.3. Granulometría y Módulo de Fineza

El módulo de fineza, se calculó una vez realizado el análisis granulométrico, es el resultado de la suma de los porcentajes acumulados retenidos sobre cada uno de los siguientes tamices: $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, dividido entre 100.

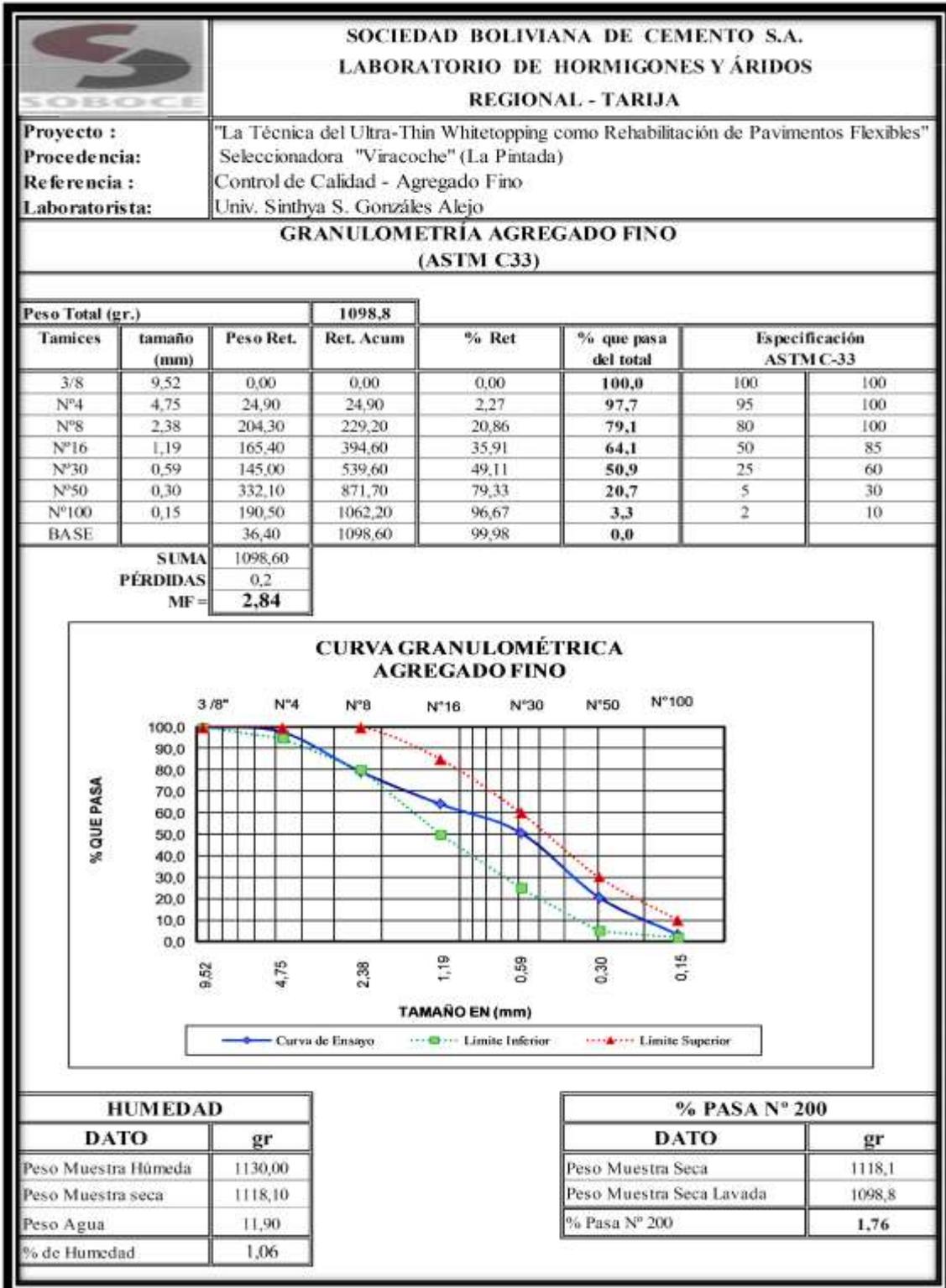


Figura 4.5. Tamices (agregado fino).

El módulo de fineza adecuado para producir concreto debe de estar entre 2.30 y 3.10, donde un valor menor que 2.00 indica una arena fina, 2.50 una arena de finura media y más de 3.0 una arena gruesa.

Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 4.6, el procedimiento del ensayo se detalla en el Anexo II:

TABLA 4.6:
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.



Fuente: Elaboración Propia.

4.5.2.4. Densidad Real, Densidad Neta y Absorción

Según las especificaciones de la Norma (ASTM C128 AASTHO T84), la densidad del agregado fino será expresada como: densidad real con superficie seca, densidad real del árido seco, densidad neta y absorción.

Se realizó el ensayo obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 4.7, el procedimiento del ensayo se detalla en el Anexo II:

TABLA 4.7:
DENSIDAD Y ABSORCIÓN.

Muestra N°	Masa de árido saturado M _{ss} (gr)	Masa matríz con muestra + agua M _u (gr)	Masa de árido seco M _s (gr)	Masa de matríz con agua M _a (gr)	Densidad Real Sup. Seca P _{RT} (gr/cm ³)	Densidad Real de árido Seco P _{RS} (gr/cm ³)	Densidad Neta P _s (gr/cm ³)	Absorción de Agua a (%)
1	500,00	1750,8	493,90	1441,5	2,62	2,59	2,68	1,24
2	500,00	1750,8	493,90	1441,5	2,62	2,59	2,68	1,24
3	500,00	1750,8	493,90	1441,5	2,62	2,59	2,68	1,24
Promedio					2,62	2,59	2,68	1,24

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.6: Árido saturado superficialmente seco



Figura 4.7: Árido saturado + agua + matríz

4.5.2.5. Densidad Aparente Suelta y Compacta

De acuerdo a la Norma (ASTM C29), la densidad aparente suelta, se la utiliza en la dosificación de concretos para la conversión del peso a volumen, es decir para conocer el consumo por metro cúbico de concreto; así mismo la densidad aparente compacta sirve para el conocimiento de volúmenes de materiales apilados, que están sujetos a acomodamiento o asentamiento provocados por el tránsito sobre ellos o por la acción del tiempo. Los ensayos realizados dieron los resultados observados en la tabla 4.8 y 4.9, el procedimiento del ensayo se detalla en el Anexo II:

TABLA 4.8:
DENSIDAD APARENTE SUELTA.

 DENSIDAD APARENTE SUELTA					
MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	1345,0	2094,0	4653,0	3308,0	1,580
2	1345,0	2094,0	4659,0	3314,0	1,583
3	1345,0	2094,0	4671,0	3326,0	1,588
				PROMEDIO	1,58

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 4.9:
DENSIDAD APARENTE COMPACTA.

 DENSIDAD APARENTE COMPACTA					
MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm3)	PESO RECIP. + MUESTRA APISONADA (gr)	PESO MUESTRA APISONADA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)
1	1345,0	2094,0	4839,0	3494,0	1,669
2	1345,0	2094,0	4845,0	3500,0	1,671
3	1345,0	2094,0	4829,0	3484,0	1,664
				PROMEDIO	1,668

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.8: Densidad Aparente Suelta



Figura 4.9: Densidad Aparente Compacta.

4.5.3. AGREGADO GRUESO

El agregado grueso utilizado, es el mismo lugar de extracción que del agregado fino.



Figura 4.10: Planta de áridos "Viracocha".

4.5.3.1 Tamaño Máximo (TM)

El T.M. absoluto del agregado grueso corresponde al material que pasa el 100% de la muestra y es:

☛ T.M. = 1" (25 mm.).

4.5.3.2 Tamaño Máximo Nominal (TMN)

El T.M.N. 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 masa de árido.

❁ T.M.N. = $\frac{3}{4}$ " (19 mm.).

4.5.3.3 Porcentaje de Finos

El porcentaje de finos fue determinado mediante el método del lavado de la muestra y mediante ensayos que cumplen con la Norma, el cual es igual a:

❁ Porcentaje de Finos = 0.45 %

Según la Norma ASTM C117-90, el porcentaje de finos no debe exceder el 1.20%



Figura 4.11: Lavado (agregado grueso).

4.5.3.4 Granulometría y Módulo de Finura

El módulo de fineza, se calcula una vez realizado el análisis granulométrico, es el resultado de la suma de los porcentajes acumulados retenidos sobre cada uno de los siguientes tamices de la serie Estándar Americana: 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", N°4, N°8, N°16, N°30, dividido entre 100.



Figura 4.12: Tamices (agregado grueso).

