

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**



**LOS PROYECTO VIALES CON ASFALTOS MODIFICADOS Y SU
IMPLICACIONES EN LAS INVERSIONES PÚBLICAS DE GUATEMALA**

2005 – 2012.

ING. MIGUEL DE JESÚS GALLARDO CHAVARRY

GUATEMALA, MAYO DE 2016.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS**



**LOS PROYECTO VIALES CON ASFALTOS MODIFICADOS Y SU
IMPLICACIONES EN LAS INVERSIONES PÚBLICAS DE GUATEMALA 2005 –
2012.**

Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, con base en el "Normativo de Tesis para Optar al Grado de Maestro en Ciencias", actualizado y aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, en la resolución contenida en el Numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.

Asesor:

DR. CARYL ALONSO JIMÉNEZ, PH.D.

Autor:

ING. MIGUEL DE JESÚS GALLARDO CHAVARRY

GUATEMALA, MAYO DE 2016.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
HONORABLE JUNTA DIRECTIVA

Decano: Lic. Luis Antonio Suárez Roldán

Secretario: Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales

Vocal II: Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez

Vocal III: Lic. Juan Antonio Gómez Monterroso

Vocal IV: P.C. Marlon Geovani Aquino Abdalla

Vocal V: P.C. Carlos Roberto Turcios Pérez

JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ
EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS SEGÚN
EL ACTA CORRESPONDIENTE

Presidente: MSc. José Ramón Lam Ortiz

Secretario: MSc. Juan de Dios Alvarado López

Examinador: MSc. César Vermín Tello Tello



ACTA No. 32-2015

En la Sala de Reuniones del Edificio S-11, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala, nos reunimos los infrascritos miembros del Jurado Examinador, el **21 de octubre** de 2015, a las **18:00** horas para practicar el **EXAMEN GENERAL DE TESIS** del Ingeniero **Miguel de Jesús Gallardo Chávarry**, carné No. **100024159**, estudiante de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado de Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos. El examen se realizó de acuerdo con el normativo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas en el numeral 6.1, Punto SEXTO del Acta 15-2009 de la sesión celebrada el 14 de julio de 2009.-----

Cada examinador evaluó de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido científico profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado "**LOS PROYECTOS VIALES CON ASFALTOS MODIFICADOS Y SUS IMPLICACIONES EN LAS INVERSIONES PÚBLICAS DE GUATEMALA 2005-2012**", dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. El examen fue **APROBADO** con una nota promedio de **70** puntos, obtenida de las calificaciones asignadas por cada integrante del jurado examinador. El Tribunal hace las siguientes recomendaciones: Que el sustentante incorpore las enmiendas señaladas dentro de los 90 días hábiles siguientes.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala, a los veintiún días del mes de octubre del año dos mil quince.

MSc. José Ramón Lam Ortiz
Presidente



MSc. Juan de Dios Alvarado López
Secretario

MSc. César Vermin Tello Tello
Vocal I

Ing. Miguel de Jesús Gallardo Chávarry
Postulante

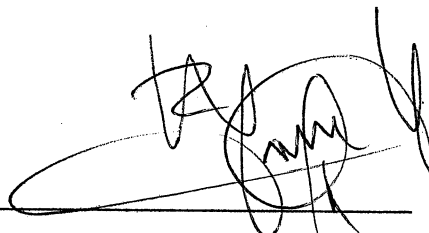


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ADENDUM

El infrascrito Presidente del Jurado Examinador CERTIFICA que el estudiante Miguel de Jesús Gallardo Chávarry, incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro examinador del Jurado.

Guatemala, 8 de febrero de 2016.

(f) 

MSc. José Ramón Lam Ortiz
Presidente



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE
GUATEMALA



FACULTAD DE CIENCIAS
ECONOMICAS
EDIFICIO "S-8"
Ciudad Universitaria zona 12
GUATEMALA, CENTROAMERICA

**DECANATO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS
GUATEMALA, SIETE DE ABRIL DE DOS MIL DIECISÉIS.**

Con base en el Punto SEXTO, inciso 6.1, subinciso 6.1.2 del Acta 04-2016 de la sesión celebrada por la Junta Directiva de la Facultad el 14 de marzo de 2016, se conoció el Acta Escuela de Estudios de Postgrado No. 32-2015 de aprobación del Examen Privado de Tesis, de fecha 21 de octubre de 2015 y el trabajo de Tesis de Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos, denominado: "LOS PROYECTOS VIALES CON ASFALTOS MODIFICADOS Y SUS IMPLICACIONES EN LAS INVERSIONES PÚBLICAS DE GUATEMALA 2005-2012", que para su graduación profesional presentó el Ingeniero, **MIGUEL DE JESÚS GALLARDO CHÁVARRY**, autorizándose su impresión.

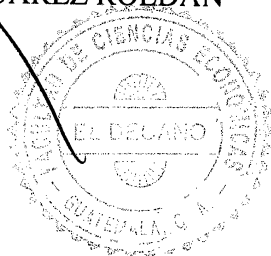
Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. LUIS ANTONIO SUÁREZ ROLDÁN
DECANO

M.CH

LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO



ACTO QUE DEDICO

| | |
|---|--|
| A DIOS: | Por proveerme de vida y de los recursos para la superación profesional. |
| A MI MADRE: | Por darme la vida y su sabia enseñanza. |
| A MIS HERMANOS: | Por su ejemplo. |
| A MI SOBRINA ANA: | Por compartir. |
| AL COORDINADOR DE LA MAESTRÍA: | Por todo su apoyo en la consecución de esta meta. |
| A MI ASESOR DE TESIS: | Por guiarme y a la vez brindarme su tiempo y colaboración en la realización de este estudio. |
| COMPAÑEROS DE MAESTRIA: | Por la unión de grupo y perseverancia. |
| A PAVIMENTOS DE GUATEMALA S.A.: | Por su colaboración en la participación de este estudio. |
| A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA: | Por la oportunidad de especializarme profesionalmente. |

CONTENIDO

| | |
|---|------------|
| RESUMEN | i |
| INTRODUCCIÓN | iii |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1 Documentos técnicos..... | 1 |
| 1.2 Asfaltos perpetuos | 1 |
| 1.3 Rendimiento de los asfaltos perpetuos | 2 |
| 1.4 Emisiones | 3 |
| 1.5 Contexto nacional de los asfaltos modificados | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 Implicaciones de asfaltos convencionales y modificados..... | 5 |
| 2.1.1 Como se comporta el asfalto convencional | 5 |
| 2.1.2 El envejecimiento del asfalto | 6 |
| 2.1.3 Métodos para medir propiedades de los asfaltos | 6 |
| 2.1.4 Diseño Marshall | 7 |
| 2.1.5 Estabilidad Marshall..... | 7 |
| 2.2 Principios de los pavimentos asfálticos de comportamiento superior protocolo SUPERPAVE | 7 |
| 2.2.1 Especificaciones SUPERPAVE para ligantes asfálticos..... | 9 |
| 2.2.2 Deformación permanente | 9 |
| 2.2.3 Fisuración por fatiga | 10 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.2.4 | Fisuración por bajas temperaturas | 10 |
| 2.2.5 | Bombeo en planta..... | 11 |
| 2.2.6 | Elección de los ligantes asfálticos | 11 |
| 2.2.7 | Clasificación de asfaltos según tipo..... | 14 |
| 2.2.8 | Clases de asfaltos modificados tipo I..... | 14 |
| 2.3 | Teoría macroeconómica y financiera..... | 17 |
| 2.3.1 | Producto interno bruto PIB | 17 |
| 2.3.2 | Análisis de escenarios | 17 |
| 2.3.3 | Presupuesto | 18 |
| 2.3.4 | Valor presente neto | 18 |
| 2.3.5 | Costo | 19 |
| 2.4 | Contexto general de la infraestructura y economía guatemalteca..... | 20 |
| 2.4.1 | Infraestructura pública de transporte y comunicaciones en Guatemala | 22 |
| 2.4.2 | Estructura, marco institucional y regulatorio de la red de carreteras | 26 |
| 2.4.3 | Calidad de la infraestructura de transporte..... | 28 |
| 2.5 | Gases de efecto invernadero GEI | 32 |
| 2.5.1 | Dióxido de Carbono CO ₂ | 32 |
| 2.6 | Cálculo de emisiones | 33 |
| 2.6.1 | Explicación del cálculo de emisiones para un horno de producción de asfalto | 39 |
| 2.6.2 | Descripción del proceso de combustión en calderas y calentadores de combustible diesel..... | 40 |
| 2.6.3 | Calderas acuotubulares..... | 41 |
| 2.6.4 | Factores de emisión utilizados en calderas | 42 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 2.7 | Caracterización de asfaltos convencionales y asfaltos modificados | 44 |
| 2.7.1 | Mezcla modificada | 46 |
| 2.7.2 | Mezcla convencional | 52 |
| 3. | METODOLOGÍA..... | 54 |
| 3.1 | Definición del problema..... | 54 |
| 3.2 | Justificación..... | 55 |
| 3.3 | Objetivo general | 56 |
| 3.3.1 | Objetivos específicos..... | 56 |
| 3.4 | Hipótesis | 56 |
| 3.4.1 | Especificación de variables | 57 |
| 3.5 | Diseño de la Investigación | 57 |
| 3.6 | Sujetos de la Investigación..... | 57 |
| 3.7 | Fuente secundaria..... | 58 |
| 4. | ESTUDIO FINANCIERO DE LA INVERSIÓN PÚBLICA REALIZADA EN PAVIMENTACIÓN Y BACHEO, UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE ASFALTO CONVENCIONAL..... | 59 |
| 4.1 | Análisis de las inversiones durante el periodo 2005 - 2012..... | 59 |
| 4.2 | Análisis de presupuestos para mantenimiento en pavimentación | 61 |
| 4.3 | Análisis de presupuestos para mantenimiento en bacheo..... | 63 |
| 5. | COMPARACIÓN EN COSTOS E INVERSIONES DEL ASFALTO CONVENCIONAL CON ASFALTO MODIFICADO..... | 68 |
| 5.1 | Análisis de costos | 68 |
| 5.2 | Cálculo de costo en tramo de prueba | 69 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.3 | Cálculo de los presupuestos para el mismo período 2005 – 2012 sustituyendo los presupuestos con los costos de asfalto modificado | 72 |
| 6. | COMPARACIÓN DE EMISIONES EN LA PRODUCCIÓN DEL ASFALTO CONVENCIONAL Y ASFALTO MODIFICADO..... | 80 |
| 6.1 | Cálculos de CO ₂ a partir de diesel quemado en producción..... | 80 |
| 6.2 | Cálculo de emisión de CO ₂ en la quema de diesel en planta continúa de asfalto | 82 |
| 7. | DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS..... | 85 |
| | CONCLUSIONES | 87 |
| | RECOMENDACIONES | 89 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 91 |
| | ANEXOS | 94 |
| | ÍNDICE DE CUADROS | 101 |
| | ÍNDICE DE GRÁFICAS | 105 |
| | ÍNDICE DE ECUACIONES | 106 |

RESUMEN

En Guatemala, las inversiones públicas en pavimentación de la red vial durante el período 2005-2012 han sido cuantiosas, oscilando entre Q 80.8 millones en el año 2011 y Q 1,649.3 millones en el año 2012. Durante ese mismo período se ha invertido un promedio anual de Q 142.1 millones en bacheo. El material utilizado para la pavimentación ha sido el asfalto o bitumen, el cual es un mineral negro de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo. El asfalto es un subproducto que se obtiene de la refinación del petróleo crudo y que normalmente es la última fase más pesada de esta refinación, que se utiliza mezclado con agregados minerales de granulometría controlada para la pavimentación de caminos y otros usos tales como el revestimiento impermeabilizante de muros y tejados.

La alternativa moderna para la pavimentación de carreteras es el uso de asfalto modificado con polímero, en sustitución del asfalto convencional. Los asfaltos modificados fueron utilizados inicialmente en emulsiones impermeabilizantes y luego en la pavimentación de carreteras, con la expectativa que elevan la vida útil de las carreteras, aunque con un costo incrementado hasta en un 32%.

El problema de la presente investigación consiste en realizar un análisis retrospectivo de la utilización de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional, para evaluar el impacto financiero en las inversiones públicas de pavimentación de la red vial; así como la determinación de los beneficios ambientales.

La realización de la presente investigación se ha fundamentado en el uso del método científico, en sus diferentes etapas, para desarrollar el planteamiento del problema, delimitación, formulación de objetivos de investigación e hipótesis y el desarrollo del trabajo de investigación de campo, para la obtención de información suficiente para la realización del análisis, comprobación de la hipótesis, y

presentación de resultados de la investigación. El período de la investigación es 2005-2012.

Los resultados más importantes y principales conclusiones de la investigación realizada permitieron la confirmación de la hipótesis relacionada con el impacto positivo del uso de asfalto modificado en los indicadores de inversión de infraestructura a largo plazo en Guatemala, de acuerdo con el análisis realizado sobre bases técnicas, ambientales y de presupuesto.

En función del PIB, se determinó que hubiera sido posible una reducción del 0.05% de la inversión en pavimentación durante el período 2005-2012, con la utilización de asfalto modificado. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero CO₂, es del 40%, debido a que se duplica la durabilidad para el mismo tramo.

INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI) se encarga del mantenimiento y desarrollo de los sistemas de comunicaciones y transporte en Guatemala. Para la construcción de carreteras y puentes existen especificaciones generales que datan del año 2000, emitidas en esa fecha por la Dirección General de Caminos. Para el mantenimiento de la red vial pavimentada, cuenta con la Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), que se encarga del mantenimiento rutinario y periódico de 6,400 km de la red vial pavimentada de Guatemala en rutas internacionales, nacionales y departamentales.

La inversión que se realiza en el mantenimiento de la red vial es cuantiosa. Durante el período 2005-2012, se invirtieron un promedio de Q 619,2 millones en pavimentación y bacheo. En Pavimentación la inversión promedio anual fue de Q 477.1 millones y en bacheo Q 142.1 millones, lo que equivale a 30% en relación al presupuesto para pavimentación. El problema de la pavimentación y bacheo es la escasa duración del asfalto convencional; sin embargo, el mismo se ha utilizado por años.

La alternativa tecnológica para la sustitución del asfalto convencional es la utilización del asfalto modificado, el tiene un grado de desempeño superior a bitumen natural. La utilización de este asfalto modificado surge de la necesidad de dar respuesta perpetuar las carreteras, por la fragilidad que presenta el asfalto convencional y a la búsqueda de nuevos y eficientes procesos de pavimentación.

El problema de la presente investigación se enfoca a la realización de un análisis comparativo desde el punto de vista financiero y ambiental, para determinar la conveniencia de la utilización de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional, y su impacto en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado.

La justificación de la presente investigación radica en la importancia que tiene la red vial de la república de Guatemala para el desarrollo de la economía y para facilitar las comunicaciones y el transporte de la población; además existe la necesidad de que la inversión en la construcción y mantenimiento de la red vial se realice utilizando las mejores tecnologías asfálticas y haciendo un uso eficiente de los recursos del Estado, mejorando la calidad y durabilidad de las carreteras de Guatemala.

El objetivo general de la presente investigación, es: Realizar un análisis comparativo, financiero y ambiental, de la sustitución del asfalto convencional por el asfalto modificado con polímero, en los proyectos de inversión en pavimentación y bacheo en Guatemala, y su impacto en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado, período 2005-2012.

Los objetivos específicos son: Realizar un estudio financiero histórico de la inversión pública en pavimentación y bacheo, utilizando la tecnología de asfalto convencional, incluyendo el análisis de inversiones durante el período 2005-2012, analizando presupuestos para pavimentación y bacheo y su relación con el Producto Interno Bruto (PIB); Realizar un análisis financiero retrospectivo de la sustitución del asfalto convencional por asfalto modificado durante el período 2005-2012, incluyendo el análisis de costos, el cálculo del costo en tramo de prueba y la sustitución en presupuestos de costos con asfalto modificado; asimismo, realizando una proyección para 8 años y su comparación con el promedio del PIB; y, Establecer los niveles de impacto ambiental en producción de gases de invernadero, comparativamente, entre el asfalto convencional y el asfalto modificado.

La hipótesis de investigación es la siguiente: El análisis comparativo, financiero y ambiental, del uso de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional, en proyectos de inversión en pavimentación y bacheo en Guatemala, permite determinar el impacto en costos y en el presupuesto general de ingresos y

egresos del Estado, período 2005-2012; asimismo, permite la medición del impacto ambiental.

La presente tesis consta de los siguientes capítulos: El capítulo Uno, Antecedentes, expone el marco referencial teórico y empírico de la investigación; el capítulo Dos, Marco Teórico, contiene la exposición y análisis las teorías y enfoques teóricos y conceptuales utilizados para fundamentar la investigación y la propuesta de solución al problema; el capítulo Tres, Metodología, contiene la explicación en detalle del proceso realizado para resolver el problema de investigación.

El capítulo Cuatro, contiene el estudio financiero histórico de la inversión pública realizada en pavimentación y bacheo, utilizando tecnología de asfalto convencional durante el período 2005-2012.

El capítulo Cinco, realiza un análisis financiero comparativo de costos, durabilidad, e inversión entre el asfalto convencional y el asfalto modificado y el impacto en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado, período 2005-2012; asimismo, se realiza una proyección para ocho años.

El capítulo Seis, analiza comparativamente el impacto ambiental del asfalto convencional, con respecto al asfalto modificado, en tanto que el capítulo Siete contiene la discusión de los resultados de la investigación.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

1. ANTECEDENTES

Los Antecedentes constituyen el origen del trabajo realizado. Exponen el marco referencial teórico y empírico de la investigación relacionada con proyectos de pavimentación y bacheo con asfalto modificado en Guatemala y el mundo y su impacto en el presupuesto de ingresos y egresos del Estado, período 2005-2012.

1.1 Documentos técnicos

El tema de los asfaltos modificados ya ha sido objeto de estudio en anterioridad, tanto por trabajos de tesis de alumnos de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como por alumnos de universidades extranjeras, así como por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de Costa Rica, el cual ha verificado el desempeño de estos asfaltos mediante estudios en su laboratorio, Así como también estos asfaltos, son mencionados de forma detallada en las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos. Pero no se ha localizado algún documento producto de una evaluación de inversiones o de orden económico al sustituir la tecnologías de los asfaltos y la repercusión en una región o país, los únicos documentos que mencionan la economía de los asfaltos son los que se refiere a los asfaltos perpetuos tecnología que dio paso al protocolo SUPERPAVE o asfaltos modificados que a continuación se expone.

1.2 Asfaltos perpetuos

La tecnología de los asfalto perpetuos fue desarrollada en EEUU, se tienen estudios realizados en Texas en los años 2008 que demuestran que el espesor de los pavimentos se puede reducir hasta en 4 pulgadas en el diseño de asfaltos perpetuos. Por aparte en 2009 se comparó pavimento flexible de 6.6 pulgadas de asfalto sobre 8 pulgadas de concreto hidráulico como base, encontrándose que la capa de asfalto podría haber sido de 3 pulgadas menos y aun así hubiera podido cumplir con la definición de asfalto perpetuo. (Newcom, D. 2002)

La rehabilitación de carreteras con asfaltos mejorados, hechas originalmente de concreto hidráulicos, también ha sido evaluada en otros países fuera de EEUU, tales como Afganistán construida en la década de los años 60. En donde la guerra y la falta de mantenimiento había hecho casi inutilizable una carretera de concreto hidráulico. Y después de analizar varias opciones se determinó que los asfaltos perpetuos proporcionaban el menos costo al ciclo de vida.

Estos asfaltos como se mencionó anteriormente, fueron desarrollados por Von Quinto en 2001, proveyendo de la característica esencial de poder aplicarse sobre concreto hidráulico y cuyos espesores variaron de entre 6 a 11 pulgadas con rehabilitaciones proyectadas hasta 20 o 32 años. (Newcom, D. 2002).

1.3 Rendimiento de los asfaltos perpetuos

La evaluación de los asfaltos perpetuos debe ser desde el punto de vista de la ingeniería así como de la economía. Puesto que una buena práctica de su aplicación, materiales adecuados y una buena programación.

“Un diseño es eficiente, cuando produce bajos costos de mantenimiento y rehabilitación y alarga la vida del pavimento garantizando la economía del pavimento.” (Newcom, D. 2002).

El rendimiento de los pavimentos perpetuos se ha verificado en varios estudios. El programa de pavimentos de asfaltos perpetuos, ha demostrado por medio de ejemplos varios: que los pavimentos asfálticos son duraderos en muchas aplicaciones, que van desde los principales aeropuertos hasta carreteras de bajo tránsito. Las revisiones al desempeño de los pavimentos, existentes en varios estados han demostrado que la capacidad de los pavimentos asfálticos están bien diseñados y bien construidos, para servir bajo una variedad de condiciones de tráfico a largo plazo. Los sitios de prueba de pavimentos perpetuos, han sido monitoreados y probados, y hasta la fecha, su desempeño se realiza tan bien o mejor de lo esperado. (Newcom, D. 2002).

La economía de los pavimentos de asfalto de larga duración ha demostrado ser ventajoso en comparación con los pavimentos de hormigón o pavimentos diseñados convencionalmente. (David E. Newcom, 2002)

1.4 Emisiones

Por otra parte los estudios para la disminución de las emisiones CO₂ son las mezclas asfálticas tibias que reducen típicamente la temperatura en un rango entre 120° a 140° C comparadas con las mezclas calientes que son producidas en un rango entre 150° a 180° C, pero no se cuenta con un documento que audite la diferencia entre las emisiones de asfaltos convencionales y asfaltos modificados.

1.5 Contexto nacional de los asfaltos modificados

La presente investigación va dirigida hacia el aporte y sostenibilidad de la inversión en capital físico al sustituir los asfaltos convencionales por los asfaltos modificados, es la Municipalidad de Guatemala la entidad que más experiencia tiene hasta el momento sobre el uso y aplicación de estos asfaltos, como son el caso de algunas arterias principales, en este estudio se presenta a esta entidad como ejemplo en el uso de los asfaltos modificados. La experiencia del Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda, es aún más baja hasta el momento, la única carretera recapeada con asfalto modificado con polímeros plastómeros es la Carretera Palín Escuintla, que cuenta con una concesión.

El primer proyecto de aplicación de esta naturaleza dio inicio a principios del 2012, con el mantenimiento mayor de la autopista a Palín - Escuintla, en Guatemala. Estos trabajos fueron realizados por la empresa Asfaltos de Guatemala, S.A., socio comercial de Bayer. Cabe mencionar que este proyecto es el primero en su clase en Centroamérica y El Caribe. Dicha autopista tiene un tramo de 27 Km de longitud y se estima que se aplicaron más de 35,000 toneladas métricas de la mezcla tipo Stone Mastic Asphalt, sin contemplar los hombros de la carretera. (Bayer, 2014)

Asimismo, la próxima carretera que tendrá en su carpeta de rodadura asfalto modificado es la que se está ejecutando en la CA-2 occidente desde la aldea Cocales del Departamento de Escuintla hasta la frontera con México. También, se han elaborado pequeños tramos con asfalto modificado con estireno-butadieno, como lo son: la salida al Pacífico entre la entrada a Villanueva y el río Villalobos, la carretera a San José Pínula.

El Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI) informó que en la tercera semana de abril de 2013 comenzaron los trabajos para la ampliación a cuatro carriles de la carretera CA-2 Occidente al pacífico, desde Cocales a Tecún Umán, frontera con México. Rubén Mejía, viceministro de Comunicaciones, aseguró que ya concluyeron todos los trámites administrativos con las dos entidades que financiarán el proyecto: el Banco de Desarrollo Económico de Brasil y el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). Según las autoridades, el tramo, de 140 kilómetros, se convertirá en una autopista que mejorará la competitividad del país, ya que el transporte de carga pasará a circular de ocho a 35 kilómetros por hora. (Morales, S. 2013). Esta carretera está a cargo de la Constructora Norberto Odebrecht, S.A. por tres mil siete millones de quetzales, por esta ruta circula el 65 por ciento del PIB nacional. (Morales, S. 2013).

2. MARCO TEÓRICO

El Marco teórico contiene la exposición y análisis de las teorías y enfoques teóricos y conceptuales utilizados para fundamentar la investigación relacionada con la sustitución de tecnología en los proyectos de pavimentación y bacheo en Guatemala y su impacto en el presupuesto de ingresos y egresos del Estado, período 2005-2012.

2.1 Implicaciones de asfaltos convencionales y modificados

Los asfaltos convencionales difieren de los asfaltos modificados básicamente en el grado de desempeño a través del tiempo, debido a los esfuerzos que el gobierno de EEUU invirtiera para mejorar el grado de desempeño de los asfaltos, estos esfuerzos han contribuido a la preservación de la infraestructura por más tiempo alrededor del mundo y ya se puede incluir a Guatemala. Así pues, en un inicio se dio paso a la investigación de los asfaltos perpetuos, midiendo de esta forma la durabilidad de los mismos en años y así dejar establecido un sistema normado, dando paso al protocolo SUPERPAVE, para que en cualquier parte del mundo sea posible desarrollar los asfaltos modificados con polímeros, según los materiales propios del sitio y su conveniencia técnica, con un pequeño incremento en los costos, pero que se minimiza al aumentar la durabilidad de la obra.

2.1.1 Como se comporta el asfalto convencional

De acuerdo con la literatura de los asfaltos denominados convencionales o sin modificar, “El comportamiento del asfalto depende de la temperatura y del tiempo de carga” (AI, 1998). Lo que significa que el tiempo y la temperatura son intercambiables, a alta temperatura y corto tiempo es igual a baja temperatura y mayor tiempo.

El comportamiento a alta temperatura del asfalto convencional da como resultado que se comporte como un líquido viscoso, siendo la viscosidad una propiedad del

asfalto a fluir. Así mismo el comportamiento del asfalto a bajas temperaturas es como el de una banda de goma.

2.1.2 El envejecimiento del asfalto

El término endurecimiento por oxidación es otra característica de los asfaltos que son envejecidos por oxidación de sus moléculas orgánicas, estas reaccionan con el oxígeno del ambiente, lo que da como resultado una estructura frágil. Esto sucede más rápidamente en un clima cálido que en un clima frío. Dando como resultado en la microestructura la presencia de grietas. (AI, 1998).

“En este caso, la falta de compactación origina un alto contenido de vacíos en la mezcla, lo que permite que una mayor cantidad de aire ingrese en la mezcla asfáltica y agrava el endurecimiento por oxidación”. (AI, 1998).

Es por esto que a partir del ensayo de la viscosidad rotacional (ASTHOO¹), se calcula a partir del logaritmo inverso, la curva de temperaturas de mezcla compactación. Obteniendo suma temperatura óptima para compactar el asfalto.

2.1.3 Métodos para medir propiedades de los asfaltos

Los métodos para evaluar el bitumen asfáltico convencional son el ensayo de penetración y el ensayo de viscosidad, los cuales son llamados método Marshall, con este método es posible determinar el contenido óptimo de asfalto para una granulometría específica de agregado pétreo, este método también revela propiedades de la mezcla asfáltica caliente, además establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento, este método solo es aplicable a las mezclas asfálticas calientes que utilizan cemento asfáltico calificado por viscosidad o penetración y que contiene agregados pétreos con tamaños de 25.00 mm, este método puede ser

¹ La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials

utilizado para diseñar en el laboratorio o para el control de calidad de la mezclas asfálticas producidas.

2.1.4 Diseño Marshall

El pronóstico del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico para una combinación específica de agregados. Este método también provee información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. (D. G. C., 2000)

El porcentaje de cemento asfáltico de diseño será el que nos permita obtener la mayor gravedad específica bulk de la mezcla compactada es decir, la máxima densidad que se obtendrá en servicio después de la compactación durante el proceso constructivo y la producida por el tránsito. (D. G. C., 2000)

2.1.5 Estabilidad Marshall

“Estabilidad Marshall (E), es la carga máxima que puede resistir sin que se produzca la falla, una probeta compactada y ensayada en condiciones normalizadas.” (D. G. C., 2000)

2.2 Principios de los pavimentos asfálticos de comportamiento superior protocolo SUPERPAVE

Para obtener predicciones sobre el comportamiento de los asfalto el método SUPERPAVE vino al rescate de esta tecnología y fue creado en 1987 por el programa estratégico de Investigación de carreteras de EEUU. Determinado nuevos ensayos mejorados para medir propiedades de los asfaltos de una forma predictiva. El sistema incluye equipos de ensayo, procedimientos y criterios.

Estos son los equipos: el Reómetro de corte directo (DSR): que mide las propiedades a temperaturas altas e intermedias. El viscosímetro rotatorio (RV);

Que mide propiedades a alta temperatura. Reómetro de vía flexión (BBR) y ensayo de tracción directa (DDT): se utiliza para medir propiedades a bajas temperaturas. Horno rotativo de película delgada (RTFO): simula el endurecimiento durante la etapa constructiva y la cámara de envejecimiento a presión (PAV), simula el envejecimiento durante la vida útil. (AI, 1998).

Los ensayos SUPERPAVE anteriormente descritos miden propiedades físicas que se pueden relacionar directamente con el comportamiento de la carretera diseñada bajo estos estándares.

Un aspecto fundamental para el comportamiento de los pavimentos frente a los cambios y solicitudes climatológicas y el alto tránsito vehicular, es el grado de desempeño de los bitúmenes asfálticos que está basado en el Grado de Desempeño (*PG, Performance Grade*) el cual clasifica los asfaltos de acuerdo con las condiciones climáticas y el tipo de carga vehicular. Por lo que el Programa SHRP (*Strategic Highway Research Program*), dio como resultado las especificaciones de asfaltos basada en el Grado de Desempeño (*PG, Performance Grade*) que clasifica a los ligantes o bitúmenes de acuerdo con las condiciones climáticas y el tipo de solicitud de tráfico a la que el pavimento será sometido. De acuerdo con el método SUPERPAVE

“Entre Octubre de 1987 y Marzo de 1993, el Programa Estratégico de Investigación en Carreteras de EEUU (*Strategic Highway Research Program, SHRP*) realizó, a un costo de US\$ 50 millones, un proyecto de investigación para desarrollar nuevas formas de ensayo y especificaciones para asfaltos modificados. (AI, 1998).

El nombre de SUPERPAVE se deriva de Pavimentos Asfálticos de Comportamiento Superior (*SUPERior PERforming asphalt PAVEMENTs*)

Estas especificaciones están consideradas en el libro “Las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes”, pero en la actualidad, apenas se comienzan a tomar en cuenta.

2.2.1 Especificaciones SUPERPAVE para ligantes asfálticos

Las especificaciones SUPERPAVE han sido desarrolladas en función del control de la deformación permanente y la fisuración por fatiga en bajas temperaturas. Esta tecnología fue desarrollada para que las propiedades no se deformen en un rango de temperatura como puede ser en la variación de una estación a otra durante el mismo año.

“Por ejemplo, el tipo PG 52-40 está pensado para garantizar un buen comportamiento con una temperatura máxima de 52° C (promedio de los siete días sucesivos cuyas temperaturas sumadas dan el máximo) y una temperatura mínima de diseño de – 40° C.” (AI, 1998).

Por ejemplo, en el caso de Guatemala, en la mayoría del territorio nacional se aplicaría un grado PG de 76-22, que se menciona más adelante, pero que a la vez garantiza la afluencia de vehículos con carga vehicular alta y de alto tránsito. En la actualidad el equivalente que se usa es AC-20 y su equivalente PG 64-22.

2.2.2 Deformación permanente

Para comprender este tipo de falla que ocurre a altas temperaturas en la estructura de los ligantes. La norma define un factor de ahuellamiento (*rutting factor*), $G^*/\sin(\delta)$ que se calcula como el factor resultante en G^* entre la componente viscosa y la componente elástica con un ángulo entre el vector G^* y la componente elástica es igual a (δ) .

“Para el material A, el $\sin(\delta)$ ($=4/5$) es mayor que para el material B ($3/5$). Esto significa que $G^*/(\sin \delta)$ es menor para el material A que para el B. Por lo tanto, el material B ofrecerá mayor resistencia al ahuellamiento que el material A. Esto

tiene sentido porque la componente viscosa de material B es mucho menor que la del material A. Un mayor valor de G^* y un menor valor de (δ) incrementan el valor de $G^*/\text{sen}(\delta)$, lo que es deseable para la resistencia al ahuellamiento.” (AI, 1998)

Así, se determina que tan viscoso o que tan elástico es el asfalto, un valor del $\text{sen}(\delta) = 6.25$ implica un comportamiento más viscoso y un valor de $\text{sen}(\delta) = 8.33$ implica un comportamiento del asfalto elástico, comparado con otro material de valor 6.25.

2.2.3 Fisuración por fatiga

Lo mismo sucede con la fisuración por fatiga donde los valores de G^* y (δ) , ambos parámetros (como sucedía para ahuellamiento) se calcula el producto $G^* \times \text{sen}(\delta)$. El factor de agrietamiento por fatiga ($G^* \times \text{sen}(\delta)$) se denomina G estrella seno de delta, sus componentes viscosa y elástica son menores, el valor de la componente viscosa es igual a $G^* \text{sen}(\delta) = 1.2$ implica un material más blando que con otro material de valor de $\text{sen}(\delta) = 2$.