Los requisitos estipulados en las especificaciones de la Norma ASTM C-33 N°67 para agregado grueso, permiten una relativa amplitud de variación en la granulometría de los límites especificados. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 4.10:

**TABLA: 4.10:
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO**

		SOCIEDAD BOLIVIANA DE CEMENTO S.A. LABORATORIO DE HORMIGONES Y ÁRIDOS REGIONAL - TARIJA				
Proyecto :	"La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"					
Procedencia:	Seleccionadora "Viracoche" (La Pintada)					
Referencia :	Control de Calidad de Agregados Grueso					
Laboratorista:	Univ. Sinthya S. Gonzáles Alejo.					
GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO						
Peso Total (gr.) =		11507				
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado (gr)	Retenido Acumulado (%)	% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM
2 1/2"	63	0,00	0,00	0,00	100,00	
2	50,8	0,00	0,00	0,00	100,00	
1 1/2	38,1	0,00	0,00	0,00	100,00	
1	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00	100
3/4	19,05	712,00	712,00	6,19	93,81	90
1/2	12,7	4597,00	5309,00	46,14	53,86	55
3/8	9,52	2756,00	8065,00	70,09	29,91	20
Nº4	4,75	3216,00	11281,00	98,04	1,96	0
Nº8	2,38	171,00	11452,00	99,52	0,48	0
BASE	0	50	11502,00	99,96	0,04	
SUMA =		11502,00				
PÉRDIDAS =		5,00	TAMAÑO MAX = 1,00			
MF =		6,74				
CURVA GRANULOMÉTRICA Y CONTROL GRANULOMÉTRICO Nº 6						
						
HUMEDAD			% PASA TAMIZ Nº 200			
DATO	gr		DATO	gr.		
Peso Muestra Húmeda	5744,00		Peso Muestra Seca	5719,00		
Peso Muestra seca	5719,00		Peso Muestra Seca Lavada	5693,00		
Peso Agua	25,00		% Pasa Nº 200	0,45		
% de Humedad	0,44					

Fuente: Elaboración Propia.

4.5.3.5 Densidad Real, Densidad Neta y Absorción

Según las especificaciones de la Norma (ASTM C127), se realizaron los ensayos obteniendo los resultados mostrados en la tabla 4.11 el procedimiento del ensayo se detalla en el Anexo II:

TABLA 4.11:
DENSIDAD Y ABSORCIÓN.

DENSIDAD REAL, DENSIDAD NETA Y ABSORCIÓN DEL AGUA EN AGREGADO GRUESO							
Muestra N°	Masa de árido saturado M _{ss} (gr)	Masa de árido sumergido M _{sum} (gr)	Masa de árido seco M _s (gr)	Densidad Real Sup. Seca P _{RT} (gr/cm ³)	Densidad Real de árido Seco P _{RS} (gr/cm ³)	Densidad Neta P _N (gr/cm ³)	Absorción de Agua (%)
1	3936,0	2456,00	4000,00	2,66	2,55	2,59	1,63
2	3933,0	2455,00	4000,00	2,66	2,55	2,59	1,70
3	3936,0	2456,00	4000,00	2,66	2,55	2,59	1,63
Promedio				2,66	2,55	2,59	1,65

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.13: Árido saturado superficialmente seco.



Figura 4.14. Árido sumergido.

4.5.3.6 Densidad Aparente Suelta y Compacta

De los ensayos realizados se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.12 y 4.13:

TABLA 4.12:
DENSIDAD APARENTE SUELTA.

 DENSIDAD APARENTE SUELTA					
MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA SUELTA (gr)	PESO MUESTRA SUELTA (gr)	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³)
1	4596,0	14109,0	26680,0	22084,00	1,565
2	4596,0	14109,0	26770,0	22174,00	1,572
3	4596,0	14109,0	26730,0	22134,00	1,569
PROMEDIO					1,569

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 4.13:
DENSIDAD APARENTE COMPACTA.

 DENSIDAD APARENTE COMPACTA					
MUESTRA N°	PESO RECIPIENTE (gr)	VOLUMEN RECIPIENTE (cm ³)	PESO RECIP. + MUESTRA APISONADA (gr)	PESO MUESTRA APISONADA (gr)	PESO UNITARIO APISONADO (gr/cm ³)
1	4596,0	14109,0	27800,0	23204,00	1,645
2	4596,0	14109,0	27780,0	23184,00	1,643
3	4596,0	14109,0	27830,0	23234,00	1,647
PROMEDIO					1,645

Fuente: Elaboración Propia.



Figura 4.15: Densidad Aparente Suelta.



Figura 4.16: Densidad Aparente Compacta.

4.6. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA PARA LA OBTENCIÓN DEL HORMIGÓN.

4.6.1. DEMOSTRACIÓN DEL MÉTODO A.C.I.

La dosificación de mezclas de concreto es la determinación de la combinación más económica y práctica de agregados disponibles, cemento, agua y en este caso adicionamos aditivo plastificante, que producirá una mezcla trabajable con un endurecimiento adecuado. La dosificación de la mezcla de prueba puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el concreto. A continuación se explica la metodología de dosificación para hormigones, presentada por el comité ACI-211; así mismo, se debe tomar en cuenta que un diseño, en el sentido estricto de la palabra, no es posible, debido a que los materiales son esencialmente variables y muchas de sus propiedades no pueden ser tasadas con exactitud en forma cuantitativa. Por tal motivo, es necesario hacer mezclas de prueba para revisar y ajustar las proporciones de los materiales. Por lo tanto, el diseño de mezclas se basa en el método de ensayo y error, que en este caso converge rápidamente con el sistema de ajuste y reajuste. A continuación en la tabla 4.14, se muestra los pasos del método ACI-211, para el establecimiento de las proporciones de cada uno de los componentes por metro cúbico hormigón el cual se detalla en el Anexo III.

TABLA 4.14.
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO ACI-211

PASO	DESCRIPCIÓN
1	Selección del Asentamiento.
2	Selección de T.M. 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	Calculo del Contenido de Cemento.
8	Estimación de las proporciones de los Agregados.
9	Ajuste por Humedad de los Agregados.
10	Ajuste a la Mezcla de Prueba.

4.6.2. OBTENCIÓN DEL ASENTAMIENTO PARA PAVIMENTO

El asentamiento es el principal parámetro para medir la consistencia que presenta el concreto en estado fresco.

Es por esta razón que antes de realizar cualquier dosificación en masa, se deben realizar primeramente pruebas de cono que sirven para corregir si es necesario la dosificación de la mezcla.

Las primeras consideraciones que se deben tener en cuenta para especificar una consistencia determinada en el concreto fresco son el tamaño de la sección que se va a construir, la cantidad y el tiempo de transporte si la elaboración de la mezcla no es in situ.

Está claro que cuando la sección es estrecha y complicada o cuando hay numerosas esquinas o partes inaccesibles, el concreto debe tener una alta manejabilidad de modo que pueda lograrse la mejor compactación posible con una cantidad razonable de esfuerzo.

El segundo aspecto que se debe considerar son las condiciones de colocación, ya que hoy en día existen múltiples sistemas de vaciado como el bombeo, las bandas transportadoras y las pavimentadoras, entre otros, que requieren de una mayor o menor plasticidad (cohesión) de la mezcla, que, como es sabido, dependen en gran parte del contenido de finos.

La Tabla 4.15 provee una guía empírica de la consistencia requerida por el concreto para diferentes tipos de construcción y sistemas de colocación y de compactación.

Los valores de asentamiento indicados en esta tabla se aplican cuando el concreto va a ser consolidado por vibración.

Si se emplean otros medios de compactación diferentes a la vibración mecánica, los de esta tabla se deben aumentar en 2.5 cm. (1”).

Como regla general y por razones de economía, el menor asentamiento que permita una adecuada colocación es el que debe ser seleccionado.

TABLA 4.15.
ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE
CONSTRUCCIÓN Y SISTEMAS DE COLOCACIÓN Y COMPACTACIÓN.

Consistencia	Asentamiento (mm.)	Tipo de Construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0 - 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimientos de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzado).	Sistemas sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentos con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano ,losas, vigas y muros	Colocación manual.	Secciones medianamente reforzadas sin vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas, sin vibración.
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo embudo.	Secciones altamente reforzadas sin vibración (normalmente no adecuados para vibrarse).

Fuente: Adaptado del Método ACI.- 211.

4.6.3. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO.

De acuerdo con el criterio de la ACI-211 los agregados bien gradados con mayor tamaño máximo tienen menos vacíos y menor área superficial que los de menor tamaño máximo; por consiguiente, si el tamaño máximo de los agregados en una mezcla de concreto se aumenta (para un mismo asentamiento) los contenidos de cemento y agua disminuirán. Por lo tanto, el tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de las estructuras.

Sin embargo, la mayoría de las veces son las características geométricas y las condiciones de refuerzo de las estructuras las que limitan el tamaño máximo del agregado que pueden utilizarse; pero existen otros aspectos relacionados como la producción, el transporte y la colocación del concreto que también puede influir para limitarlo.

La aplicación de estas limitaciones ocasiona el uso de agregados con tamaños máximos que por lo general varían entre 9.51 mm. ($\frac{3}{8}$ ") y 76.1 mm. (3"). Sin embargo, en algunos casos como grandes estructuras de concreto masivo (presas), con secciones muy amplias y poco o nada de refuerzo, la posibilidad de utilizar un tamaño máximo de grava es casi limitada, aunque normalmente se considere un tamaño de 152.2 mm. (6") como el máximo tamaño práctico.

De acuerdo con lo anterior, y de manera muy general en la tabla 4.16 se dan algunas recomendaciones para la selección del tamaño máximo, según el tipo de construcción.

TABLA 4.16.
TAMAÑOS MÁXIMOS DE LOS AGREGADOS GRUESOS
SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.

Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en Pulg. (mm)			
	Muros reforzados Vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 – 15	$\frac{1}{2}$ "(12)- $\frac{3}{4}$ "(19)	$\frac{3}{4}$ "(19)	$\frac{3}{4}$ "(19)-1"(25)	$\frac{3}{4}$ "(19)-1 $\frac{3}{4}$ "(38)
19 – 29	$\frac{3}{4}$ "(19)-1 $\frac{1}{2}$ "(38)	1 $\frac{1}{2}$ "(38)	1 $\frac{1}{2}$ "(38)	1 $\frac{1}{2}$ "(38)-3"(76)
30 – 74	1 $\frac{1}{2}$ "(38)-3"(76)	3"(76)	1 $\frac{1}{2}$ "(38)-3"(76)	3"(76)
75 o mas	1 $\frac{1}{2}$ "(38)-3"(76)	6"(152)	1 $\frac{1}{2}$ "(38)-3"(76)	3"(76)-6"(152)

Fuente: Adaptado del Método ACI.- 211.

4.6.4. CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN

Como es sabido, durante la operación de mezclado queda aire naturalmente atrapado dentro del concreto.

Pero cuando se prevea que habrá condiciones de exposición severa, es conveniente incluir aire en el concreto, bajo estas condiciones el Comité ACI-211 indica las cantidades aproximadas de aire atrapado que pueden ser esperadas en concreto sin

aire incluido y los niveles recomendados de aire intencionalmente incluido para diferentes tamaños máximos de agregado, y para los diferentes niveles de exposición que se muestran en la Tabla 4.17.

TABLA 4.17.
CANTIDAD APROXIMADA DE AIRE ESPERADO EN CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO Y NIVELES DE AIRE INCLUIDO PARA DIFERENTES TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO (A)

		CONTENIDO DE AIRE EN PORCENTAJE (POR VOLUMEN)			
(mm.)	(Pulg.)	Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9.51	$\frac{3}{8}$	3.0	4.5	6.0	7.5
12.7	$\frac{1}{2}$	2.5	4.0	5.5	7.0
19.0	$\frac{3}{4}$	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	$1\frac{1}{2}$	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3	0.3	1.5	3.5	4.5
152.0	6	0.2	1.0	3.0	4.0

Fuente: Adaptado del Método ACI.- 211.

Sin embargo, para efectos prácticos se sugiere que si el concreto no va a tener aire intencionalmente incluido, no se tome en consideración la cantidad de aire naturalmente atrapado indicado en la Tabla 4.4, ya que la cantidad es tan pequeña que más bien puede convertirse en un factor de seguridad, también pequeño.

4.6.5. OBTENCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA PARA LA MEZCLA.

El agua de mezclado cumple dos funciones importantes en una mezcla de concreto: la primera es hidratar las partículas de cemento, y la segunda es producir la fluidez necesaria.

La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto necesaria para obtener el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo, perfil, textura y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incorporado, no siendo apreciablemente afectada por la cantidad de cemento.

La Tabla 4.18 proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado sin aire incorporado.

TABLA 4.18
REQUERIMIENTO APROXIMADO DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO, CON PARTÍCULAS DE FORMA ANGULAR Y TEXTURA RUGOSA, EN HORMIGÓN SIN AIRE INCLUIDO

Asentamiento		TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO, EN MM. (PULG.)							
		9,51	12,70	19,00	25,40	38,10	50,80	64,00	76,10
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
(mm).	(Pulg.).	Agua de mezclado en kg/m ³ de hormigón							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	15	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: Adaptado del Método ACI.- 211.

Como se observó en la Tabla 4.5 no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados.

Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos del agua de mezclado pueden estar algo encima o por debajo de estos valores.

4.6.6. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO

De acuerdo a la Norma ACI-211 el concreto para pavimentos rígidos debe diseñarse y producirse para asegurar una resistencia a la compresión mínima de 250 kg/cm². Lo suficiente para resistir las diferentes cargas de tráfico. En este trabajo de investigación se optó por tomar una resistencia característica a la compresión de 230 kg/cm²., y 350

kg/cm²., como resistencia a flexo-tracción, siendo este último el parámetro más importante para el control de concretos destinados a la construcción de pavimento rígidos, para pavimentos ultra delgados, con separación de juntas de 0.6 no es necesario el diseño a flexo-tracción.

4.6.7. RELACIÓN AGUA/CEMENTO.

Debido a que la resistencia del concreto se rige principalmente por la resistencia e interacción de sus fases constituyentes: pasta-agregado e interfaces de adherencia pasta-agregado, es común que los diferentes agregados y cementos produzcan resistencias distintas con la misma relación agua cemento. Por esta razón es importante conocer la correspondencia entre la resistencia y la relación agua cemento, para cada grupo de materiales en particular y para diferentes edades (por ejemplo: 3, 7, 14, 28, días). Para el caso colombiano, en una investigación desarrollada en la Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Javeriana, se obtuvieron valores reproducidos en la Tabla 4.19. Allí se compararon los diferentes cementos Tipo I colombianos, en concretos sin aire incluido, diseñados y producidos bajo las mismas condiciones, con los mismos materiales y curados a temperatura y humedad normales. Los límites superior e inferior de la mencionada gráfica de relación agua-cemento contra resistencia potencial desarrollada a los 28 días de edad hablan por sí mismos y corroboran la importancia de disponer de este tipo de información.

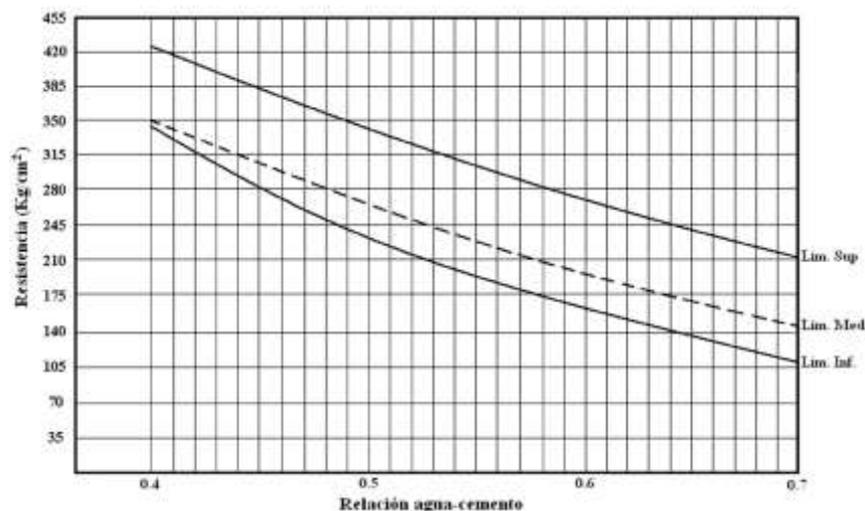


Figura 4.17: Correspondencia Entre la Resistencia a Compresión y la Relación Agua-Cemento Para los Cementos Portland Tipo I en Hormigones sin Aire Incluido

En el evento de que no se disponga de información previa, se puede tomar los valores de la tabla 4.19., que aunque aproximados, son relativamente seguros para concretos que contengan cemento portland tipo I.

Tabla 4.19.
CORRESPONDENCIA ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD Y LA RELACIÓN AGUA CEMENTO PARA LOS CEMENTOS, PORTLAND TIPO I, EN CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO.

Resistencia a Compresión (kg/cm ²)	Relación agua cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0.72	0.65
175	-	0.65	0.58
210	0.70	0.58	0.53
245	0.64	0.53	0.49
280	0.59	0.48	0.45
315	0.54	0.44	0.42
350	0.49	0.40	0.38

Fuente: Adaptado del Método ACI.- 211.

Por otra parte, la relación agua-cemento no sólo determina los requisitos de resistencia, también factores pertinentes a la durabilidad y propiedades para el acabado del concreto, debido a que éste debe ser capaz de soportar aquellas exposiciones severas que puedan despojarlo de su capacidad de servicio, tales como congelación y deshielo, humedecimiento y secado, calentamiento y enfriamiento, agentes anticongelantes, resistencia a la abrasión y sustancias químicas agresivas, que se encuentran presentes para un pavimento rígido.

4.6.8. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO.

Una vez que el contenido de agua de mezclado y la relación agua-cemento han sido determinados, el contenido de cemento por metro cubico de concreto es fácilmente establecido, al dividir el contenido de agua de mezclado entre la relación agua - cemento:

$$\text{PesoCemento}(P_c) = \frac{A}{(a/c)}$$

$$\text{VolumenCemento (} V_c \text{) } \frac{P_c}{c}$$

Dónde:

P_c = Peso de cemento (kg/m³).

A = Requerimiento de agua de mezclado (kg/m³).

a/c = Relación agua cemento, por peso.

V_c = Volumen de cemento (lt/m³).

γ_c = Peso específico del cemento (gr/cm³).

4.6.9. DOSIS DE AGREGADOS PARA LA MEZCLA

Por lo general, la estimación de las proporciones de los agregados está basada en su tamaño máximo y gradación, debido a que la combinación granulométrica total de ambos agregados, finos y gruesos, es de considerable importancia en relación con las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como en estado endurecido.

El Método de dosificación ACI-211 está basado en la expresión **b/b_o** que fue introducida por primera vez por Richard y Talbot entre 1921 y 1923 en los Estados Unidos de América.

El significado en esta expresión es la siguiente:

- **b** = Volumen Absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.
- **b_o** = Volumen absoluto o sólido del agregado grueso, por unidad del volumen compactado de agregado grueso.
- **b/b_o** = Volumen compactado de agregado grueso, por unidad de volumen de concreto.