El ensayo de corte dinámico sólo provee parte de la información necesaria para evidenciar las propiedades vinculadas al agrietamiento. El resto de la información proviene del ensayo con la viga de flexión y, en algunos casos, proviene del ensayo de tracción directa.

2.2.4 Fisuración por bajas temperaturas

Los asfaltos se comportan como un sólido a temperaturas menores de 50°C y como líquidos a temperaturas mayores de 70°C . Si la temperatura baja a un más de los 70°C el asfalto tendrá un comportamiento frágil y para medir esto es mejor usar el reómetro de viga de flexión óptica.

A medida que la temperatura del pavimento va disminuyendo, el pavimento se contrae y acumula tensiones, cuando estas tensiones superan la resistencia del bitumen se rompe y aparecen las fisuras. Se ha llegado a determinar mediante

estudios que: si el ligante puede estirarse más del 1% de su longitud inicial durante este fenómeno, la probabilidad de agrietarse es menor.

2.2.5 Bombeo en planta

Los asfaltos en su generalidad, y aún más para los asfaltos modificados, estos últimos son altamente viscosos o elásticos, por lo que dificultan su traslado por las tuberías de la planta de producción, si a estos no se les proporciona una temperatura adecuada. La recomendación que hace el método SUPERPAVE es, que el valor debe de ser de 3 Pascales-seg o bien 3000 centi Poises.

En una planta de asfalto en realidad las bombas trabajan a 500 cPs de viscosidad independientemente del asfalto que se esté manejando. Para un ejemplo real en planta, para un asfalto con PG 76-22, la viscosidad de 500 cPs la alcanzará a 155° C. De no lograrse estas temperaturas en planta, los taponamientos y hasta desperfectos mecánicos y eléctricos podrían ocurrir en las bombas derivando en grandes atrasos en la producción y entrega de material.

2.2.6 Elección de los ligantes asfálticos

Esta elección del grado del asfalto se hace según la temperatura del clima o la temperatura del aire. Para cada año de operación del instituto meteorológico se determina el período de siete días más caliente del todo el año y se calcula el promedio de las temperaturas del aire en el sitio del tramo a asfaltar. Por lo menos para 20 años, se calcula la media y la desviación estándar, y lo mismo para el día más frío del año, por último se utiliza el método estadístico, con una confiabilidad que puede ser de hasta el 98%. Y para esto se utiliza el software correspondiente al SUPERPAVE. (AI, 1998)

Debe de comprenderse que el grado de desempeño PG, está conformado por dos números, el mayor representa la temperatura más caliente del aire, según lo explicado anteriormente, el menor la temperatura más fría, así el PG 76 ó 82

significa la mayor temperatura del aire 76° C ó 82° C. Que son utilizados para cargas estáticas o a baja velocidad o para excesivo tránsito. Y las temperaturas 10 ó 46 significan las menores temperaturas del aire más bajas de 10° C y 45° C. Tabla 1.

Lo que se logra al modificar adicionando polímero de estireno-butadieno a un asfalto AC-20 con un equivalente a PG 64-22, es hacerlo llegar a un PG 76-22. Un módulo en el software SUPERPAVE ofrece al usuario tres métodos para elección del ligantes:

Tabla 1: Grados de desempeño a diferentes temperaturas

| Grado de alta temperatura | Grado de baja temperatura |
|----------------------------------|----------------------------------|
| PG 46- | 34, 40, 46 |
| PG 52- | 10, 16, 22, 28, 34, 40, 46 |
| PG 58- | 16, 22, 28, 34, 40 |
| PG 64- | 10, 16, 22, 28, 34, 40 |
| PG 70- | 10, 16, 22, 28, 34, 40 |
| PG 76- | 10, 16, 22, 28, 34 |
| PG 82- | 10, 16, 22, 28, 34 |

Fuente: Instituto de Asfalto de EEUU, 1998.

Por área geográfica un organismo vial elabora un mapa indicando el grado de ligantes a ser utilizado por el proyectista, con base al clima o a decisiones de política vial.

Con respecto la ley guatemalteca, descrito en las Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, ya menciona la tipología de Cementos Asfálticos Modificados refiriéndose al método SUPERPAVE que se ha descrito

anteriormente. Esta tipología está orientada a ser utilizado según las condiciones climatológicas y de carga en la República de Guatemala.

Cuando no se disponga del equipo para realizar los ensayos requeridos para clasificar los cementos asfálticos por desempeño (PG) se podrán usar, como referencia los resultados esperados de los ensayos y su clasificación, conforme a lo indicado en la sección 411.03 de esta Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos, conforme al uso esperado, como se indica a continuación. (D.G.C., 2001)

Los asfaltos son diferentes tipos: Tipo I-A, Tipo I-B, Tipo I-C, Tipo I-D.

La tipología de los asfaltos es posible lograrla, modificando el bitumen asfáltico con polímero según la siguiente clasificación y logrando las siguientes propiedades: a) Susceptibilidad a la temperatura, b) Adhesión a los agregados, c) Resistencia a la deformación permanente, d) Resistencia al agrietamiento por fatiga, e) Ductilidad y f) Elasticidad.

- a. Elastómeros. Los tipos básicos de elastómeros utilizados para modificar asfaltos son: Hules sintéticos compuestos de Estireno-Butadieno (*Styrene - Butadiene, SB*) y Hule de Estireno-Butadieno (*Styrene - Butadiene Rubber, SBR*), los cuales se fabrican en forma de emulsión comúnmente conocida como látex. Hule Termoplástico de Estireno-Butadieno - Estireno (*Styrene - Butadiene - Styrene, SBS*).
- b. Plastómeros. Los tipos básicos de plastómeros utilizados son: Polietileno de Baja Densidad (*Low Density Polyethylene, LDPE*). Etileno - Vinilo - Acetato (*Ethylene - Vinyl - Acetate, EVA*) (D.G.C., 2001)

Los polímeros poseen una estructura de carbono e hidrógeno que es compatible con las componentes carbonados del asfalto, el porcentaje de polímero adicionado está en el rango de 1 a 2 por ciento peso-peso. De esta manera es posible variar hasta 4% del porcentaje de polímero y así se va ganando el bitumen propiedades

diferentes, pero fundamentalmente debe de formar una micro malla o estructura de red. (D.G.C., 2001).

2.2.7 Clasificación de asfaltos según tipo

La clasificación de los asfaltos está según su tipología en función del polímero elegido:

“Tipo I. Las propiedades del cemento asfáltico modificado con polímero.” (D.G.C., 2001)

“Tipo II, corresponden a las propiedades del cemento asfáltico convencional después de modificarlo con látex de hule de Estireno Butadieno (SBR) o Neopreno. Este tipo se subdivide en las clases II-A II-B Y II-C.” (D.G.C., 2001)

“Tipo III. Las propiedades del cemento asfáltico modificado con polímero Tipo III, corresponde a las propiedades del cemento asfáltico convencional después de modificarlo con acetato vinilo etileno o con polietileno. De este tipo se distinguen las clases III-A, III-B, III-C, III-D y III-E.” (D.G.C., 2001)

2.2.8 Clases de asfaltos modificados tipo I

La clasificación de los asfaltos Tipo I son los que actualmente son más producidos en Guatemala, por ejemplo el asfalto Tipo I – D es un equivalente del asfalto con PG 76 - 22.

“Tipo I. Las propiedades del cemento asfáltico modificado con polímeros Tipo I, corresponden a las propiedades del cemento asfáltico convencional después de modificarlo con copolímeros de bloque de Estireno. La mayoría de estos cementos asfálticos modificados que cumplen con esta especificación tienen semibloques de Butadieno y pueden ser configuraciones de bibloques del tipo SB o tribloque del tipo SBS. De este tipo se distinguen las siguientes clases.” (D.G.C., 2001)

Estos asfaltos se califican en clases y la de importancia relevante en este estudio es la de Tipo I, está a su vez se subclasifica en:

Tipo I-A. Utilizado en mezclas de concreto asfáltico para ser utilizado en climas fríos, en tratamientos superficiales aplicados en caliente y para el sellado de grietas. (D.G.C., 2001) Este tipo de asfalto aún no se ha fabricado en Guatemala y no se tiene registros de su desempeño o fabricación.

Tipo I-B. De uso genera, aplicable a concretos asfálticos de graduación abierta o densa y para aplicaciones de sellado en caliente para ser utilizadas en climas de moderados a cálidos. (D.G.C., 2001)

Este otro tipo de asfalto así como el Tipo I-A no se ha aplicado en Guatemala, por el momento no se tiene experiencia o conocimiento.

Tipo I-C. De uso general, aplicable a concretos asfálticos de graduación abierta o densa y para aplicaciones de sellado en caliente para ser utilizadas en climas más cálidos que los del inciso anterior. (D.G.C., 2001)

Este tipo de asfalto es muy parecido en sus características al aplicado en el trabajo de re-capeo de la autopista Palín Escuintla.

Tipo I-D. Para uso en climas calurosos en los cuales el concreto asfáltico estará sometido al paso de altos volúmenes de tráfico, con un alto porcentaje de camiones. (D.G.C., 2001)

Este tipo de asfalto es el que más se tiene experiencia en la actualidad en Guatemala, logrado con polímero estireno-butadieno-estireno.

En la siguiente tabla 2, se enumeran las especificaciones para estas clases de asfaltos:

Tabla 2: Especificaciones de los asfaltos tipo I, corresponden a las propiedades del cemento asfáltico convencional después de modificarlo con copolímeros de bloque de estireno

| Propiedades | Norma | Clases de Asfaltos Modificados Tipo I | | | | |
|--|--------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | | I-A | I-B | I-C | I-D |
| Penetración, a 25°C, 100g y 5s | AASHTO T 49 | Min | 100 | 75 | 50 | 40 |
| | | · | | | | |
| | | Máx. | 150 | 100 | 75 | 75 |
| Penetración, a 4° , 200g y 60 s | AASHTO T 49 | Min. | 40 | 30 | 25 | 25 |
| Viscosidad, 60°, Poises | AASHTO T 202 | Min | 1000 | 2500 | 5000 | 5000 |
| | | · | | | | |
| Viscosidad, 135° centi Stokes | AASHTO T 201 | Máx. | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |
| Punto de ablandamiento, R & B, ° C | AASHTO T 53 | Min. | 43.3 | 48.9 | 54.4 | 60 |
| Punto de Flama, ° C | AASHTO T 48 | Min. | 218.3 | 218.3 | 232.2 | 232.2 |
| Solubilidad en Tricloro etileno (TCE), % | ASTM D2042 | Min. | 99 | 99 | 99 | 99 |
| Separación, diferencia R&B, ° C | AASHTO T 44 | Máx. | 2.2 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| Ensayo del Residuo del Horno de Película Delgada (RTFOT) | | | | | | |
| Recuperación elástica, a 25 °C , % | AASHTO T 179 | Min. | 45 | 45 | 45 | 50 |
| Penetración a 4° C, 200 g y 60s | AASHTO T 49 | Min. | 20 | 15 | 13 | 13 |

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, 2001

2.3 Teoría macroeconómica y financiera

La siguiente recopilación de conceptos de las teorías macroeconómica y financiera, ayudarán a la comprensión de los capítulos en donde se utilizan estas herramientas, para así integrar el enfoque de este estudio y justificar su base de cálculo determinando las conclusiones.

2.3.1 Producto interno bruto PIB

“El PIB es el valor monetario de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un periodo determinado. Existen tres métodos teóricos equivalentes de cómo calcular el PIB. 1) Método de gasto, 2) Método del ingreso y 3) Método del valor agregado. Ningún método es mejor que otro, los tres presentan ventajas y desventajas. (Baca, G. 2010)

El PIB puede ser expresado en dos formas:

PIB nominal: Suma de cantidades de bienes finales producidos en una economía multiplicada por su precio corriente. Y esta a su vez puede ser a PIB a precio constante o a precio corriente. (Blanchard, O. 2012)

PIB real: Medida de la producción agregada. Suma de las cantidades producidas en una economía multiplicadas por su precio en el año base. También llamado PIB expresado en bienes, PIB en unidades monetarias constantes, PIB ajustado por la inflación. (Blanchard, O. 2012)

2.3.2 Análisis de escenarios

“A pesar de que el análisis de sensibilidad quizá sea la técnica de análisis más utilizada, tiene sus limitaciones. El análisis de escenarios es una técnica de análisis de riesgo que examina tanto la sensibilidad del VPN ante los cambios en las variables clave como el intervalo probable de valores variables. En un análisis de escenarios, el análisis financiero pide a los gerentes de operaciones que elijan un conjunto “malo” de circunstancias y un conjunto bueno de circunstancias. Los

VPN en condiciones buenas y malas se calculan y se comparan contra el VPN del caso de base o esperado.” (Besley, S. 2009)

2.3.3 Presupuesto

“Varios factores se combinan para hacer que las decisiones de elaboración del presupuesto de capital figuren entre las más importantes que deben tomar los gerentes de finanzas. Primero el impacto de la presupuestación de capital es a largo plazo, por consiguiente, la empresa pierde cierta flexibilidad de toma de decisiones cuando se compran proyectos de capital.” (Besley, S. 2009)

“La presupuestación de capital efectiva puede mejorar tanto la programación de las adquisiciones de activos como la calidad de los activos que se compran.” (Besley, S. 2009)

“La elaboración del presupuesto de capital es importante porque la adquisición de activos fijos por lo general implica gastos significativos, y antes de que una empresa pueda gastar una cantidad fuerte de dinero debe tener los fondos disponibles.” (Besley, S. 2009)

“Las grandes cantidades de dinero no se consiguen en forma automática. Por tanto, una empresa que contempla un programa mayor de gastos de capital debe ordenar su financiamiento con bastante anticipación para asegurarse de que los fondos requeridos estén disponibles.” (Besley, S. 2009)

2.3.4 Valor presente neto

Para determinar la aceptabilidad de un proyecto de presupuestación de capital, se debe determinar su valor y después determinarlo con el precio de compra del proyecto. Recuerde de los análisis previos que el valor de un activo puede ser determinado calculando el valor presente de los flujos de efectivo que se espera se generen durante su vida. Si se resta (o suma un flujo de efectivo

negativo) el precio de compra del activo al valor presente a los flujos de efectivo futuros previstos, el resultado será el valor presente neto en dinero o el beneficio neto que representa a la empresa la compra de activo. Este VPN muestra cuánto aumentará el valor de la empresa y por tanto cuánto se incrementará la riqueza de los accionistas si se compra el proyecto de presupuestación de capital. (Besley, S. 2009)

“Presupuesto equilibrado: Presupuesto en que los impuestos son iguales al gasto público.” (Blanchard, O. 2012)

2.3.5 Costo

“Los contadores definen el costo como un sacrificio de recursos que se asigna para lograr un objetivo específico. Un costo (como los materiales directos o la publicidad) por lo general se mide como la cantidad monetaria que debe pagarse para adquirir bienes o servicios. Un costo real es aquel en que ya se ha incurrido (un costo histórico o pasado), a diferencia de un costo presupuestado, el cual es un costo predicho o pronosticado (un costo futuro)”. (Horngren, T. 2012)

2.4 Contexto general de la infraestructura y economía guatemalteca

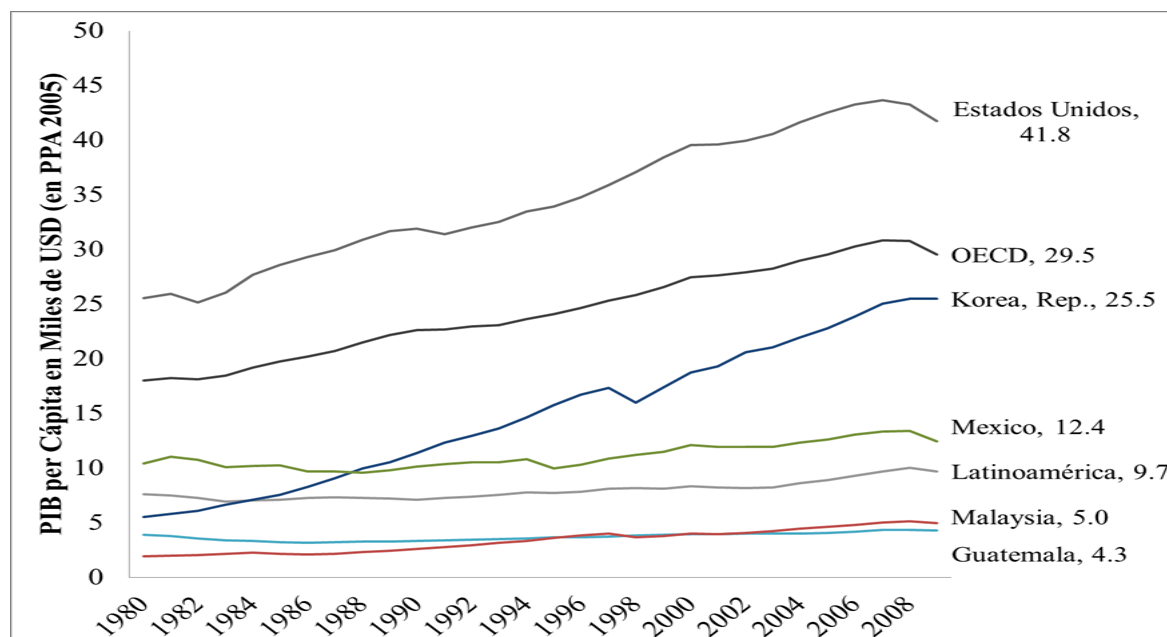
A partir del análisis de la Infraestructura en Guatemala, se discute en este cómo puede ser comprendido el problema de la infraestructura guatemalteca y sus implicaciones macroeconómicas, todo este análisis parte de contemplar para Guatemala un programa integral para la sostenibilidad de la infraestructura, repercutiendo así directamente en su economía a largo plazo.

Partiendo que Guatemala tiene un Producto Interno Bruto (aproximadamente de 3%) en las últimas 3 décadas (1980-2010); lo cual aunado a una tasa de crecimiento poblacional de 2.6%, hacen que Guatemala duplique sus ingresos en 20 años, cuando otros países lo estarán haciendo en 10 años. (CIEN, 2011),

Con esta premisa la Política Económica, Social y de Seguridad para mejorar el crecimiento económico 2012-2021 con los factores de crecimiento de 1) inversión en capital físico; 2) mano de obra; 3) capital humano; y 4) productividad total de los factores, podría lograr mejores tasas de crecimiento en el corto plazo, y no debería comprometerse la estabilidad macroeconómica, o bien entendiéndose debe ser sostenible. (CIEN, 2011)

Principalmente lo que se debe de lograr es; elevar la productividad del guatemalteco y principalmente generar riqueza en el país. Como se puede observar en la gráfica 1, Guatemala no ha alcanzado un crecimiento significativo en los últimos 20 años, presentando un crecimiento por debajo de los demás países de Latinoamérica y siendo muy parecido al crecimiento de Malasia. (CIEN, 2011).

Grafica 1: Comparación de crecimiento económico entre distintos países y regiones (porcentajes)



Fuente: CIEN 2011, de Banco Mundial (2010) Fuente: CIEN 2011, Infraestructura en Guatemala.

Ahora bien, se podría plantear la pregunta ¿Qué es realmente, lo que ha impulsado el crecimiento en Guatemala?, aunque en realidad este crecimiento ha sido muy bajo, partiendo del análisis que hace el CIEN, los factores de crecimiento han tenido muy poco protagonismo con valores de cero por ciento, solo son relevantes en la década anterior al terremoto de 1976 y el único que ha sobresalido es la inversión de bienes físicos. “El cual ha contribuido con más de un 50% del crecimiento económico en los últimos 60 años en la historia de Guatemala.” (CIEN, 2011).

Como se puede observar en la tabla 3, la contribución del empleo al crecimiento económico ha sido bajo, después de los años 80. El capital humano ha contribuido poco en el crecimiento económico del país. La baja productividad de los factores de producción en Guatemala, ha permitido que el capital físico sea el principal motor de crecimiento económico en los últimos 60 años.

Tabla 3: Contribución de los factores de producción al crecimiento económico en los últimos 60 años de la historia guatemalteca (porcentajes)

| Año | PTF | Capital Físico | Capital Humano | Trabajo |
|------|-------|----------------|----------------|---------|
| 1950 | -0.80 | 4.00 | 0.80 | 0.30 |
| 1960 | 0.60 | 3.00 | 0.60 | 1.00 |
| 1970 | 0.40 | 3.60 | 0.80 | 0.90 |
| 1980 | -1.00 | 1.20 | 0.70 | 0.10 |
| 1990 | 1.60 | 1.90 | 0.30 | 0.20 |
| 2000 | 0.70 | 1.90 | 0.50 | 0.30 |

Fuente: CIEN 2011, Infraestructura en Guatemala. Elaboración propia con base en información del BANGUAT (2010).

Pero las condiciones de Guatemala no cambiarán de la noche a la mañana, así que se debe de formular una pregunta para elevar la productividad total ¿Cómo producir más con lo mismo? Por lo que la propuesta que se plantea es una visión, integrando los elementos desde de las dimensiones de la competitividad sistemática, siendo estas: a) meta b) macro c) meso y d) micro.

“El nivel Meta se refiere al conjunto de valoraciones de la sociedad acerca de la importancia de la competitividad –conciencia colectiva-; el nivel Macro envuelve las políticas que dan forma a las “condiciones generales” de la economía – leyes y variables macroeconómicas-; el nivel Meso, es el espacio en el cual se desarrolla el marco institucional donde colaboran el Estado y la sociedad en la construcción de un adecuado marco institucional; y, el nivel Micro, donde las empresas buscan la eficiencia y la cooperación entre ellas.” (CIEN, 2011)

2.4.1 Infraestructura pública de transporte y comunicaciones en Guatemala

El estado tiene un papel protagónico en la superación de conflictos y carencias que plantea el conjunto de condiciones y problemas económicos y sociales, particularmente en la infraestructura de transporte y comunicaciones.

“Los gobiernos se hicieron oficialmente responsables, en el marco de la Alianza para el Progreso, del desarrollo económico y social de sus países, comprometiéndose a metas concretas en una diversidad de áreas que habían sido abordadas anteriormente. La variedad de aspectos incluidos en los compromisos reconoció la complejidad de la situación que debía superarse mediante este esfuerzo especial para lograr un desarrollo económico y social sostenido.” (Lavallo, 2010)

La complejidad de la acumulación del capital físico está dividida en los sectores 1) Social que comprende vivienda, salud, educación, patrimonio cultural y deportes, 2) Sector productivo: agropecuario, industrial, comercio, turismo. 3) Infraestructura: transporte, energía agua y saneamiento 4) Transversal: medio ambiente, impacto sobre la mujer gestión de riesgo. Estas son los sectores en que se divide la inversión pública, pero que en este estudio únicamente es de importancia el sector de la infraestructura de carreteras.

“El papel de la infraestructura en la sociedad es proporcionar los servicios básicos para que los ciudadanos y empresas puedan desarrollar sus actividades.” (CIEN, 2011)

Estos servicios básicos son la oferta de energía eléctrica y telecomunicaciones la provisión de agua potable por tubería, alcantarillado y riego, los servicios de transporte que incluyen infraestructura de carreteras, ferrovías, aeropuertos y puertos. Por lo que teniendo carreteras frágiles y no acondicionadas para tales desastres se está poniendo en juego directamente el crecimiento económico y social del Guatemala, y por el contrario si se dispone de una infraestructura eficiente se genera directamente desarrollo económico. (CIEN, 2011) Como lo menciona la literatura a continuación:

“Estudios del Banco Mundial han demostrado que el aumento de la infraestructura y el crecimiento de la producción nacional, están fuertemente relacionados: un

incremento de 1% en el capital de infraestructura se asocia con un crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) del 1%.” (CIEN, 2011).

Esto no es fortuito, existe una relación o correspondencia entre la infraestructura de buena calidad y los efectos del crecimiento económico. Además se puede mencionar; que nadie puede poner en duda, que la carencia de una buena infraestructura es un factor de crecimiento económico de primer orden y además nadie duda, que la carencia de ella pueda ser un freno en el crecimiento económico social. A pesar de otros elementos que influyen e interactúan en el desarrollo como lo son el nivel de la educación, mercados eficientes, recursos naturales, instituciones dinámicas, etc.

“Se debe aclarar que esta acumulación lenta de capital físico ha sido lenta e inferiores al resto de Latinoamérica, además el conflicto armado incidió sobre la tasa de inversión durante los años 80. Pero, a partir de los acuerdos de Paz en 1996 se realizaron importantes esfuerzos para incrementar la infraestructura básica del país.” (CIEN, 2011)

Sin embargo, los indicadores de infraestructura básica de Guatemala son aún adversos en relación con los promedios de países en categorías de crecimiento económico comparable (ver Tabla 4).

Tabla 4 : Guatemala. Disponibilidad y calidad de la infraestructura de transporte y comunicaciones

| | | Guatemala reciente ** | WDI* | Promedio mundial de países de ingresos medio bajos | Promedio de países del ALC |
|-------------------------|----------|-----------------------|------|--|----------------------------|
| Infraestructura Vial | | | | | |
| Carreteras pavimentadas | Km/1000h | 0.47 | 0.47 | 1.4 | 1.6 |
| Carreteras totales | Km/1000h | 1.12 | 1.14 | 2.6 | 5.8 |

*World Development Indicators (WDI) del Banco Mundial para el último año disponible.

**Datos de instituciones nacionales para 2006.

Fuente: CIEN 2011, Infraestructura en Guatemala.

Pero observando el cuadro anterior de la tabla 4, es posible que la acumulación del capital físico comparada con otros países, haya sido insuficiente para desarrollar el crecimiento que exige mitigar la pobreza en Guatemala, comparada con otros países donde repercute en la rentabilidad de inversión privada. Como dice la literatura:

“Como resultado de la relativa escasez de capital físico incluyendo infraestructura la rentabilidad anual de la inversión agregada realizada por el sector privado alcanza niveles promedio de 28% a 30% en términos reales.” (CIEN, 2011)

Debe de subrayarse que los retoños sociales de la inversión han variado según el ritmo económico del país, pues estos fueron muy elevados en los años 60 y 70, finalmente colapsaron en los años 80 y recuperándose en los años 90, después de los acuerdos de paz. Esto lleva a concluir que la inversión en capital físico es altamente rentable desde el punto de vista de la sociedad guatemalteca y que su dinamismo depende fuertemente del entorno de negocios en el país. (CIEN, 2011).

“En vista de lo anterior, la política pública hacia el desarrollo de la infraestructura básica debe orientarse a proveer bienes complementarios para la acumulación del capital físico y a realizar reformas que tiendan a elevar la rentabilidad del capital dedicado a inversiones en infraestructura dentro del país.” (CIEN, 2011)

Guatemala presenta una combinación de factores que la ha convertido en un país vulnerable, con una lista de amenazas recurrentes, como lo son: el patrón de crecimiento demográfico, sin ordenamiento territorial municipal y una economía poco diversificada y una pobreza concentrada y desigual. Así como la falta de cumplimiento en el marco regulatorio de la calidad de la infraestructura como a continuación lo menciona la literatura:

“Un incumplimiento en el marco de regulaciones en cuanto a la calidad de las construcciones y de los procesos de contratación combinado con la vulnerabilidad ambiental, hace que el país sea cada vez más afectado en términos económicos por el cambio climático.” (CIEN, 2011).

Es entonces la calidad de la infraestructura un factor a contemplar estrictamente, pues como dice la literatura, la economía es golpeada directamente por una calidad deficiente.

2.4.2 Estructura, marco institucional y regulatorio de la red de carreteras

La estructura del Marco Institucional Regulatorio es constituido primeramente por El Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (MICIVI). Del Ministerio dependen:

“a) La Dirección General de Caminos (D.G.C.), responsable de la planificación estratégica, la supervisión de la construcción, rehabilitación, mejoramiento y mantenimiento de carreteras y caminos; b) La Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL), encargada de administrar los recursos del fondo para el mantenimiento vial, así como de la programación y supervisión del mantenimiento

por contrato; c) La Unidad de Concesiones y Desincorporaciones (UCD), encargada de llevar a cabo los programas en el área de infraestructura; d) Unidades descentralizadas para velar por el transporte marítimo y aéreo.” (CIEN, 2011).

El Ministerio de Comunicaciones ha desarrollado un Plan Maestro de Transporte 1996-2015, que principalmente está enfocado al mejoramiento vial, dando prioridad al mantenimiento de la red vial y conservación de las carreteras, desarrollar nuevas fuentes de financiamiento, fortalecer la participación de la iniciativa privada enfocándose principalmente en:

“La Red Primaria tiene como propósito la comunicación directa a nivel regional e internacional (comunicar de y hacia los principales puertos marítimos y fronteras). Actualmente la Red Vial Primaria está conformada por casi todo el conjunto de carreteras Centroamericanas (CA), por un porcentaje significativo de Rutas Nacionales (RN) y Departamentales (RD), y por las rutas de nomenclatura especial como la Franja Transversal del Norte (FTN) y Carretera Inter-Troncal de Occidente – 180 (CITO-180).” (CIEN, 2011)

Esta red primaria debería de tener prioridad para su recapeo con los asfaltos modificados, debido a su importancia, y a la vez que su mantenimiento e inversión sean mínimas.

“La Red Secundaria facilita la comunicación regional y entre las cabeceras de departamentos contiguos, al igual que hacia y desde los mayores centros de población y/o producción, conformando una red complementaria y/o alterna a la Red Vial Primaria. La constituyen la Ruta CA-9 Sur “A” en sus tramos “Palín – Escuintla” y “Escuintla – Puerto San José”, la mayoría de las Rutas Nacionales (RN) y parte del total de las Rutas Departamentales (RD). La Red Terciaria complementa las redes Primaria y Secundaria, comunicando las cabeceras departamentales con municipios y aldeas. Está constituida en su mayoría por

Rutas Departamentales (RD), con rodadura de terracería y/o balastro, y por el resto de vías registradas por la DGC bajo la denominación “Caminos Rurales” (CR).” (CIEN, 2011)

Es en estas redes secundaria y terciaria por su penetración en las comunidades, es donde se desea trasladar los fondos ahorrados en mantenimiento, una vez recapeada la red primaria con asfaltos modificados. (Anotación propia)

También se ha de mencionar que El Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM). Está en proceso de lanzar un Plan Multimodal de Obras de Infraestructura de Transporte (PMOIT) este establece los parámetros de un transporte integrado que consta de 10 proyectos estratégicos en las áreas viales, aeroportuario, portuario y de mantenimiento (2008).

“Los objetivos específicos del PMOIT son: A) Identificar proyectos prioritarios de infraestructura; B) Construir la visión estratégica a largo plazo del Sistema Nacional de Transporte; y c) Definir los objetivos estratégicos, planes de acción y de seguimiento necesarios tanto a nivel general (Sistema Nacional de Transporte) como al nivel de los diferentes subsistemas” (Portuario, Logístico, Aeroportuario, Ferroviario y Vial).” (CIEN, 2011).

Pero este PMOIT esta desactualizado y vale la pena su actualización y validación, para el desarrollo de todo el país, de tal forma que sea tomado en cuenta por los gobiernos de turno.

2.4.3 Calidad de la infraestructura de transporte

La Red Vial de la República de Guatemala cuenta con más de 15,000 kilómetros de carreteras, incluidos 3,600 kilómetros de Caminos Rurales. Esta Red está clasificada de la siguiente forma:

- i) “Según tipos de rutas: Centroamericanas, Nacional y Departamentales, a las que habría que añadir los Caminos Rurales de conexión entre aldeas;
- ii) Según aspectos estratégicos de comunicación: Primaria, Secundaria y Terciaria. De acuerdo a los datos del 2008 de la DGC, del total de los 15,187 kilómetros que componen la Red Vial de Guatemala, más de 6,400 kilómetros están asfaltados (42% del total). A los 5,127 km (34 %) de caminos sin asfaltar hay que añadirle más de 3,642 kilómetros de caminos rurales y cerca de 10,000 kilómetros de caminos no registrados que dependen de las municipalidades.” (CIEN, 2011)

A pesar de que en años recientes se han hecho esfuerzos para preservación y mantenimiento de la red vial esta se ha deteriorado en su totalidad.