El valor de **b_o** se puede calcular a partir de la masa unitaria seca y compactada con varilla del agregado grueso y de su peso específico saturado con superficie seca.

De acuerdo con A.M. Neville, el método A.C.I.-211 aprovecha el hecho de que la relación óptima del volumen seco y compactado del agregado grueso al volumen total

del concreto depende únicamente del tamaño máximo del agregado y de la granulometría del agregado fino. En este caso, la forma de las partículas del agregado grueso no entra directamente en la relación, debido a que por ejemplo, el agregado triturado tiene un volumen aparente mayor para un mismo peso (es decir, masa unitaria menor) que un agregado bien redondeado. Por lo tanto, el factor de forma es automáticamente tomado en cuenta en la determinación de la masa unitaria.

En tabla 4.20 se dan los valores de b/b_0 en función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de finura de la arena.

En este método, el peso seco del agregado grueso requerido por m^3 , de concreto, es simplemente igual al valor tomado de la tabla 4.20 multiplicado por su PUC en (kg/m^3). De modo que, después de obtener el peso seco del agregado grueso, los pesos de los demás ingredientes han sido estimados, excepto aquel del agregado fino.

TABLA 4.20.
VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN
UNITARIO DE CONCRETO (b/b_0)

Volumen de agregado grueso ,seco y compactado con varilla (a) por volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena (b)					
Tamaño máximo Nominal del agregado grueso		Módulo de finura de la arena			
mm	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
9.51	$\frac{3}{8}$ "	0.50	0.48	0.46	0.44
12.7	$\frac{1}{2}$ "	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	$\frac{3}{4}$ "	0.66	0.64	0.62	0.60
25.4	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
38.1	1½"	0.75	0.73	0.71	0.69
50.8	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
76.1	3"	0.82	0.80	0.78	0.76
152.0	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Adaptado del Método ACI- 211.

Pero el método más preciso y preferido es el “Método del volumen Absoluto “ el cual requiere de los conocimientos de los volúmenes absolutos desplazados por los ingredientes; es decir que los volúmenes absolutos de cemento, agua, contenido de

aire y agregado grueso son sustraídos del volumen total, y que la diferencia hallada será el volumen absoluto del agregado fino. El volumen absoluto ocupado en el concreto por cada ingrediente es igual a su peso dividido por su peso específico, como se indica en la siguiente expresión:

$$V = \frac{P_i}{\gamma_i}$$

Dónde:

V_i = Volumen Absoluto del material en (lt/m³).

P_i = Peso seco del material en (kg/m³).

γ_i = Peso específico del ingrediente (para los agregados debe de usarse el peso específico SSS).

Este método es aplicable a mezclas cuyos asentamientos sean al menos de 3 cm. y cuando los agregados están bien controlados y gradados en concordancia con la norma ASTM C-33, la cual provee los límites granulométricos para agregado grueso y fino.

4.6.9.1. Dosis de Agregado Grueso

El agregado grueso especialmente del mismo tamaño máximo y granulometría, producirá un concreto de mayor trabajabilidad, cuando un volumen dado de agregado grueso seco y compactado sea empleado por unidad de volumen de concreto.

El volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/bo), depende solamente de su tamaño máximo nominal y del módulo de fineza del agregado fino.

El peso seco del agregado grueso por metro cubico de concreto, en base al volumen seco y compactado del mismo, es igual al valor obtenido de la tabla 4.1, multiplicado por el peso unitario seco y compactado del agregado grueso.

$$\text{Peso Agregado Grueso (} P_{ag} \text{) (b/bo) x PUC}$$

$$\text{Volumen de Agregado Grueso (} V_{ag} \text{) } \frac{P_{ag}}{\gamma_{ag}}$$

Dónde:

P_{ag} = Peso agregado grueso (kg/m^3).

b/b_o = Vol. Agr. Grueso/Vol. Unit. Concreto.

PUC = Densidad aparente compacta agregado grueso (kg/m^3).

V_{ag} = Volumen de agregado grueso (lt/m^3).

γ_g = Peso específico SSS agregado grueso (gr/cm^3).

4.6.9.2. Dosis de Agregado Fino

El agregado grueso especialmente del mismo tamaño máximo y granulometría, producirá un concreto de mayor trabajabilidad, cuando un volumen dado de agregado grueso seco y compactado sea empleado por unidad de volumen de concreto.

El volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto (b/b_o), depende solamente de su tamaño máximo nominal y del módulo de fineza del agregado fino.

El peso seco del agregado grueso por metro cubico de concreto, en base al volumen seco y compactado del mismo, es igual al valor obtenido de la tabla 4.1, multiplicado por el peso unitario seco y compactado del agregado grueso.

$$\text{Peso Agregado Grueso } (P_{ag}) (b/b_o) \times PUC$$

$$\text{Volumen de Agregado Grueso } (V_{ag}) \frac{P_{ag}}{\gamma_g}$$

Dónde:

P_{ag} = Peso agregado grueso (kg/m^3).

b/b_o = Vol. Agr. Grueso/Vol. Unit. Concreto.

PUC = Densidad aparente compacta agregado grueso (kg/m^3).

V_{ag} = Volumen de agregado grueso (lt/m^3).

γ_g = Peso específico SSS agregado grueso (gr/cm^3).

4.6.10. Corrección por humedad de los agregados.

Debido a que los agregados pétreos presentan cierta porosidad (poros que están conectados a la superficie de las partículas), el agua de mezclado puede ser absorbida dentro del cuerpo de las partículas.

Por otra parte, la superficie de las partículas también puede retener agua formando una película de humedad.

Bajo estas consideraciones, si el agua de mezclado es absorbida por las partículas del agregado, la relación agua-cemento es rebajada y la manejabilidad del concreto reducida. Pero si las partículas del agregado presentan una película de agua sobre su superficie, el contenido de agua de mezclado es incrementado, lo cual conduce a una alta relación agua-cemento y a una alta trabajabilidad, reduciendo la resistencia.

Generalmente los agregados utilizados en la preparación de un concreto se encuentran húmedos por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como superficial.

Así el agua de mezclado añadida a la colada, debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido total de humedad del agregado menos su porcentaje de absorción.

Por lo tanto:

$$\text{Peso Húmedo Agregado Grueso } (P_{hg}) = P_{ag} \times \left(1 + \frac{H_g}{100} \right)$$

$$\text{Peso Húmedo Agregado Fino } (P_{ha}) = P_{af} \times \left(1 + \frac{H_a}{100} \right)$$

Dónde:

H_g = Humedad del agregado grueso (%).

H_a = Humedad del agregado fino (%).

Agua corregida al Agregado Grueso (A_{cg}) $P_{ag} \times (H_g - A_g)$

Aguæcorregida Agregada $\text{Fin}(A_{cf}) P_{af} x(H_a - A_a)$

Dónde:

A_g = Absorción del agregado grueso (%).

Agua Neta de Mezclado $A - \frac{A}{A_{eg}} - \frac{A}{A_{cf}}$

A_a = Absorción del agregado fino (%).

Dónde: A = Agua de mezclado inicial (de tabla) (kg/m^3).

4.6.11. MEZCLA DE PRUEBA DEL HORMIGÓN.

Habiendo estimado las proporciones de todos los ingredientes, el último paso es preparar una mezcla de prueba usando estas cantidades.

Para hacer los ajustes pertinentes, el Comité ACI-211 recomienda lo siguiente:

- ❖ Verificar las proporciones calculadas de la mezcla por medio de mezclas de prueba preparadas y probadas de acuerdo con la norma A.S.T.M. C 192 (Fabricación y curado de muestras de hormigón para pruebas a flexión y a compresión en el laboratorio), o con mezclas de campo de tamaño completo.
- ❖ Verificar el peso unitario y el rendimiento del hormigón (A.S.T.M. C 138) así como el contenido de aire (A.S.T.M. C 138, C 173 o C 231). También debe observarse cuidadosamente que el hormigón posea la trabajabilidad y las propiedades de acabado adecuadas y que esté libre de segregación. Se deberán hacer los ajustes pertinentes con las proporciones de las mezclas subsecuentes, siguiendo el procedimiento indicado a continuación:
- ❖ Se estima de nuevo la cantidad de agua de mezclado necesaria por metro cúbico de hormigón, dividiendo el contenido neto de agua de mezclado de la mezcla de prueba entre el rendimiento de la mezcla de prueba en metros cúbicos.
- ❖ Si el asentamiento de la mezcla de prueba no fue el correcto, se debe incrementar o disminuir el contenido de agua estimada en $2 \text{ lt}/\text{m}^3$, de concreto por cada incremento o disminución de 1 cm. en el asentamiento deseado.
- ❖ Se calculan los nuevos pesos de la mezcla partiendo del primer paso, modificando el volumen de agregado grueso, si es necesario, para obtener una trabajabilidad adecuada.

4.6.12. DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.

Las mezclas están diseñadas de acuerdo al procediendo del código ACI-211, las características tanto físicas como químicas de los materiales (agregados pétreos, cemento, agua) se mostraron anteriormente. El agua, el cemento, los áridos, se dosifican en peso. Las características de diseño fueron adoptadas de tablas descritas anteriormente. El procedimiento de cálculo realizado para la dosificación, se detalla en Anexo III, por lo que a continuación se observan los pesos finales de los materiales, tanto en estado seco como húmedo y las proporciones que representa cada uno por m³, de concreto.

4.7. DOSIFICACIÓN PROPUESTA, CURADO Y ROTURA DE PROBETAS Y VIGAS DE HORMIGÓN.

Una vez determinada la dosificación más conveniente, se procede a la fabricación del concreto en masa. Para ello es necesario, almacenar las materias primas y disponer de instalaciones de dosificación adecuadas, así como del correspondiente equipo de mezclado.

4.7.1. ELABORACIÓN DE PROBETAS Y VIGAS

Engloba el procedimiento de elaboración de la mezcla de concreto, el mismo que se ejecutó en el laboratorio de SO.BO.CE., bajo un observación rigurosa, y control de pesos de materiales y condiciones de ensayo.

4.7.1.1. Preparación de los materiales

- a) El cemento con el que se trabajó fue “El Puente IP-40”.
- b) Por recomendación, los agregados (grava y arena) fueron humedecidos con agua y removidos por separado 24 horas antes de empezar los ensayos, para que éstos alcancen una buena adherencia al momento de realizar el hormigón.
- c) Los agregados para cada mezcla de concreto estuvieron de acuerdo con la granulometría deseada, además fueron corregidos antes de su empleo, a fin de asegurar una condición de humedad definida y uniforme, esto se realizó con el procedimiento explicado anteriormente.

4.7.1.2. Cantidad de los Materiales

Todos los materiales fueron pesados en balanzas precisas y sensibles al gramo, acorde con los requisitos exigidos en cuanto a sensibilidad recíproca y tolerancias exigidos



por la norma.

Figura 4.18: Balanza para pesaje de materiales

4.7.1.3. Mezcla del Hormigón

a) El concreto fue elaborado en una mezcladora mediana, la misma que era adecuada para la cantidad de hormigón que se debía preparar, dicha cantidad debía ser suficiente para realizar la prueba de cono, el contenido de aire y el moldeo de probetas y vigas de ensayo.

b) Para tener una idea más clara del proceso de mezclado, a continuación se indica el orden y manera de introducir los materiales a la mezcladora para obtener una mezcla homogénea y satisfactoria:

1.- Se humedece la mezcladora y se introduce primeramente la mitad del agua de mezclado, se añade el agregado grueso y el fino, para que éstos sean mezclados hasta un estado homogéneo.

2.- Se añade el cemento, el aditivo (Euco WR-51 plastificante) y el agua sobrante para que se distribuya uniformemente en toda la mezcla.

3.- Se controla el tiempo de mezclado, contado a partir del instante en que todos los materiales han sido colocados en la hormigonera que será de 3 minutos, descritos de la siguiente manera: se controlará con un cronometro 2 minutos, se dejará reposar la mezcla durante 1 minuto y se volverá a encender la mezcladora por 1 minuto más,

logrando de esta manera una mezcla trabajable y homogénea, sin segregación de los materiales dentro de la mezcladora (Figura 4.19).

4.- Se deberá tomar el dato de temperatura en grados centígrados, del cemento, la ceniza, el agua, la mezcla de concreto y la temperatura ambiente; para cada batchada que se realice.

c) El método indicado es un buen parámetro para lograr una mezcla satisfactoria.



Figura 4.19: Proceso de mezclado.

4.7.1.4. Consistencia del Hormigón

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

b) Todo el concreto empleado para el ensayo de asentamiento es colocado en un recipiente para realizar el control del mismo cada 20 minutos durante el lapso de 1 hora (Figura.4.20 y 4.21).



Figura 4.20: Ensayo de Asentamiento.



Figura 4.21: Medición de temperatura del hormigón.

4.7.1.5. Contenido de Aire en el Hormigón

a) Al igual que la consistencia, el contenido de aire para la elaboración del hormigón se midió inmediatamente después del mezclado, realizando el ensayo mediante el presurímetro de vacíos (Figura 4.22).

b) Todo el concreto empleado para el ensayo de contenido de aire es desechado.



Figura 4.22: Presurímetro de Vacíos.

4.7.1.6. Características del concreto fresco

Es necesario registrar en tablas (tabla 4.21), la cantidad necesaria de materiales para la dosificación por m^3 de concreto, la temperatura de los materiales, las características visuales de la mezcla de concreto fresco y las pruebas de cono necesario.

TABLA 4.21:
CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN

	SOCIEDAD BOLIVIANA DE CEMENTO S.A.				
	LABORATORIO DE HORMIGONES Y ÁRIDOS				
	REGIONAL - TARIJA				
Proyecto :	"La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"				
Laborarista:	Univ. Sinthya S. Gonzales Alejo.				
CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN					
DOSIFICACIÓN DE CONCRETO POR (m³)					
Material:	Agua	Cemento	Grava	Arena	Aditivo
Procedencia:	Potable	El Puente (IP-40)	Planta Viracoche	Planta Viracoche	EUCOWR- 51
Cantidad real de ensayo (kg):	202,87	350	1100	740	1,224
Pesos Especificos (gr/cm³):	1	2,98	2,59	2,59	
Absorción del agua (%):	---	---	1,65	1,24	
DATOS DE PRUEBA Y TEMPERATURAS			CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO FRESCO		
Asentamiento (cono) (cm.):	6,5	Apariencia :		Pastosa	
Aire contenido (%):	1,8	Consistencia:		Semi-seca	
Temp. Ambiente (°C):	22,1	Acabado :		Bueno	
Temp. Hormigón (°C):	21,9	Varilleo :		Bueno	
Temp. Cemento (°C):	20,5	Exudación :		No	
Temp. Agua (°C):	11,1	Fecha y hora de ensayo:			
Peso Concreto (kg):	19,9			04-nov-10	
Relación (a/c) real (s/u):	0,538			10:36 a.m.	
PRUEBAS DE CONO					
Tiempo:	Hrs:	Cono:	Temp. Hº (°C)	Temp. Amb.(°C)	
0 min:	10:36	6,5	21,3	22,4	
20 min:	10:56	3	21,2	22,6	
40 min:	11:16	2	20,5	23	
60 min:	11:36	1	19,8	23,2	
Observaciones:					
Dosificación N° 1: Concreto 270 (Kg/m³) + a/c=0,538					
- Cantidad de Cemento utilizada: 350 (kg/m³)					
 J. Yamir Solís Supervisor de Laboratorio SOBOCE S.A.					

Fuente: Elaboración Propia.

4.7.1.7. Número de probetas y vigas de prueba

Se realizaron dos ensayos: el primero fue de prueba donde nos dio un asentamiento de 4,5 cm. como no era el preciso para la prueba, sólo se realizó 6 probetas para hacer un control de resistencia a compresión.

En la segunda prueba alcanzo el asentamiento requerido y se realizaron 6 probetas, 6 vigas, y 4 probetas pequeñas (de asfalto - hormigón) de 10x20, en esta prueba se realizaron los ensayos de compresión y flexo-tracción.

Los ensayos de rotura en las dos pruebas que se hicieron son necesarios ya que sirven para el control de la dosificación y resistencia del concreto a diferentes edades (3, 7 y 28 días).

La esbeltez óptima es igual a 2, procedimos a sacar la esbeltez para la muestra del núcleo de asfalto para realizar un molde para el vaciado del hormigón, mediante la siguiente fórmula.

Datos:

$$E = 2$$

$$d = 10 \text{ cm.}$$

$$h = ?$$

Dónde:

E = Esbeltez.

d = Diámetro del núcleo de asfalto.

h = Altura requerida.

$$\text{Esbeltez} = \frac{h}{d} = 2$$

$$h = E * d \quad h = 2 * 10 = 20 \text{ cm.}$$

Necesitamos realizar un molde de 20 cm. de altura y 10 cm. de diámetro para tener la esbeltez óptima.

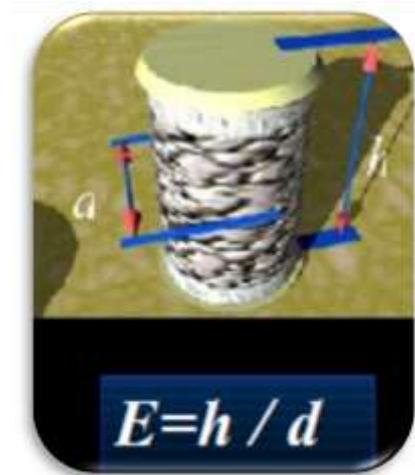


Figura 4.23: Esbeltez de la Probeta.

4.7.1.8. Probetas para el ensayo de compresión

a) **Forma y dimensiones.**- Las probetas para el ensayo de compresión son de forma cilíndrica con una longitud igual a dos veces el diámetro. Las probetas cilíndricas Standard son de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de alto (Figura 4.24), y se fabricaron probetas cilíndricas de 10 cm. de diámetro y 20 cm. de alto para la mezcla asfalto – hormigón (Figura 4.25),

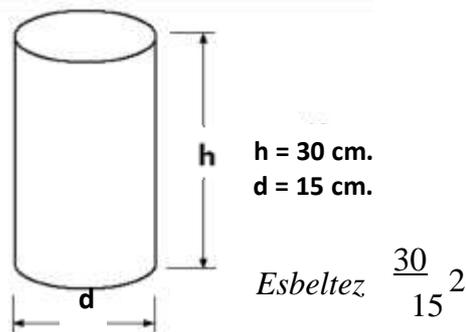


Figura 4.24: Forma y Dimensiones de la Probeta 15*30 cm.