“En el año 2000, cerca del 60% de la red se encontraba en buenas condiciones y un 10% en mal estado; para 2008, únicamente un tercio de la red se encontraba en buenas condiciones y las carreteras en mal estado habían incrementado a un tercio de la red vial (Banco Mundial 2010).” (CIEN, 2011)

En respuesta a esto situación de la red vial se pensó en asegurar el mantenimiento de la misma por medio del Decreto legislativo No.134-96. Como a continuación menciona la literatura:

“El instrumento diseñado para asegurar los recursos para el mantenimiento de las carreteras fue creado por Decreto legislativo No.134-96, donde se crea un fondo vial (COVIAL) con recursos provenientes del impuesto recaudado por consumo de combustibles. Por las necesidades apremiantes de recursos, COVIAL ha estado siendo además utilizado para expandir la red vial e incrementar su capacidad, en lugar de canalizar los recursos únicamente al mantenimiento, como originalmente estaba previsto.” (CIEN, 2011)

Lo anteriormente mencionado sumado a la vulnerabilidad de la infraestructura a los desastres naturales y el incremento del comercio con su consecuente incremento en el tráfico, ponen en constante riesgo la red vial guatemalteca, lo que vuelve más crítico aún el asegurar los recursos financieros para el mantenimiento. Finalmente en función de la calidad de la red vial, esta no solamente debe ser vista desde la competitividad sino desde su función social como dice la literatura.

“Punto de vista de competitividad, sino que también desde su función social de conectar e integrar a las comunidades rurales con servicios sociales y económicos.” (CIEN, 2011)

Puesto que los casi 19,000 Km de caminos rurales los cuales constituyen el 70% de la red de caminos de Guatemala, solamente la tercera parte recibe mantenimiento y probablemente solo 5% con eficacia debido a que no son de prioridad para COVIAL. (CIEN, 2011)

“Otro de los factores que han afectado el estado de la red vial en Guatemala son los conflictos contractuales y las pugnas existentes desde el 2008, entre constructores y el Estado, debido a la falta de pago de deudas de trabajos realizados (Fallas de mercado).” (CIEN, 2011)

Las fallas de mercado son comunes de la industria de asfaltos guatemalteca, esto genera un calentamiento de precios en las obras, así como desempleo y hasta la banca rota de algunas empresas.

Por último y como piedra angular de este estudio el siguiente párrafo hace mención del porcentaje del PIB que se debe de invertir en infraestructura en general la cual se divide en telecomunicaciones, electricidad, carreteras pavimentadas, vías ferroviarias, agua y saneamiento.

“Para que América Latina crezca a una tasa del 3% anual entre los años 2000 y 2010 se requiere invertir anualmente en infraestructura alrededor del 3,02% del PIB, equivalente a 70.000 millones de dólares. Esta cifra se desglosa en nuevas inversiones (57.000 millones de dólares), que representan alrededor del 2,2% del PIB, y 13.000 millones de dólares en inversión de reposición y mantenimiento. Las necesidades de nuevas inversiones no son homogéneas entre los distintos sectores. Como se aprecia en tabla 5, para el período 2000-2010, los sectores de energía eléctrica y carreteras son los que más recursos estimados de inversión requieren (Fay, 2001; Fay y Yepes, 2003). (CEPAL, 2010)

Tabla 5: Estimaciones de los requerimientos de nuevas inversiones en infraestructura para América Latina, 1995-2010

| En porcentaje del PIB | 1995-2000 | 2000-2010 |
|----------------------------|-----------|-----------|
| Telecomunicaciones fijas | 0.22 | 0.27 |
| Telecomunicaciones móviles | | |
| Electricidad | 0.76 | 0.99 |
| Carreteras pavimentadas | 0.15 | 0.48 |
| Vías ferroviarias | 0.60 | 0.23 |
| Agua | 0.12 | 0.10 |
| Saneamiento | 0.38 | 0.18 |
| Total | 2.23 | 2.25 |

Fuente: Crecimiento, Infraestructura y desarrollo sostenible. Marianne Fay, Financing the Future: Infrastructure Needs in Latin America, 2000-2005, Washington, D.C., Banco Mundial, 2001; Marianne Fay y Tito Yepes, “Investing in infrastructure: what is needed from 2000 to 2010”, World Bank Policy Research Paper, N° 3102, 2003.

De la tabla No. 5, el dato de carreteras pavimentadas 0.48% es el dato que en este estudio tiene relevancia para el periodo 2000-2010 y con el cual se podrá

determinar si Guatemala está invirtiendo en carreteras según lo que estipula CEPAL en su documento Crecimiento, infraestructura y desarrollo,

2.5 Gases de efecto invernadero GEI

“El termino efecto invernadero se refiere al papel que desempeña una capa de gases que retiene el calor del Sol en la atmosfera de la Tierra, haciendo que la temperatura interior sea más alta que la exterior.” (Pinelo, M. 2007)

“El problema actual se ha generado por la exagerada presencia de estos gases, ocasionando el aumento de la temperatura del aire de la superficie terrestre más allá de los niveles normales. Desde la revolución industrial los GEI se han incrementado en forma significativa, y en algunos casos, como el Dióxido de Carbono (CO₂). “(Pinelo, M. 2007)

“Los gases de efecto invernadero son: Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso N₂O, Vapor de agua (H₂O), Ozono (O₃), Hidrofluorocarbonos o HFC, Perfluorocarbonos o PFC y Hexafluoruro de azufre o SF₆. “ (Pinelo, M. 2007)

2.5.1 Dióxido de Carbono CO₂

En este estudio el principal y únicos gas de invernadero a calcular es el Dióxido de Carbono. El CO₂ es un “Gas de invernadero producido por uso de combustible fósil (petróleo, gas, carbón, etc.) y por el cambio de uso de la tierra (deforestación). Este gas a contribuido a mantener una temperatura constante dentro de la tierra sin embargo en la actualidad, es responsable de casi el 76% del calentamiento global previsto para los próximos años.” (Pinelo, M. 2007)

“Los operarios de la calderas pueden utilizar el CO₂ en los gases que salen de un horno o de la caldera como una guía para el ajuste del aire suministrado, a fin de no usar demasiado exceso de aire y de esta manera disminuir la eficiencia de la caldera. A la inversa, si el CO₂ se mantiene demasiado alto, de modo que el

exceso de aire es demasiado bajo, por lo que habrá una combustión incompleta del combustible y una mayor pérdida del carbono no quemado.” (Singer, J. 1981)

2.6 Cálculo de emisiones

La metodología general empleada para la estimación de emisiones de este tipo de actividades es la siguiente:

Ecuación 1 Estimación de Emisiones

$$E = Fe * Na * [1 - Ea/100]$$

Fuente: (CONAMA, 2009)

Donde: E: Emisión, Fe: Factor de emisión, Na: Nivel de actividad diaria, semanal y mensual de la fuente estimada, Ea: Eficiencia de abatimiento.

Fuente: Guía Metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile. (2009)

Si no se cuenta con equipo analizador de Gases, la eficiencia de combustión normalmente se estima una eficiencia de 90% para los equipos, $Ea = 90\%$, por lo que esta parte de la ecuación se reduce a $[1 - 0.90/100] = 1/1000$. Por lo que la ecuación queda expresada de la siguiente forma: (Anotación propia)

Ecuación 2 Ecuación modificada de estimación de emisiones

$$E = [Fe * Na / 1000]$$

Fuente: Fuente: (CONAMA, 2009)

Para comprender de mejor forma porqué se utiliza esta fórmula, a continuación se describirá el proceso en la fabricación de mezcla asfáltica, así mismo se describe como se modifica un asfalto convencional al adicionar polímeros o modificadores.

La mezcla asfáltica es una mezcla de agregados pétreos de diferentes tamaño en una proporción de 95% y 6 a 5% de asfalto, según sea el diseño. La calidad de su desempeño ésta en función de encontrar el óptimo en la proporción de cada componente. (Anotación propia)

El asfalto es un subproducto que se obtiene de la refinación del petróleo crudo y que normalmente es la última fase más pesada de esta refinación.

La mezcla asfáltica puede ser fabricada en plantas de producción tipo lote o de producción continua. Los agregados son almacenados normalmente a la intemperie con humedades de hasta 5 % según sea la estación del año. (Anotación propia)

Posteriormente son trasportador a las cribas o mallas tamizadoras que permiten separar por tamaño el material y luego de pasar por estas son transportados los agregados a un secador rotatorio que puede ser de gas, bunker o diesel. Es acá donde interesa ubicar primeramente la producción de CO₂ a cuantificar. (Anotación propia)

En Guatemala el bitumen normalmente es AC-20 o AC-30 de alta calidad, es transportado desde la refinería o plantas de almacenamiento en pipas con cobertores para evitar la pérdida de calor y luego en planta es almacenado en tanques que también poseen calefacción para evitar su endurecimiento y facilitar su transportación por tuberías hasta la planta de producción continua o de lotes. (Anotación propia)

La mezcla de ambos materiales el bitumen y el agregado se produce en una cámara que el fabricante de las plantas de producción continua denomina doble barril y que cuyo funcionamiento es básicamente el de mezclar el agregado que previamente se ha calentado en el cilindro interno y que luego es trasportado al cilindro externo y concéntrico en donde se inyecta asfalto y cuya temperatura final está cerca de los 320° F, además luego de que se ha incorporado el bitumen se

incorporan los finos que fueron expulsados por la flama a otra cámara que se denomina Casa de Bolsas y que se inyectan en este momento para evitar que el material fino absorba más bitumen. (Anotación propia)

“La mezcla final se realiza con las cantidades exactas de los diferentes tamaños de los agregados pétreos y el asfalto caliente, en un molino especial que permite realizar la mezcla en no más de un minuto, para posteriormente transportar la mezcla a un almacenamiento calefaccionado o a camiones para su transporte a su uso final.” (CONAMA, 2009)

La tabla 6 únicamente se colocó como referencia en la diferenciación de la combustión en una planta de lotes y una planta continua.

Los factores de emisión utilizados para las plantas de asfalto son los indicados en la tabla 7, estos están basados en los propuestos por la fuente indicada y representan el promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en las fuentes, con una gran variedad de tecnologías de producción.

Tabla 6: Factores de emisiones de contaminantes por combustión diesel en planta de lotes y filtro de mangas

| Categoría | Contaminante | Factor de Emisión (Kg/ton material procesado) | Fuente |
|--|---|---|---|
| | MP MP ₁₀ MP _{2,5} SO _x NO _x VOC CO Plomo Arsénico Benceno Tolueno | 0.021 0.013 0.004 0.006 0.06 0.004 0.2 4.45E-7 2.3 E-7 0.00014 0.0005 | AP-42 de la EPA, Hot Mix. Plantas Abril 2004 |
| Planta Bach con Filtro de mangas y petróleo diesel como Combustible. (SCC 3-05-002-47) | CO ₂ | 18.5 | Directrices del IPCC de 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. |
| | Hg | 2.05E-7 | Instrumental para la indefinición de liberaciones de mercurio, PNUMA, 2005. |

| Categoría | Contaminante | Factor de Emisión (Kg/ton material procesado) | Fuente |
|------------------|---------------------|--|---|
| | PCDD/PCDF | 0.007 | Instrumental normalizado para la Identificación y cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos PNUMA, 2005. |

Fuente: Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile 2009.

Tabla 7: Factores de emisiones de contaminantes por combustión de diesel en planta continua y filtros de mangas

| Categoría | Contaminante | Factor de Emisión (Kg/ton material procesado) | Fuente |
|------------------|---------------------|--|--|
| | MP | 0.0165 | AP-42 de la EPA, Hot Mix. Plantas Abril 2004 |
| | MP ₁₀ | 0.0115 | |
| | MP _{2,5} | 0.0034 | |
| | SO _x | 0.0055 | |
| | NO _x | 0.0275 | |
| | VOC | 0.016 | |
| | CO | 0.065 | |
| | Hg | 1.2E-7 | |
| | Plomo | 0.00027 | |

| Categoría | Contaminante | Factor de Emisión (Kg/ton material procesado) | Fuente |
|--|-----------------|---|---|
| | Arsénico | 0.65 E-6 | |
| | Benceno | 0.000195 | |
| | Tolueno | 0.000075 | |
| Planta continua con Filtro de mangas y petróleo diesel como Combustible. (SCC 3-05-002-63) | CO ₂ | 16.5 | Directrices del IPCC de 2006, para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. |
| | PCDD/PCDF | 0.6 E-10 | Instrumental normalizado para la Identificación y Cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos PNUMA, 2005. |

Fuente: Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile 2009.

“En el caso específico de la industria del asfalto, las principales emisiones se generan en los hornos de secado y mezclado de las materias primas o en el horno rotatorio. Los factores disponibles dan cuenta de estas fuentes principales. También se generan emisiones fugitivas por tránsito de camiones con materias primas y productos; almacenamiento y transporte de áridos; carga y descarga de materiales, las que pueden ser estimadas con factores de emisión.” (CONAMA, 2009)

Pero que en este estudio no se toman en cuenta, pues son parte de otros procesos destinados a venta al público.

2.6.1 Explicación del cálculo de emisiones para un horno de producción de asfalto

A partir de un Horno Secador Rotatorio, Marca: Cifali, Modelo: Súper Cifali, Combustible: Petróleo Diesel, Equipo control: Filtro de mangas, se plantea el siguiente ejemplo: Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 70,000 t/año.

Dado que los factores de emisión consideran que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

Ecuación 2
$$E = [FE * Na / 1000]$$

Fuente: (CONAMA, 2009)

Sustituyendo los datos en FE= 16.5 dato de tabla 7 para CO₂

$$E = (FE * 70,000 \text{ t/año}) / 1000, \text{ en t /año de emisión}$$

$$E = (16.5 * 70,000 \text{ t/año}) / 1000, \text{ en t /año de emisión}$$

$$\text{CO}_2 E = 16.5 * 70,000 / 1000 = 1,155 \text{ t /año de emisión}$$

Los factores de emisión (FE) empleados corresponden a los indicados en la tabla 7 y se operan de la misma forma que el ejemplo anterior, sustituyendo el factor de emisión según el gas, los resultados estimados para el cálculo de emisiones son los siguientes de las tablas 8 y 9.

Tabla 8: Emisiones estimadas horno industrial t/año

| Contaminante | MP | MP ₁₀ | MP _{2.5} | CO | NO _x | VOC | SO _x | CO ₂ |
|---------------|-------|------------------|-------------------|------|-----------------|------|-----------------|-----------------|
| Emisión t/año | 1.155 | 0.805 | 0.238 | 4.55 | 1.925 | 1.12 | 0.385 | 1,155 |

Fuente: Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile 2009.

Tabla 9: Emisiones estimadas horno industrial t/año

| Contaminante estimando | PCDD/PCDF | Hg | Plomo | Arsénico | Benceno | Tolueno |
|------------------------|-----------|--------|--------|----------|---------|---------|
| Emisiones t/año | 4.2E-9 | 8.4E-6 | 0.0189 | 0.000455 | 0.01365 | 0.00525 |

Fuente: Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile 2009.

El proceso de mezcla con los agregados es igual tanto para los asfaltos convencionales como para los asfaltos modificados, pero para poder modificar los asfaltos convencionales a asfaltos modificados, es necesario calentar el asfalto convencional hasta 360° F, permitiendo así que el polímero se disperse y se pueda concretar el entrecruzamiento de las moléculas del polímero y del asfalto. (Anotación propia)

Por este proceso extra, se evalúa nuevamente el proceso de modificación, con los parámetros de una caldera de agua o de líquido que transfiera calor al asfalto, en un período determinado que es medido por el consumo de diesel. A continuación se describe el proceso de la caldera y para este caso la caldera usa aceite térmico que es el encargado de llevar calor por tuberías a los tanques de asfalto. (Anotación propia)

2.6.2 Descripción del proceso de combustión en calderas y calentadores de combustible diesel

El proceso de combustión se puede definir como la combinación química rápida del oxígeno con elementos del combustible, los principales elementos del mismo son: el carbono, hidrógeno y azufre, siendo este último de menor importancia

como fuente de calor. Cuando el carbono (C) e hidrógeno (H) se queman completamente con oxígeno (O₂) se transforman a dióxido de carbono (CO₂) y calor según las siguientes reacciones:



“El objetivo de la combustión es liberar el máximo calor, minimizando pérdidas por una combustión incompleta y el aire en exceso. La oxidación completa de los elementos y compuestos del combustible requiere una temperatura suficientemente alta que permita la ignición de los constituyentes, mezcla o turbulencia y suficiente tiempo de residencia para completar la reacción.” (CONAMA, 2009)

Las calderas industriales pueden clasificarse de acuerdo a su diseño en:

- Calderas Piro tubulares o Igneotubulares
- Calderas Acuotubulares
- Calderas Piro tubulares o Igneotubulares

2.6.3 Calderas acuotubulares

En este tipo de calderas la llama se forma en un recinto de paredes tubulares que configuran la cámara de combustión. Soporta mayores presiones en el agua, pero es más cara, tiene problemas de suciedad en el lado del agua, y menor inercia térmica.