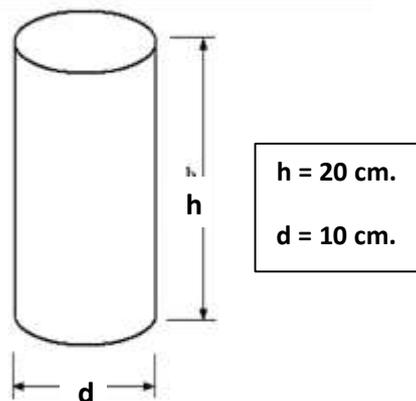


Figura 4.25: Forma y Dimensiones de la Probeta 10*20 cm.

b) Moldes para probetas

Los moldes para las probetas cilíndricas de ensayo, son de metal y están provistos de una placa metálica lisa y plana. El interior del molde y la placa metálica de la base se cubren con una capa delgada de aceite mineral o grasa antes de preparar cada cilindro

de concreto, para evitar la mezcla se pegue al molde cuando comience su fraguado (Figura 4.26).



Figura 4.26: Molde para Probeta Cilíndrica.

c) Procedimiento de vaciado y realización

- Los cilindros de ensayo son preparados colocando el concreto en el molde en 3 capas de aproximadamente igual volumen.
- Al colocar la mezcla en cada capa se debe observar que esta sea lo más homogénea posible.
- Cada capa se debe varillar 25 veces con una barra metálica de 5/8" de diámetro y 60cm de largo con punta redondeada (Figura 4.27).
- Los golpes son distribuidos uniformemente sobre la sección y de manera que penetren apenas en la capa de abajo, o en todo su espesor, si es la inferior.
- Los costados de los moldes se golpean con un combo de goma para cerrar los vacíos existentes. Después que la capa superior ha sido varillada, la superficie de la probeta debe ser alisada lo más uniforme posible con la varilla y luego con una plancha.
- Los cilindros de ensayo se remueven de los moldes 24 horas después de su preparación y son sumergidos en una piscina para su curado, a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 1$ hasta el momento de su rotura.

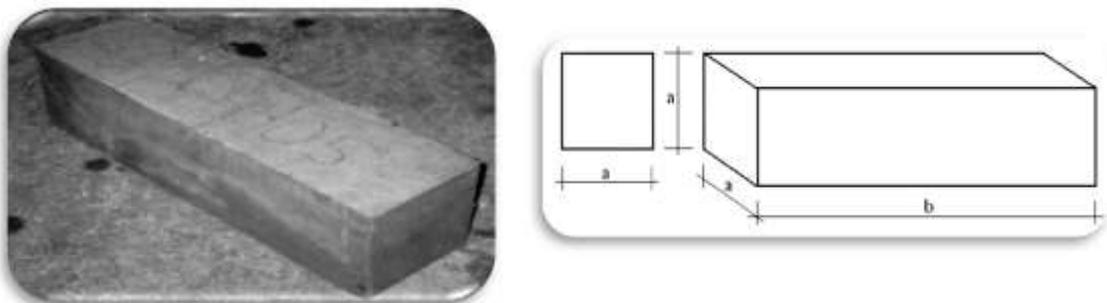


Figura 4.27: Realización de probetas.

4.7.1.9. Vigas para el ensayo de flexo-tracción

a) Forma y dimensiones

Las vigas de flexo-tracción tienen una forma prismática de sección $a \times a$, como se muestra en la figura 4.28



$a = 15\text{cm}; h = 15.5\text{cm}; b = 50.3\text{cm}$

Figura 4.28: Forma y Dimensiones de la Viga.

b) Moldes para vigas

Los moldes para las probetas de ensayo a la flexo-tracción son de metal rígido (plancha), no absorbentes y por lo menos 2 pulgadas mayores que la longitud de luz requerida por el ensayo de rotura.

Se asegura el molde a la placa metálica de la base con tornillos y perfiles. El molde y la placa de la base armados son herméticos y se cubren interiormente con una capa delgada de aceite mineral o grasa antes de su uso, para evitar que la mezcla se pegue al molde cuando comience a fraguar (Figura 4.29).



Figura 4.29: Molde para Viga.

c) Procedimiento de vaciado y realización

- La viga de ensayo está formada con su eje longitudinal en posición horizontal.
- El hormigón es colocado en capas de aproximadamente 3 pulgadas de espesor y cada capa fue vibrado con la maquina vibradora.
- Para la capa superior el molde deberá llenarse en exceso, hasta sobrepasarlo y garantizar la cantidad necesaria para la viga.
- Después de completar las operaciones de consolidación indicadas antes, la capa superior o final se debe nivelar con una regla metálica y el alisado final se hace con una plancha metálica (Figura 4.30).
- Las vigas de ensayo se remueven de los moldes 48 horas después de su preparación y son sumergidas en una piscina para su curado, a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 1$ hasta el momento de su rotura.



Figura 4.30: Elaboración de vigas.

4.7.2. CURADO DE PROBETAS Y VIGAS

De las operaciones necesarias para la ejecución de elementos de hormigón, posiblemente sea el curado la más importante, por la influencia decisiva que tiene en la resistencia y demás cualidades del elemento final.

El proceso de curado tanto de probetas como de vigas fue realizado en la sala de curado del laboratorio de SOBOCE. Se trata de un proceso simple de sumersión en las piscinas de curado, que se realiza inmediatamente después de remover las vigas o en su caso, las probetas de sus respectivos moldes. Se debe tener mucho cuidado de no golpear las probetas en el proceso ya que éstas siguen en un estado muy frágil y esto puede llegar a incidir en su resistencia futura.

Se sumergen las vigas y probetas completamente y en lo posible, en un orden tal que faciliten su posterior extracción de las piscinas, con el fin de no golpear o entorpecer el proceso de curado de las demás muestras (Figura 4.31).

Este proceso es de suma importancia, debido a que un buen curado aporta de gran manera a alcanzar las resistencias requeridas, por tanto agua de curado es agua potable, que cumple con los requisitos exigidos por la norma.

Esta sala contiene dos piscinas atemperadas, es decir se mantiene a una temperatura constante de $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ según ASTM C 31 y es supervisada diariamente por un técnico de laboratorio.



Figura 4.31: Sala de Curado de muestras.

4.7.3. VERIFICACIÓN DE RESISTENCIAS EN LABORATORIO

4.7.3.1. Resistencias de Probetas a Compresión

De acuerdo a edades ya establecidas, se realiza el ensayo a compresión de las probetas cilíndricas según la Norma ASTM C39 el cual se detalla en el Anexo IV.

a) Objeto

Este método abarca el procedimiento para los ensayos de compresión de cilindros de hormigón.

b) Equipo

Este ensayo se lo realizó en el laboratorio de SOBOCE, mediante una prensa que tiene la rigidez suficiente para resistir los esfuerzos del ensayo sin alterar las condiciones de distribución y ubicación de la carga y lectura de los resultados. Tiene un sistema de rotula que permite hacer coincidir la resultante de la carga aplicada con el eje de la probeta. Las superficies de aplicación de las cargas son lisas y planas. El diámetro de las placas de carga es igual que el diámetro de la probetas.

c) Procedimiento

- La placa inferior de apoyo se coloca sobre la platina de la Máquina de Ensayo directamente debajo de la placa superior de alojamiento esférico.
- Después de limpiar la cara de apoyo se coloca la probeta de ensayo sobre ella. El eje de la probeta se alinea en forma cuidadosa con el centro de empuje de la placa de alojamiento esférico.
- A medida que la placa superior es traída en contacto con la probeta, su porción móvil se hace girar a mano en forma suave de modo de obtener un apoyo uniforme.
- La carga se aplica continuamente, sin sacudidas o choques a una velocidad constante entre 1.4 a 2.1 Kg. /cm², por segundo. Durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima se permite una velocidad mayor de aplicación de la carga.
- La carga se aumenta hasta que la probeta se rompe y se anota la carga máxima llevada por el hormigón durante el ensayo, así como el tipo de rotura y la apariencia del hormigón (Figura 4.32).



Figura 4.32: Ensayo de Resistencia a Compresión Simple en Probetas.

d) Cálculos

Se mide el diámetro (a) y la altura (b) de la probeta, además se la debe pesar antes de colocarla a la prensa para realizar su rotura.

Una vez rota la probeta se registra la carga máxima (P), expresada en KN.

Finalmente se calcula la resistencia a la compresión como la tensión de rotura según la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{102 \times P}{A}$$

Dónde:

R_c = Resistencia media a compresión (Kg/cm²).

P = Carga máxima aplicada (KN).

102 = Factor de conversión (KN a Kg).

A = Área de la sección de ensayo (cm²).

4.7.3.2. Resistencias de Vigas a flexo-tracción.

De acuerdo a edades ya establecidas, se realiza paralelamente al ensayo de compresión el ensayo de flexo-tracción a vigas rectangulares simplemente apoyadas según la Norma ASTM C78 el cual se detalla en el Anexo IV.

a) Objeto

Este método de ensayo abarca el procedimiento para determinar la resistencia a la flexión del hormigón por el uso de una simple viga (de 15 cm. x 15.3 cm. de sección y 50.7 cm. como mínimo de longitud) cuando se aplica la carga en los puntos tercios de la longitud efectiva.

b) Equipo

La prensa para el ensayo de flexo-tracción cuenta con piezas para apoyo de las vigas y piezas para aplicar la carga, con sus correspondientes accesorios, los que cumplen con los siguientes requisitos:

Los elementos de contacto con la viga tienen la superficie cilíndrica (de este modo se logra un contacto rectilíneo).