El tipo de caldera que se usa en realidad es la del tipo de aceite térmico cuyo principio es el mismo de una caldera que el acuotubular solamente con la variante de ser aceite lo que viaja dentro de los tubos y el quemador calienta el aceite que viaja por tuberías y serpentines dentro de los tanques de asfalto, calentando el asfalto hasta 320 a 380 °F.

2.6.4 Factores de emisión utilizados en calderas

Los factores de emisiones utilizados corresponden a los indicados en el AP-42 de EPA, y representan un promedio de una gran cantidad de mediciones de emisiones realizadas en calderas que utilizan los combustibles indicados, con una gran variedad de tecnologías de combustión en tabla 10 y los datos esperados en tabla 11.

Tabla 10 Factores de emisión empleados por calderas a petróleo 2 (diesel)

| Combustible | Contaminante | Factor de Emisión (kg/kg PET2) | Fuente/Edición/año de Publicación |
|--|-------------------|--------------------------------|--|
| PET 2 (Diesel) (SCC 1-02-005-01) | MP | 0.00029 | |
| | MO ₁₀ | 0.00014 | |
| | MP _{2.5} | 0.00003 | |
| | CO | 0.00071 | |
| | NOX | 0.00283 | |
| | VOC | 0.00005 | |
| | SOX | 0.00420 | |
| | NH ₃ | 1.4E-04 | |
| | Arsénico | 5.6E-12 | |
| | Plomo | 1.27E-12 | |
| | PCDD/PCD | 2.12E-14 | Instrumental normalizado para la identificación y cuantificación de Liberaciones de Dioxinas y Furanos, PNUMA, 2005. |

| Combustible | Contaminante | Factor de Emisión (kg/kg PET2) | Fuente/Edición/año de Publicación |
|-------------|-----------------|--------------------------------|--|
| | Hg | 5.05E-8 | Instrumental para la identificación y cuantificación deliberaciones de mercurio, PNU-MA, 2005. |
| | CO ₂ | 3.12 | Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. |

Fuente: Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile 2009.

A continuación se expone la explicación del cálculo de emisiones para una caldera industrial a petróleo diesel.

Marca: SERVIMET, Modelo: MIX200VGI, Combustible: petróleo diesel, Equipo control: NO. Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005, MINSAL.; Densidad (D) del diesel considerada: D = 0.84 kg/l., Consumos de combustible: 91.000 l/año, Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

$$\text{Ecuación 2} \quad E = [Fe * Na / 1000]$$

$$E = [Fe * Na * D / 1000]$$

Fuente: (CONAMA, 2009)

Sustituyendo los datos en $Fe = 3.12$ dato de tabla 10 para CO₂.

$$E = (FE * 91.000 \text{ l/año} * 0,84 \text{ kg/l}) / 1000, \text{ en t/año de emisión.}$$

$$E = (3.12 * 91.000 \text{ l/año} * 0,84 \text{ kg/l}) / 1000, \text{ en t/año de emisión}$$

$$\text{CO}_2 E = 3.12 * 91,000 * 0.84 / 1000 = 241.33 \text{ t /año de emisión}$$

Los factores de emisión empleados corresponden a los indicados en la tabla 10 y se operan de la misma forma que el ejemplo anterior sustituyendo el factor de emisión según el gas, los resultados estimados para el cálculo de emisiones son los siguientes de la tabla 11.

Tabla 11: Emisiones estimadas de caldera industrial t/año

| Contaminante estimando | MP | MP ₁₀ | MP _{2.5} | CO | NO _x | VOC | SO _x | CO ₂ |
|------------------------|--------|------------------|-------------------|--------|-----------------|--------|-----------------|-----------------|
| Emisión t/año | 0.0150 | 0.0070 | 0.0015 | 0.0550 | 0.2190 | 0.0038 | 0.3250 | 241.3300 |

Fuente: Guía metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles. Chile 2009.

2.7 Caracterización de asfaltos convencionales y asfaltos modificados

Conociendo que los asfaltos se pueden diseñar para que sean perpetuos, se presenta la tecnología que se desarrollara en Guatemala, proponiéndola como repuesta al problema de estudio. El problema de estudio está vinculado a la infraestructura vial en la República de Guatemala, particularmente ante; el límite de la tecnología convencional factor que contribuye anualmente en incremento en el gasto público, debido a que constantemente se realizan inversiones para mantenimiento y recapeo, este ciclo podría ser desacelerado al implementar la tecnología de los asfaltos modificados o SUPERPAVE en las capas de rodadura o en la totalidad de las carpetas de las carreteras. De esta forma se da respuesta a la propuesta de extender la calidad de la infraestructura.

El deterioro constante de las vías de asfalto en la ciudad y el resto del país, repercuten en altos prepuestos de corto ciclo repetitivo, estas inversiones podrían ser reasignadas a las áreas urbanas no asfaltadas o caminos rurales en el interior y de esta forma extender la red vial por todo el país. Así mismo la sustentabilidad de esta tecnología, podría generar un crecimiento económico en estas áreas. (Anotación propia)

Por esto mismo la iniciativa privada guatemalteca ha desarrollado en el país tecnologías de vanguardia que garanticen la perpetuidad de la inversión y que generan sustentabilidad, tanto en la Red vial primaria como también en comunidades que necesitan desarrollarse como lo son los lugares turísticos, como proveedores de productos agrícolas o el giro de negocio que la región desarrolle. (Anotación propia)

El desarrollo de esta tecnología se realizó primeramente como un tramo de prueba localizado en la 12 calle de la zona 9 o Calle Montufar, su extensión es de 200 m y se colocó en enero de 2010, por lo que se ha mantenido durante 6 años sin presentar deterioro significativo, parte de la prueba era colocarlo sobre losas de concreto fracturado por fatiga. Es a partir de aquí que se ha monitoreado la durabilidad y se estimó que es al menos el doble que la durabilidad de un asfalto convencional. Este estudio se apoya directamente sobre el documento que generara este desarrollo y se expusiera en Congreso Ibero Latino Americano del Asfalto 2013, este documento se presenta de forma detalla en el numeral 2.7.1 Mezcla modificada. Trabajo generado en Pavimentos de Guatemala. S. A. (Anotación propia)

Partiendo de esta evidencia, en este estudio se plantea mejorar la calidad de la infraestructura vial a través de la adopción de una mejor tecnología de pavimentos asfálticos que a su vez puede empujar el crecimiento económico en diferentes aspectos como lo es la liquidez que generan los procesos de construcción y mantenimiento de la infraestructura, el acceso a nuevos mercados y la diversificación derivada de la conectividad. (Anotación propia)

“En efecto, se ha planteado que el mejoramiento de la infraestructura puede incidir de tres maneras diferentes en el bienestar de los pobres: a través de la promoción del crecimiento económico de la incidencia en los niveles de ingreso y/o de la reasignación del gasto.” (Peláez, A. 2011)

Como menciona la literatura y relacionándolo con este estudio que pretende medir el efecto de las inversiones en pavimentación de carreteras en Guatemala incorporando la tecnología de SUPERPAVE o asfaltos modificados, podría incidir en la promoción del crecimiento económico la incidencia en los niveles del ingreso de la recaudación fiscal y la reasignación del gasto público.

A continuación se presenta la caracterización de los asfaltos modificados y los asfaltos convencionales, ambos partiendo de asfalto guatemalteco.

2.7.1 Mezcla modificada

Las propiedades de este asfalto modificado con estireno-butadieno-estireno (siglas en inglés SBS) para preparar la mezcla en caliente usada en la producción de la micro capa de rodadura esta se presentan en la (Tabla 12). La mezcla en caliente se formuló para ser usada en planta de producción continua en una relación 94% de agregados con 6% de asfalto modificado.

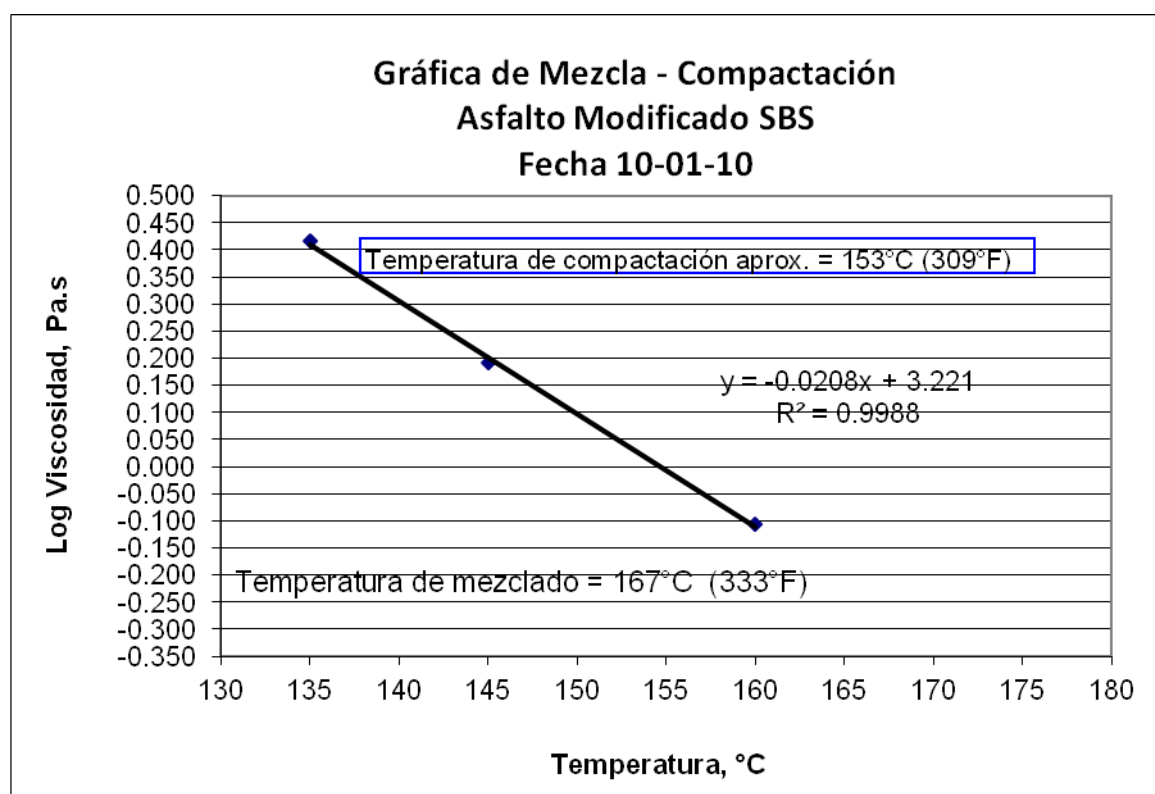
Tabla 12: Propiedades del asfalto modificado con estireno-butadieno-estireno para ser usado en la mezcla en caliente para micro capa de rodadura

| PROPIEDAD | METODO | VALOR |
|--|-------------------|-------|
| Temperatura de ablandamiento de anillo y | ASTM D36 | 59 |
| Penetración a 25°C, 1/10 mm | ASTM D5 | 55 |
| Viscosidad Brookfield a 135 °C, cP | ASTM D 4402 | 1200 |
| Recuperación elástica rotacional, % | N-CMT-4-05-002/06 | 53 |
| Módulo de corte reológico a 76°C, kPa | AASHTO T240 | 3.02 |
| Ángulo de fase a 76°C, grados | AASHTO TP5 | 74 |

Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

Como se puede observar en la carta de Temperaturas de Mezcla – Compactación (Tabla 37 anexo) y (Gráfica 2), la temperatura de producción de mezcla fue de 167° C (333° F) y la temperatura de compactación fue de 154° C (209° F), respetando estas temperaturas, durante la compactación con el rodillo metálico, la mezcla es perfectamente manejable y conduce a un acabado perfecto de la superficie final. Así mismo durante la fabricación de la mezcla, se debe de cuidar la temperatura, para alcanzar la viscosidad idónea para que primeramente el asfalto circule por las tuberías y bombas y recubra de forma eficiente el agregado pétreo. (Gallardo, M. 2013)

Gráfica 2: Temperatura Mezcla y Compactación, año 2010

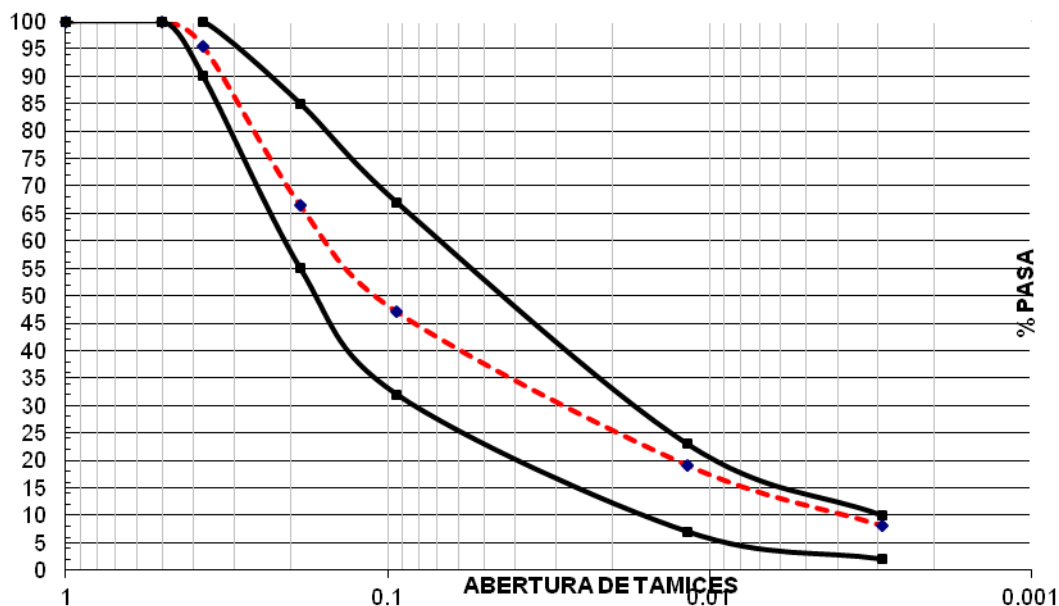


Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

El agregado pétreo que se utilizó fue completamente virgen y no se utilizó asfalto recuperado. Utilizando el método Marshall, para el análisis de los resultados de la

mezcla, se observa en la curva granulométrica de calidad de esta (Gráfica 3), toda la granulometría entra en curva para un diseño de mezcla tipo F 9.5 a 0 mm.

Grafica 3: Curva granulométrica de los agregados, año 2010.



Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

Como dato puntual de producción se tiene la tabla 13, en donde la referencia a la extracción del bitumen, proporciono un dato de 6.03%, y la densidad de la pastilla 2.358. En la tabla 14, se observa el resultado de los vacíos es de 4,70 (límites 3 - 5), el V.A.M. 18,09 (límite > 13), el V.R.A. 74,03 (límites 65 - 75), la estabilidad Marshall fue de 2554 lb_f (>1200), el flujo fue de 12 (8 -14), la estabilidad de flujo fue de 213 (120 - 275). Cumpliendo con las Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes. Es importante resaltar que el asfalto modificado permite tener propiedades de estabilidad Marshall con valores muy superiores a la especificación mínima de 1200 lb_f. (Gallardo, M. 2013)

Tabla 13: Porcentaje de bitumen y densidad de la mezcla, año 2010

| No | % de Bitumen | Pol % B 0.6 --1.6 | Densidad |
|----|--------------|-------------------|----------|
| 1 | 6.03 | 1.33 | 2.358 |

Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013.

Tabla 14: Resultados de calidad de la mezcla modificada, año 2010

| Volumen total | | | Vacíos | | | Estabilidad | Flow | Relación |
|---------------|-------|------------|----------------|---------------|-----------------|----------------------|--------------|---------------------|
| D.M.T. | AC | Ma. Pet | Vacíos 3--5 | V.A.M > 13 | V.R.A. 65-75 | Estabilidad >1200 | Flow 8-14 | Est.Flow 120-275 |
| 2.475 | 13.39 | 81.91 | 4.7 | 18.09 | 74.03 | 2554 | 12 | 213 |

Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

En la tabla 15 se presentan los resultados de 6 producciones diferentes de mezcla con asfalto modificado, y al final de cada tabla se puede ver el promedio de las producciones, la Estabilidad Marshall llega a tener un valor promedio de 3,083 lbf, el flow llega hasta 15.17. (Gallardo, M. 2013)

Tabla 15: Resultados de calidad de la mezcla modificada, año 2010

| Agregados de mezcla | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| 3/4" | 1/2" | 4 | 8 | 50 | 200 |
| 100 | 96.06 | 58.63 | 39.94 | 15.44 | 6.77 |
| 100 | 94.05 | 61.92 | 43.07 | 16.79 | 6.84 |
| 100 | 99.01 | 63.95 | 42.52 | 15.12 | 5.51 |
| 100 | 93.63 | 61.65 | 43.35 | 13.58 | 5.87 |
| 100 | 92.98 | 61.43 | 42.24 | 14.66 | 5.15 |
| 100 | 93.63 | 61.65 | 43.35 | 13.58 | 5.16 |

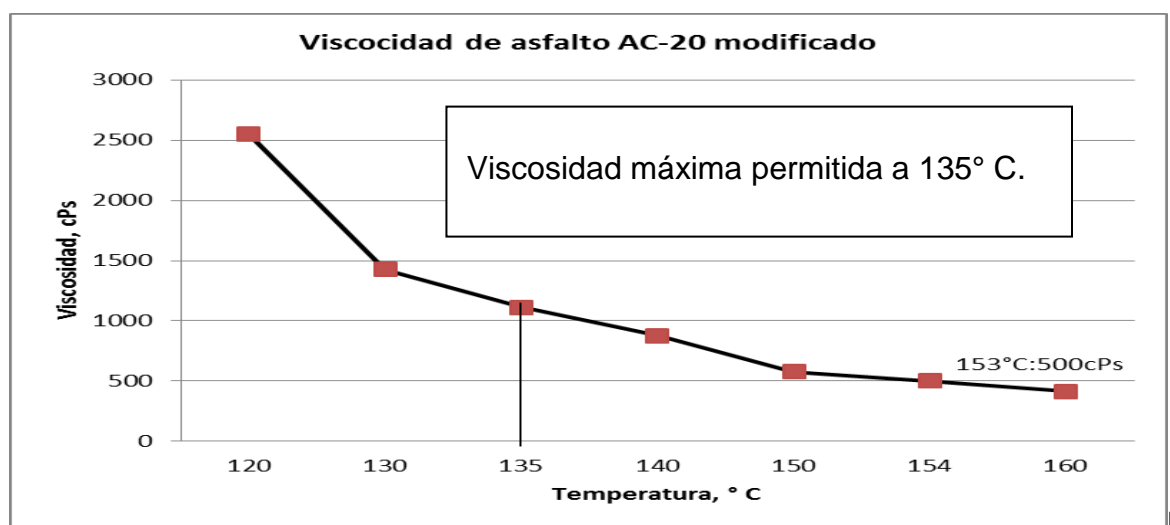
Tabla 16: Resultados de calidad de la mezcla modificada, año 2010 (Continuación)

| 100 | 94.89 | 61.54 | 42.41 | 14.86 | 5.13 | | |
|--------------------------------|------------|--------|-------|-------------|-------|-------|--------|
| Mezcla de agregado más asfalto | | | | | | | |
| % Asf. | Finos/Asf. | Estab. | Flow | Estab./Flow | Dens. | %V.R. | %V. T. |
| 5.03 | 1.35 | 3103 | 13 | 248 | 2.392 | 72.8 | 4.23 |
| 5.11 | 1.34 | 3053 | 15 | 211 | 2.392 | 73.66 | 4.12 |
| 5.18 | 1.06 | 2970 | 14 | 212 | 2.391 | 74.32 | 4.03 |
| 5.16 | 1.14 | 2970 | 16 | 192 | 2.394 | 73.55 | 4.18 |
| 5.15 | 1.05 | 3034 | 16 | 196 | 2.368 | 73.55 | 4.18 |
| 5.16 | 1.14 | 3068 | 17 | 186 | 2.391 | 73.55 | 4.12 |
| 5.13 | 1.18 | 3033 | 15 | 207 | 2.39 | 73.61 | 4.14 |
| | | >1200 | 8--14 | 120--275 | | | |

Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

Con respecto a los datos del bitumen, la gráfica de Viscosidad - Temperatura (Gráfica 4, obtenidos con los datos de tabla 36 de Anexos), esta información proporciona que el bitumen sea manejable dentro de la planta de producción a 154°C, misma temperatura de fabricación de la mezcla la cual está dentro de especificaciones, puesto que a 135° C está en un promedio de 1112 cSt y el valor máximo de acuerdo a la norma a esta temperatura es de 2000 cSt, aunque la norma sea en cSt. Y el viscosímetro utilizado para este ensayo proporciona datos en cPs, la diferencia entre ambos es despreciable. (Gallardo, M. 2013)

Gráfica 4: Viscosidad cPs contra Temperatura °C, año 2010



Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

Para asegurar el anclaje de la microcarpeta asfáltica al concreto hidráulico se utilizó una emulsión de rompimiento rápido modificada (1 a 10 min) a partir de asfalto modificado con polímero del tipo SBS lineal. Las emulsiones modificadas con SBS proporcionan resistencia mayor adherencia del residuo asfáltico con el sustrato, evitando así fallas como delaminaciones, corrimiento de la sobre carpeta y reflexión de grietas.

2.7.2 Mezcla convencional

Los datos de las mezclas convencionales se caracterizan en la tabla 16, estos datos como se pueden observar, varían en su estabilidad Marshall y estabilidad Flow a valores menores a los del asfalto modificado.

Tabla 16: Datos puntuales de control de calidad comparación entre mezclas tipo F 9.5 mm año 2010

| Agregado de mezcla | | | | | | | |
|-----------------------------|------------|--------|-------|-------------|-------|-------|--------|
| ¾" | ½" | 4 | 8 | 50 | 200 | | |
| 100 | 98.58 | 62.61 | 42.72 | 17.9 | 8.24 | | |
| 100 | 94.15 | 55.39 | 38.7 | 16.43 | 7.16 | | |
| 100 | 93.8 | 55.13 | 37.73 | 14.25 | 6.75 | | |
| 98 | 91.62 | 56.5 | 38.94 | 14.53 | 6.59 | | |
| 100 | 95.88 | 65.84 | 38.46 | 13.67 | 6.68 | | |
| 100 | 96.36 | 57.56 | 39.46 | 13.86 | 6.98 | | |
| 99 | 95.07 | 57.34 | 39.34 | 15.11 | 7.07 | | |
| Mezcla agregado más asfalto | | | | | | | |
| % Asf. | Finos/Asf. | Estab. | Flow | Estab./Flow | Dens. | %V.R. | %V. T. |
| 5.28 | 1.56 | 2584 | 13 | 207 | 2.378 | 74.87 | 4.18 |
| 5.29 | 1.35 | 2677 | 12 | 233 | 2.38 | 74.55 | 4.07 |
| 4.83 | 1.40 | 2666 | 12 | 222 | 2.39 | 71.74 | 4.28 |
| 4.77 | 1.38 | 2598 | 12 | 217 | 2.40 | 70.87 | 4.43 |
| 4.80 | 1.39 | 2695 | 12 | 225 | 2.38 | 71.82 | 4.23 |
| 4.81 | 1.45 | 2545 | 12 | 221 | 2.38 | 72.43 | 4.12 |
| 4.96 | 1.42 | 2627 | 12 | 221 | 2.39 | 72.71 | 4.22 |
| | | >1200 | 8--14 | 120-275 | | | |

Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

Los resultados de ambas mezclas comparadas y evaluadas por el método Marshall, muestran una diferencia significativa únicamente en la estabilidad Marshall con una diferencia de 12% mayor del asfalto convencional en relación al asfalto modificado, así mismo la estabilidad Flow sube en 19%. (Gallardo, M. 2013)

Lamentablemente no se cuenta en Guatemala, con el método SUPERPAVE para evaluar mezcla modificada, por lo que es muy difícil determinar o proyectar por el método Marshall la durabilidad de la nueva mezcla con asfalto modificado.

3. METODOLOGÍA

La Metodología contiene la explicación en detalle de qué y cómo se hizo para resolver el problema de la investigación relacionado con la sustitución de tecnología de proyectos de pavimentación y bacheo en Guatemala y su impacto en el presupuesto de ingresos y egresos del Estado, período 2005-2012. El contenido de la metodología incluye: Definición del problema; objetivo general y objetivos específicos; hipótesis y especificación de las variables; método científico; y, las técnicas de investigación documental y de campo, utilizadas. En general, la metodología presenta el resumen del procedimiento usado en el desarrollo de la investigación.

3.1 Definición del problema

De acuerdo con información del Ministerio de Finanzas Públicas, en Guatemala, las inversiones realizadas en pavimentación de la red vial durante el período 2005-2012 han sido cuantiosas. Durante ese período se invirtieron un promedio de Q 619,2 millones en pavimentación y bacheo. En Pavimentación la inversión promedio fue de Q 477.1 millones y en bacheo de Q 142.1.0 millones.

El gasto anual en pavimentación osciló entre Q 80.8 millones en el año 2011 y Q1,649.3 millones en el año 2012. Durante ese mismo período se ha invertido un promedio anual de Q142.1 millones en bacheo. El material utilizado para la pavimentación ha sido el asfalto o bitumen, el cual es un líquido negro obtenido artificialmente por destilación del petróleo, que se utiliza mezclado con agregados pétreos de granulometría controlada para la pavimentación de caminos y otros usos tales como el revestimiento impermeabilizante de muros y tejados.

La desventaja de la pavimentación y bacheo utilizando el asfalto convencional es la escasa duración del mismo, por lo que la alternativa tecnológica para la sustitución del asfalto convencional es la utilización del asfalto modificado, el cual es elaborado, colocado y compactado a temperaturas similares a las

convencionales. La utilización de este asfalto modificado surge también de la necesidad de dar respuesta a los reclamos ambientales, por la contaminación que provoca el uso del asfalto convencional y a la búsqueda de nuevos y eficientes procesos de pavimentación más duraderos.

El problema de la presente investigación se enfoca a la realización de un análisis comparativo desde el punto de vista financiero y ambiental, para determinar la conveniencia de la utilización de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional, y su impacto en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado; así como la determinación de los beneficios ambientales.

Para el efecto, es necesario realizar un análisis retrospectivo de la utilización de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional, para determinar la diferencia en costos y para evaluar el impacto financiero en las inversiones públicas de pavimentación de la red vial, en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado y en relación con el Producto Interno Bruto (PIB); además, es importante la medición del impacto ambiental.

3.2 Justificación

La justificación de la presente investigación radica en la importancia que tiene la red vial de la república de Guatemala para el desarrollo de la economía y para facilitar las comunicaciones y el transporte de la población; además existe la necesidad de que la inversión en la construcción y mantenimiento de la red vial se realice utilizando las mejores tecnologías asfálticas y haciendo un uso eficiente de los recursos del Estado, mejorando la calidad y durabilidad de las carreteras de Guatemala.

3.3 Objetivo general

Realizar un análisis comparativo, financiero y ambiental, de la sustitución del asfalto convencional por el asfalto modificado, en los proyectos de inversión en pavimentación y bacheo en Guatemala, y su impacto en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado, período 2005-2012.

3.3.1 Objetivos específicos

- Realizar un estudio financiero histórico de la inversión pública en pavimentación y bacheo, utilizando la tecnología de asfalto convencional, incluyendo el análisis de inversiones durante el período 2005-2012, analizando presupuestos para mantenimiento de pavimentación y bacheo y su relación con el Producto Interno Bruto (PIB).
- Realizar un análisis financiero retrospectivo de la sustitución del asfalto convencional por asfalto modificado durante el período 2005-2012, incluyendo el análisis de costos, el cálculo del costo en tramo de prueba y la sustitución en presupuestos de costos con asfalto modificado; asimismo, realizando una proyección para un período de 8 años y su comparación con el promedio del PIB.
- Establecer los niveles de impacto ambiental en producción de gases de invernadero, comparativamente, entre el asfalto convencional y el asfalto modificado.

3.4 Hipótesis

El análisis comparativo, financiero y ambiental, del uso de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional, en proyectos de inversión en pavimentación y bacheo en Guatemala, permite determinar el impacto en costos, en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado, y con relación al Producto Interno Bruto

(PIB), período 2005-2012; asimismo, permite la medición del efecto en el impacto ambiental.

3.4.1 Especificación de variables

Variable independiente

Análisis comparativo, financiero y ambiental, del uso de asfalto modificado en sustitución del asfalto convencional.

Variables dependientes

- Determinación del impacto en costos, en el presupuesto general de ingresos y egresos del Estado, y con relación al Producto Interno Bruto (PIB), período 2005-2012;
- Medición del efecto en el impacto ambiental.

3.5 Diseño de la Investigación

El estudio es tipo descriptivo/exploratorio, que integra los sujetos de estudio y se comparan científicamente, se basa en fuentes secundarias en las que se demuestra la magnitud del problema, proponiendo extender el tiempo entre rehabilitaciones de las carreteras libres de mantenimiento, al menos el doble del desempeño con asfalto convencional a un costo ligeramente mayor por lo que su valor presente se reduce a la mitad en la inversión, comparado con el costo actual del asfalto convencional, así mismo se integran los aspectos técnicos, el análisis de las inversiones y cálculo de emisiones en producción.

3.6 Sujetos de la Investigación

Los sujetos de la investigación son: explicar los presupuestos de las inversiones públicas y el marco legal de la ley para carreteras. Explicar la reducción de emisiones utilizando tecnologías de asfaltos modificados.

3.7 Fuente secundaria

Este estudio se apoya en la acumulación de estudios de investigación que se han generado en E.E.U.U. y que describen las aplicaciones, durabilidad de los asfaltos, los presupuestos nacionales 2005-2012, Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes, así como estudios experimentales² en la implementación de la tecnología SUPERPAVE en Guatemala comprobando la durabilidad de los asfaltos modificados, teoría, técnicas: sistematización documental, análisis de resultados, herramientas: matrices cruzadas donde se registraron años y montos de las inversiones, observaciones de campo, comportamiento del asfalto convencional y el asfalto modificado comparado costos y durabilidad. Guía Metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas de COMANA de la república de Chile.

² Gallardo, M. d. (2013). Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emusión modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. Guatemala: CILA.

4. ESTUDIO FINANCIERO DE LA INVERSIÓN PÚBLICA REALIZADA EN PAVIMENTACIÓN Y BACHEO, UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE ASFALTO CONVENCIONAL

En el presente capítulo presenta los resultados del análisis financiero histórico de la inversión pública en pavimentación y bacheo, durante el período 2005-2012, incluyendo el análisis de presupuestos y su relación con el Producto Interno Bruto (PIB).

4.1 Análisis de las inversiones durante el periodo 2005 - 2012

Este estudio parte del análisis de la información presupuestaria de las inversiones en pavimentación y bacheo durante el periodo 2005 – 2012, estas cifras se comparan, se manejan y operan para obtener el porcentaje en relación al PIB, para obtener un indicador de lo que se presupuesta en pavimentación anualmente en la red vial del país. A continuación se presentan los valores del PIB Nacional obtenidos del Banco de Guatemala. Los valores que se utilizan son los valores a precios de cada año, debido a que se compararan con los presupuestos de cada año respectivamente.

Los valores de la tabla 17 están en función de dos formas de calcular el PIB, dado que la definición de PIB es el valor monetario de los bienes y servicios finales producidos por una economía en un periodo determinado.

Para separar el efecto de los cambios en los precios, tanto a nivel estructura, y analizar el comportamiento del PIB en un período de tiempo, se toma como referencia los precios de un año específico al cual se le denomina año base, y a este PIB se le denomina PIB Real, que en el caso de la tabla 17 se refiere a la fila del lado izquierdo “A precio de 2001”, siendo el año base el 2001.

El cálculo del PIB se realiza a precios corrientes y a precios constantes. El PIB Nominal indica que el valor de los diferentes componentes del mismo año fue realizado a precios vigentes de cada año.

Tabla 17: Producto Interno Bruto. Millones de Quetzales y variación porcentual, años 2005 – 2012

| AÑOS: 2005 – 2012 | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|--|------------------------------|-------------------|
| (Millones de quetzales y variación porcentual) | | | | | |
| AÑO | PIB | | | PIB | |
| | A precios de 2001 | | | A precios de cada año | |
| | Valores | Valor en % | | Valores | Valor en % |
| 2005 | 166,722.00 | 3.3 | | 207,728.90 | 9.1 |
| 2006 | 175,691.20 | 5.4 | | 229,836.10 | 10.6 |
| 2007 | 186,766.90 | 6.3 | | 261,760.10 | 13.9 |
| 2008 | 192,894.90 | 3.3 | | 295,871.50 | 13.0 |
| 2009 | 193,909.60 | 0.5 | | 307,966.60 | 4.1 |
| 2010 | 199,473.80 | 2.9 | | 333,093.40 | 8.2 |
| 2011 | 207,930.80 | 4.2 | | 371,278.00 | 11.5 |
| 2012 | 214,088.20 | 3 | | 393,529.00 | 6.0 |
| Promedio | | | | 300,132.95 | 9.55 |

Fuente: Banco de Guatemala

En este estudio se utiliza el PIB nominal en lugar del PIB Real, como indicador básico para relacionar los presupuestos de los años 2005-2012 año con año.