Se aplica la carga y sus reacciones en forma vertical están dispuestas de modo que las líneas de contacto son paralelas entre sí y perpendiculares a la luz de ensayo.

Cuenta con accesorios que permiten fijar y mantener la luz de ensayo.

Tiene rotulas regulables, a fin de evitar excentricidades y una regla graduada de 1 m. de longitud.

c) Procedimiento

- Las vigas se rompen a flexión mediante la aplicación de dos cargas iguales y simétricas, colocadas a los tercios de la luz (Fig.4.33).
- El mecanismo para la aplicación de la carga se compone de dos rodillos de acero de 20 mm., de diámetro, y otros dos para el apoyo de la viga.
- Es importante que las vigas se apoyen y reciban la carga sobre las dos caras laterales que estuvieron en contacto con el molde; primero, porque así no es necesario alisarlas; y segundo, porque se elimina la influencia de la distinta compacidad del concreto junto al fondo y en la superficie.
- La carga puede aplicarse de forma continua sin choques bruscos, a velocidad normal de 30 Kg/cm^2 , hasta un 50% de la carga de rotura aproximadamente, después de lo cual se aplicará una velocidad menor de 10.5 Kg/cm^2 , por minuto.

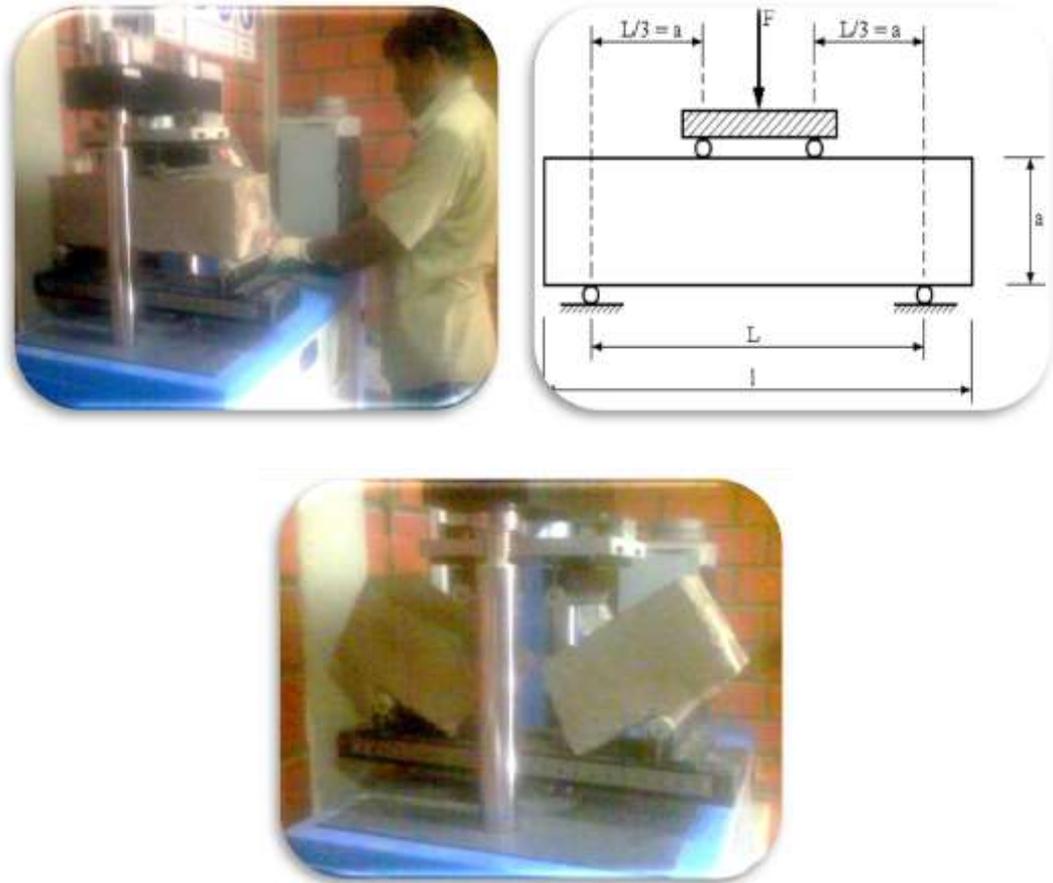


Figura 4.33: Ensayo de Flexo-tracción en Vigas.

d) Cálculos

Se calcula la resistencia a flexo-tracción como la tensión a rotura según la siguiente fórmula:

$$R_{FT} = \frac{102 \times P \times L}{b \times h^2}$$

Dónde:

R_{FT} = Resistencia a Flexo-tracción (Kg/cm²).

P = Carga máxima aplicada (KN.).

L = Longitud efectiva de la viga (45.00 cm.).

b = Ancho de la viga (15.30 cm.).

h = Altura de la viga (15.00 cm.).

Si la rotura ocurre fuera del tercio central de la luz libre a una distancia mayor del 5% de la luz libre, los resultados del ensayo serán descartados.

4.8. VIABILIDAD TÉCNICA DEL DISEÑO.

Para determinar este punto fue necesario conocer las diferentes etapas por las que pasa esta técnica.

Los materiales para el hormigón son de alta calidad, los equipos tecnológicos que se utilizarán tanto desde el fresado hasta el pavimentado, se los puede encontrar en Tarija, ya que la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras) cuenta con la máquina fresadora y SO.BO.CE. , cuenta con la maquinaria necesaria para el pavimentado.

El tramo en estudio cuenta con las capas estructurales, que se requiere para esta técnica, el espesor de la carpeta asfáltica no es la necesaria en algunos tramos, después de haber realizado el estudio de tráfico vehicular se pudo verificar que el movimiento vehicular es alto en horas pico, con estos tres factores se puede aprobar la viabilidad de la técnica del Ultra Thin Whitetopping en el Pasaje Las Rosas

Debemos tener en cuenta que por no tener el espesor adecuado posiblemente pueda tener fallas en su puesta en servicio, también se sabe que el diseño de esta técnica fue realizado en Estados Unidos y los espesores de la capa de rodadura y el tráfico vehicular no son los mismos.

El estudio de viabilidad suele estar vinculado a la seguridad, y cabe recalcar que en el pavimento rígido por no presentar ahuellamientos proporciona mayor seguridad al conductor tanto en superficies secas como mojadas.

Conocemos también algunas viabilidades técnicas del refuerzo de hormigón como:

El hormigón no es afectado por el calor, no se vuelve pegajoso, ni se volatilizan algunos de sus ingredientes (no es contaminante). En zonas calurosas, (especialmente en áreas urbanas) se mantiene fresco, reduciendo la temperatura del entorno y En las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, el hormigón no se deforma.

Ahorro de energía: No se requiere calentar ninguno de los ingredientes para elaborar el hormigón (se ahorra combustibles).

En la elaboración del concreto asfáltico, los agregados y el asfalto deben calentarse a temperaturas elevadas, manteniendo altas temperaturas dependiendo del tiempo de transporte y colocado.

En la Señalización: Todo tipo de marcas, pinturas y señalamientos duran más cuando se colocan sobre hormigón.

Economía en Iluminación: La superficie clara de hormigón es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se puede ahorrar hasta un 30% de energía y se brinda mayor seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos, reflejan mejor la luz en el hormigón.

Por esta razón se realizó el pliego especificaciones técnicas, de este método para saber con más profundidad los requerimientos que se piden para la construcción el cual se detalla en el Anexo V.

Para la viabilidad del diseño se sacaron los precios unitarios como el presupuesto total del refuerzo de hormigón como del asfalto el cual se encuentra en el Anexo V, para saber la ventaja económica que tiene el U.T.W.

El presupuesto que se saco fue para un área de 5.5 m. (ancho) y 260 m. de longitud.

Cabe recalcar que los costos de los materiales y maquinaria fueron proporcionados tanto de SO.BO.CE., para el hormigón, de la alcaldía para el asfalto y la maquina fresadora como la compresora de aire de la A.B.C. (Administradora Boliviana de Carreteras).

TABLA 4.22:
PRESUPUESTO TOTAL ULTRA THIN WHITETOPPING.

PRESUPUESTO TOTAL ULTRA THIN WHITETOPPING					
PROYECTO: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"					
ITEM N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. Total	COSTO P/ITEM
1	Fresado de la Carpeta Asfáltica	m2	1430,00	2,88	4118,40
2	Limpieza	m2	1430,00	9,15	13084,50
3	Losa de H° S° e = 5,5 cm	m3	78,65	986,57	77593,73
4	Curado del Hormigón	m2	1430,00	5,28	7550,40
5	Corte y Sellado con Sika Flex 1A PLUS	ml	3834,00	17,48	67018,32
				COSTO TOTAL =	169365,35
				COSTO TOTAL EN \$us. =	24229,66

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 4.23:
PRESUPUESTO TOTAL REFUERZO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.

PRESUPUESTO TOTAL REFUERZO DE PAVIMENTO FLEXIBLE					
PROYECTO: "La Técnica del Ultra-Thin Whitetopping como Rehabilitación de Pavimentos Flexibles"					
ITEM N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P. U. Total	COSTO P/ITEM
6	Refuerzo de Pavimento Flexible	[m2]	1430,00	153,02	218818,60
COSTO TOTAL =				218818,60	
COSTO TOTAL EN \$us. =				31304,52	

Fuente: Elaboración Propia.

4.8.1. VENTAJAS

- ❖ Los recubrimientos de hormigón ofrecen beneficios a largo plazo para las entidades encargadas de los aeropuertos y las carreteras, puesto que reduce considerablemente el tiempo y las demoras causadas por el mantenimiento de una superficie de asfalto.
- ❖ Los ahuellamientos, los desplazamientos, las grietas causadas por la temperatura, la piel de cocodrilo y los daños generados por el ambiente, exigen labores de mantenimiento como los sellados de grietas y tratamientos superficiales.
- ❖ Una superficie de hormigón es duradera y requiere de menos tiempo y dinero para el mantenimiento.
- ❖ Las sobrecapas de hormigón 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 sean intolerables.
- ❖ Otro uso importante de los recubrimientos de hormigón son aquellos para mejorar la seguridad de la superficie de un pavimento. Las cargas pesadas causan desplazamientos y ahuellamientos en el asfalto, lo cual es peligroso para los usuarios y es un problema serio en los sitios en donde los vehículos frenan y arrancan frecuentemente, como las intersecciones, los peajes, las rampas y áreas de estacionamiento.

- ❖ Cuando los ahuellamientos se llenan con agua causan deslizamiento o pérdida del control de los vehículos lo que puede generar accidentes y lesiones personales. Según estudios de seguridad las distancias de frenado en las superficies de hormigón son mucho menores que para las superficies de asfalto, especialmente cuando el asfalto está húmedo y ahuellado.
- ❖ Las cargas pesadas no ahuellan ni desplazan el hormigón y también presenta una buena resistencia al deslizamiento.
- ❖ Las sobrecapas o recubrimientos de hormigón no desarrollan las fallas encontradas en el asfalto. Las experiencias realizadas demuestran que cuando ocurre ahuellamiento, éste no se elimina con la colocación de un recubrimiento de asfalto; el ahuellamiento reaparece por la incapacidad del concreto asfáltico de alcanzar la compactación adecuada en las huellas de las ruedas o la incapacidad del asfalto de soportar las presiones y cargas del tráfico hoy en día.
- ❖ El hormigón puede rellenar uniformemente las huellas existentes en el asfalto y así corregir el perfil de la superficie. El reflejo de las grietas es otra de las fallas que puede disminuir considerablemente la vida útil de la sobrecapa de asfalto.



Figura 4.34: Fisuras Reflejadas (sobre carpeta de asfalto sobre pavimento rígido)

Esto no ocurre en las losas de hormigón por la facilidad de atender los problemas existentes en la capa inferior.

- ❖ Las sobrecapas de hormigón sobre pavimentos de asfalto han sido utilizadas como reemplazo de la "construcción por etapas" de los pavimentos flexibles. En la mayoría de los casos, la primera capa de asfalto se deteriora antes de lo previsto por

haber sido subdiseñada; las siguientes capas de asfalto no tienen entonces un buen comportamiento porque los problemas de la capa original se reflejan rápidamente a través de las nuevas. Aún si se especifica una capa de asfalto más gruesa, los resultados no son mucho mejores. Se ha demostrado que las capas gruesas se ahuecan más rápidamente que las delgadas

4.8.2. DESVENTAJAS.

Se han encontrado las siguientes desventajas en este método de diseño.

- ❖ Es posible que no se pueda contar con la base de datos necesario, para saber las condiciones en las que fueron construidas el pavimento a reforzar.
- ❖ Los modos de falla de este procedimiento son dos, fatiga en las esquinas, en la capa UTW y fatiga en el fondo de la capa de asfalto, además de una interacción entre los materiales, por ejemplo la fatiga del asfalto contribuye a generar esfuerzos en la capa de hormigón.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ❖ En la zona de estudio, análisis y aplicación (Pasaje Las Rosas), se detectó que el estado del pavimento flexible existente en el tramo data del año 1993, y se evidencia que ha cumplido su ciclo de vida útil y por los resultados de la evaluación superficial P.C.I.=40 se califica como punto en el cual el pavimento muestra fallas más acentuadas y su condición de rodaje puede calificarse como “regular” o “aceptable”, el deterioro aumenta rápidamente y este punto es cercano al definido como punto “óptimo” de rehabilitación y que necesita de refuerzo para su efectividad.
- ❖ En cuanto al diseño de los pavimentos delgados de hormigón, aún no existe un método ampliamente aceptado para diseñar Ultra Thin Whitetopping, razón por la cual, en la revisión de la literatura relacionada, se encontró el Método de Diseño UTW de la ACPA (Portland Cement Association), que fue la guía para el diseño de este trabajo.
- ❖ En base al estudio de la técnica Ultra Thin Whitetopping se elaboró una alternativa de solución de rehabilitación de pavimento flexible del Pasaje Las Rosas, con lo que se pretende extender la vida útil del pavimento entre 10 y 15 años.
- ❖ En la extracción de núcleos se pudo evidenciar que los espesores de asfalto variaban entre 4,5 cm en los costados hasta 8 cm en el centro este dato nos sirvió para diseñar el espesor del refuerzo.
- ❖ Para la calidad de los agregados se deben desarrollar especificaciones técnicas precisas en cuanto a los materiales utilizados, maquinaria utilizada y controles de laboratorio.
- ❖ Los resultados obtenidos de los agregados de La Pintada cumplieron todas las especificaciones requeridas para realizar el hormigón de alta resistencia que se requiere para esta técnica.
- ❖ Se identificaron 3 factores que favorecen en el buen comportamiento de los pavimentos delgados de hormigón sobre asfalto, que son: la adherencia entre la

capa de hormigón y la capa de asfalto existente, el espesor de la capa de asfalto existente de 5 cm y el espaciamiento entre las juntas de 60 cm.

- ❖ El Whitetopping se coloca comúnmente donde existe un espesor sustancial de pavimento asfáltico, tal como uno de profundidad completa. La American Concrete Pavement Association generalmente recomienda que el espesor mínimo de asfalto sea, de 75 mm después del fresado.
- ❖ El espaciamiento de las juntas se estima como máxima separación, 1,80 m. para los pavimentos delgados. En el caso de los ultra delgados, las separaciones son menores, llegando incluso a los 60 cm.
- ❖ Se realizaron probetas de hormigón, los cuales alcanzaron resistencias óptimas al ser sometidas a compresión y flexión, también se realizó probetas de hormigón-asfalto de 10x20 para ver la adherencia entre las dos capas, haciendo el fresado previo de la estructura de pavimento flexible.
- ❖ Este método permite a los pavimentos de hormigón ser más competitivos tanto en lo económico como lo técnico ya que la colocación del hormigón es más simple y no es contaminante al medio ambiente.
- ❖ Mediante esta técnica se da una alternativa de solución, que permite de mejorar el tráfico vehicular de dicha zona, ya que en horas pico muchos de los vehículos transitan por el Pasaje Las Rosas.
- ❖ Hacer una comparación de la ventaja que tiene la técnica del Ultra Thin Whitetopping en dar más larga duración de vida útil ya que los recapados de hormigón duran de 5 a 15 años y tienen menor costo en el mantenimiento del pavimento.

5.2. RECOMENDACIONES

- ❖ La seguridad de las vías es un factor muy importante, si comparamos las mínimas distancia de frenado en los pavimentos de hormigón con los pavimentos de asfalto, se evidencia que existe mayor seguridad para el usuario sobre una capa de rodadura de pavimento rígido.

- ❖ Antes de la colocación del refuerzo se debe reparar las áreas deterioradas como ser fisuras, grietas, baches y otros deterioros que puedan afectar la superficie a mejorar, y poder nivelar la superficie de asfalto.
- ❖ En el comportamiento de los pavimentos delgados sobre asfalto, la adherencia entre las capas de hormigón y el asfalto es fundamental para el buen funcionamiento del pavimento. Una buena adherencia en la interfaz hormigón/asfalto es esencial para la aplicación exitosa del Whitetopping, que garantizará que trabaje como una capa monolítica.
- ❖ Se recomienda fresar y limpiar profundamente antes de depositar el hormigón, para que este adquiriera una textura rugosa y contribuya a una adherencia adecuada.
- ❖ Se identifica la falla en las esquinas de las losas como la más común, y se recomienda aumentar el espesor en esa zona.
- ❖ Se recomienda un mantenimiento mínimo anual de la superficie dependiendo del daño, se debe proceder a su mejoramiento si lo requiere para extender su vida útil.
- ❖ Mediante esta técnica de rehabilitación se da una alternativa de solución que es el de mejorar el tráfico vehicular de dicha zona.
- ❖ Se deben desarrollar especificaciones técnicas precisas en cuanto a los materiales, maquinaria utilizada y controles de laboratorio respectivos, ya que una mala ejecución en el laboratorio llega a influir en el la mezcla deseada que queremos alcanzar.
- ❖ El investigador sugiere poder incluir esta técnica entre las distintas formas de rehabilitación que hoy se conocen como una alternativa viable y respaldada por estudios y experiencias empíricas.