En la tabla 17, utilizando los valores “A precio de cada año” se puede observar cómo ha sido la producción de bienes y servicios durante el período 2005 a 2012, con un promedio de 9.55% durante este periodo, oscilando entre 13.9 en 2007 y

4.1 en 2009. Estos datos se utilizan como un comparativo para encontrar el porcentaje de los presupuestos destinados a pavimentación en relación al PIB.

4.2 Análisis de presupuestos para mantenimiento en pavimentación

Los presupuestos proporcionados por El Ministerio de Finanzas Públicas se refieren a las cantidades presupuestadas para pavimentación en toda la República de Guatemala, estas cifras proporcionan datos relevantes sobre los presupuestos durante el período 2005-2012 tales como los observados en tabla 18, el año donde más se ha presupuestado en carpeta asfáltica ha sido el año 2012 con Q. 1,649,326,166.00, equivalente a 0.42% en función del PIB del presupuesto de asfalto convencional para el período 2005-2012, seguido del 2009 con Q. 614,103,554.00 con 0.20% y los años que menor presupuesto reportan son el 2011 con Q. 80,757,489.00 con 0.02%, seguido del 2008 con Q. 86,161,863.00 equivalente a 0.03%.

La propuesta que este estudio presenta refiere a que las rutas donde más se invierte en infraestructura, se apliquen los asfaltos modificados, alcanzando así la meta del Programa Nacional de Competitividad (PRONACOM), que es Identificar proyectos prioritarios de infraestructura. (Anotación propia)

Este estudio proporciona una contribución a largo plazo en la identificación de proyectos prioritarios de infraestructura, y se ha determinado bajo estudio que la durabilidad de la infraestructura de carreteras de la red vial con SUPERPAVE o asfaltos modificados, sea al menos el doble de los actuales proyectos de asfaltos convencionales existentes en esas zonas. Y en referencia a los presupuestos por tonelada colocada de asfalto convencional por tonelada de asfalto modificado, no debe de exceder en 33% del costo original, que comparativamente sería lo que justificaría su sustitución. Esto es cuestión de visión de país, proyectar a largo plazo la infraestructura con tecnología de punta sustentable y debajo mantenimiento, para contribuir a la acumulación de capital físico. Una vez asfaltada la Red primaria con asfaltos modificados, o bien por ejemplo las tres

zonas principales donde más se ha hecho inversión en los últimos 8 años, estas podrían perpetuarse por más tiempo y destinar estos recursos no gastados en colocación de carpeta en la Red secundaria y terciaria, principalmente siguiendo el Programa de Competitividad, con referencia de asfaltar los accesos a la zonas turísticas. (Anotación propia)

Tabla 18: Inversión en pavimentación en la República de Guatemala durante el período 2005 – 2012 y su relación con el PIB

| Año | PIB en Q. | Presupuesto real de pavimentación en Q. periodo 2005-2012 | % en función del PIB del presupuesto asfalto convencional para el período 2005-2012 |
|-----------------|---------------------------|--|--|
| 2005 | 207,728,900,000.00 | 150,556,590.00 | 0.07 |
| 2006 | 229,836,100,000.00 | 361,262,638.00 | 0.16 |
| 2007 | 261,760,100,000.00 | 361,262,638.00 | 0.14 |
| 2008 | 295,871,500,000.00 | 86,161,863.00 | 0.03 |
| 2009 | 307,966,600,000.00 | 614,103,554.00 | 0.20 |
| 2010 | 333,093,400,000.00 | 513,402,796.00 | 0.15 |
| 2011 | 371,278,000,000.00 | 80,757,489.00 | 0.02 |
| 2012 | 393,529,000,000.00 | 1,649,326,166.00 | 0.42 |
| Promedio | 300,132,950,000.00 | 477,104,216.75 | 0.15 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015.

En referencia a los porcentajes de los presupuestos anuales en relación al PIB, tabla 18, se puede apreciar que las inversiones tuvieron un aumento a partir de 0.16 % en 2006 hasta 0.20 % en 2009 extendiéndose hasta 2012 en 0.42% siendo este año el que generó mayor presupuesto, sin embargo según el documento de CEPAL Crecimiento, infraestructura y desarrollo sostenible, debería

de ser de 3% del PIB, lo que revela este análisis es que efectivamente en promedio durante el período 2005-2012 se está presupuestando un promedio de 477.1 millones de quetzales por año, pero esto traducido a porcentaje es el 0.15% del PIB, según CEPAL la estimación de los requerimientos de nuevas inversiones en infraestructura en carreteras pavimentadas debería ser del 0.48 % del PIB. El 0.15% encontrado representa la tercera parte de lo sugerido por CEPAL para que exista crecimiento, infraestructura y desarrollo sostenible. Debido a que prácticamente esta inversión va destinada a los mismos caminos de la Red primaria y secundaria, la Red vial no crece pues se deteriora rápidamente.

Asimismo los estudios del Banco Mundial mencionan que la proporcionalidad de la inversión en infraestructura es de 1 % en relación al PIB, por lo que este mismo aumentará en 1%. Entonces en Guatemala, sí en promedio se ha invertido durante el periodos de 2005 a 2012 en 0.15% (Tabla 19) directamente en pavimentación o tramos de carreteras, el PIB nacional a su vez estaría aumentando 0.15% en promedio a nivel de la República durante 8 años y al duplicarse la durabilidad seria por los siguientes 8 años para completar 16 años si se empleara la tecnología SUPERPAVE o asfalto modificados, debido a como ya se ha mencionado la durabilidad de la carretera se incrementa en al menos el doble. Pero como ya se mencionó este crecimiento no se cumple en la actualidad, pues la red vial no crece únicamente se deteriora y se repara con un ciclo anual e interminable.

4.3 Análisis de presupuestos para mantenimiento en bacheo

En el caso del presupuesto para bacheo, aunque la información no esté completa, esta información permite observar que durante el periodo 2005 – 2012 (Tabla 19), en los años 2007, 2001 y 2012 no se encontraron datos verificables del presupuesto de cada año mencionado por lo que se procedió a asignar el mismo presupuesto al año anterior. El porcentaje de los presupuestos en función del PIB van desde 0.06% (Q. 132,493,880.00) en 2006 hasta 0.135% (Q. 416,268,137.00) para 2009,

manteniendo un promedio de Q. 184,940,002.08 o sea 0.05%, durante este periodo de 8 años.

Tabla 19: Presupuesto para bacheo en la República de Guatemala durante el período 2005 – 2012

| Año | PIB en Q. | Presupuesto real en bacheo para el período 2012-2015 | % en función del PIB del presupuesto para bacheo |
|-----------------|---------------------------|---|---|
| 2005 | 207,728,900,000.00 | 132,493,880.00 | 0.064 |
| 2006 | 229,836,100,000.00 | 139,367,297.73 | 0.061 |
| 2007 | 261,760,100,000.00 | 139,367,297.73 | 0.053 |
| 2008 | 295,871,500,000.00 | 268,443,307.00 | 0.091 |
| 2009 | 307,966,600,000.00 | 416,268,137.00 | 0.135 |
| 2010 | 333,093,400,000.00 | 13,700,093.00 | 0.004 |
| 2011 | 371,278,000,000.00 | 13,700,093.00 | 0.004 |
| 2012 | 393,529,000,000.00 | 13,700,093.00 | 0.003 |
| Promedio | 300,132,950,000.00 | 184,940,002.08 | 0.052 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015.

En promedio se destinan (0.05%) 184,9 millones de quetzales por año en reparaciones a lo largo de la red vial, según lo que estipula CEPAL debería presupuestarse 0.175%, esto es 0.125 menos de lo recomendado para mantenimiento y reposición. Como se mencionó la Red vial en toda la República se estaba deteriorando por no asignar presupuesto y no es hasta el año 2007 que se presupuestó mantenimiento para estas reparaciones, pero es en 2009 en donde más se presupuestó para cubrir esta necesidad con Q. 416,268,137.00, 0.13%, muy cercano a al 0.175% sugerido por CEPAL.

Tabla 20: Presupuesto para pavimentación y bacheo en la República de Guatemala durante el período 2005 – 2012

| Año | Presupuesto en Q. de bacheo del período 2005-2012 | Presupuesto real de pavimentación en Q. período 2005-2012 | Total de presupuestos bacheo y pavimentación en Q. período 2005-2012 | Relación de presupuesto de bacheo en relación al presupuesto de pavimentación |
|--------------|--|--|---|--|
| 2005 | 132,493,880.00 | 150,556,590.00 | 283,050,470.00 | 47% |
| 2006 | 139,367,297.73 | 361,262,638.00 | 500,629,935.73 | 28% |
| 2007 | 139,367,297.73 | 361,262,638.00 | 500,629,935.73 | 28% |
| 2008 | 268,443,307.00 | 86,161,863.00 | 354,605,170.00 | 76% |
| 2009 | 416,268,137.00 | 614,103,554.00 | 1,030,371,691.00 | 40% |
| 2010 | 13,700,093.00 | 513,402,796.00 | 527,102,889.00 | 3% |
| 2011 | 13,700,093.00 | 80,757,489.00 | 94,457,582.00 | 15% |
| 2012 | 13,700,093.00 | 1,649,326,166.00 | 1,663,026,259.00 | 1% |
| Prom. | 142,130,024.81 | 477,104,216.75 | 619,234,241.56 | 30% |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015.

La relación entre lo presupuestado para bacheo y lo presupuestado para pavimentación se puede calcular usando como cociente el presupuesto para pavimentación y bacheo, esto significa que en promedio el 30 % de todo el presupuesto de pavimentación (tabla 20) se destina para mantenimiento por deterioro o fatiga y no se destina a la expansión de la infraestructura en la República de Guatemala. En la tabla 20 se puede ver el acumulado de bacheo y pavimentación siendo el año 2009 el de mayor presupuesto.

Tabla 21: Presupuesto del programa de red vial pavimentación y bacheo como porcentaje del PIB

| Año | PIB en Q. | Total de presupuestos bacheo y pavimentación en Q. para el período 2005-20012 | % en función del PIB de los presupuestos de pavimentación y bacheo para el período 2005-2012 |
|-----------------|---------------------------|--|---|
| 2005 | 207,728,900,000.00 | 283,050,470.00 | 0.14 |
| 2006 | 229,836,100,000.00 | 500,629,935.73 | 0.22 |
| 2007 | 261,760,100,000.00 | 500,629,935.73 | 0.19 |
| 2008 | 295,871,500,000.00 | 354,605,170.00 | 0.12 |
| 2009 | 307,966,600,000.00 | 1,030,371,691.00 | 0.33 |
| 2010 | 333,093,400,000.00 | 527,102,889.00 | 0.16 |
| 2011 | 371,278,000,000.00 | 94,457,582.00 | 0.03 |
| 2012 | 393,529,000,000.00 | 1,663,026,259.00 | 0.42 |
| Promedio | 300,132,950,000.00 | 619,234,241.56 | 0.20 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015.

La tabla 21 ilustran como ha sido el presupuesto de pavimentación más bacheo durante el período 2005-2012 en relación del PIB de cada año, en promedio se destinó 0.20 % en función del PIB para el período 2005-2012. Este resultado si compara con lo que menciona el documento CEPAL, para que Latinoamérica tenga un crecimiento de 3 %, anual se debe de invertir 0.48 % del PIB anual en carreteras pavimentadas, pero Guatemala solo está presupuestando en promedio 0.20% de pavimentación más bacheo, esto en menos del 50% de lo sugerido por CEPAL.

Con este análisis se justifica hacer los modificar asfaltos, al encontrar que los actuales asfaltos convencionales necesitan un alto presupuesto para mantenimiento por bacheo. Pues el asfalto convencional necesita que se le presupueste 30% del presupuesto total de pavimentación en bacheo.

Por lo tanto se propone en este estudio destinar estos fondos (30%) a presupuestos con asfaltos modificados, para que esta inversión que se gasta en ciclos de bacheo se reasigne y llegue a las zonas no asfaltadas. Con este análisis se comprueba que al construir carreteras con tecnologías obsoletas, combinado con la vulnerabilidad ambiental y los procesos de colocación deficientes, el desarrollo económico no puede llegar de forma paulatina a todas las comunidades de la República de Guatemala, aminorando la contribución al incrementando el PIB nacional.

5. COMPARACIÓN EN COSTOS E INVERSIONES DEL ASFALTO CONVENCIONAL CON ASFALTO MODIFICADO

El presente capítulo expone los análisis realizados a la investigación respecto a confirmar la existencia de un efecto en las inversiones durante los años de 2005 a 2012, simulando dos escenarios, el primer escenario se refiere a los presupuestos reales por año y el segundo escenario simula los presupuestos con asfaltos modificados cuando su durabilidad se duplica con respecto al del asfalto convencional, debido a su grado de desempeño, proporcionando de esta forma respuesta al objetivo específico: Realizar un análisis financiero retrospectivo de la sustitución del asfalto convencional por asfalto modificado durante el período 2005-2012, incluyendo el análisis de costos, el cálculo del costo en tramo de prueba y la sustitución en presupuestos de costos con asfalto modificado; asimismo, realizando una proyección para el período 8 años y su comparación con el promedio del PIB.

5.1 Análisis de costos

A continuación se desarrolla el cálculo comparativo de los costos por tonelada puesta de asfalto convencional y asfalto modificado. La tabla 22 describe el cálculo de costos en un tramo de prueba de 200 m de asfalto modificado PG 76-22 comparando con los costos en un tramo de igual en longitud, ancho y espesor para asfalto convencional PG 64-22, esto para ser equitativo en función de sustituir los costos en los presupuestos anuales de pavimentación. La tabla 22 describe la relación entre los costos de ambas mezclas y la tabla 24 describe la combinación de la variable tiempo que en el caso del asfalto con PG 76-22 que se le asigna por observación en el campo al menos el doble de su vida útil en relación al asfalto PG 64-22. Únicamente se está analizando el doble de vida útil, pero el tramo de prueba ubicado en 12 calle zona 9 o Calle Montufar, ha experimentado una durabilidad de 5 años consecutivos (2010-2015), esto está por encima de la durabilidad del asfalto convencional, pues este tan solo duraría 2 dos años en

estas condiciones tan extremas, pues se debe de tomar en cuenta que esta sobre losas de concreto fracturadas por fatiga. A pesar que ha durado más del doble este estudio únicamente tomara en cuenta el doble periodos de desempeño. Se determinara el porcentaje diferencial entre la mezcla convencional y la mezcla modificada, este porcentaje se mantiene constate, como política de precios entre la Cámara Guatemalteca de la Construcción y el Gobierno de Guatemala y se mantiene constante a través de los años de este estudio para el período 2005-2012.

5.2 Cálculo de costo en tramo de prueba

Elaborada con información del Catálogo de reglones y precios unitarios de referencia, Gobierno de Guatemala y la Cámara Guatemalteca de la Construcción, 2013.

Longitud: 200 m

Ancho 7.6 m

Espesor 4 Cm

Densidad 2.40 TON/ m³ Densidad de la carpeta asfáltica con asfalto convencional

Densidad 2.40 TON/ m³ Densidad de la carpeta asfáltica con asfalto modificado

Espesor de la capa convencional y modificada: 0.04 m

Valor de la mezcla colocada con asfalto modificado PG 76-22: Q. 1250.00/Ton.

Valor de la mezcla colocada con asfalto convencional PG 64-22: Q. 950.00/Ton.

Debe de tomarse en cuenta el valor de la tonelada de asfalto convencional o modificado es el valor de la Tonelada Puesta, y esta se refiere costo total de material, transporte y colocación.

Relación de costos $(1250/950) \times 100 = 1.316\%$

Toneladas necesarias para colocar 200 m de mezcla convencional PG 64-22:

$$200 \times 7.6 \times 0.04 \times 2.40 = 145.92 \text{ TON}$$

Costos de mezcla convencional:

$$145.92 \times \text{Q. } 950.00 = \text{Q. } 138,624.00/\text{TON}$$

Toneladas necesarias para colocar 200 m de mezcla modificad PG 76-22:

$$200 \times 7.6 \times 0.04 \times 2.40 = 145.92 \text{ TON}$$

Costos de mezcla modificada:

$$145.92 \times \text{Q. } 1,250.00 = \text{Q. } 182,400.00/\text{TON}$$

Tabla 22: Cálculo de costo en tramo de prueba, 2013

| Longitud m | Espesor m | Ancho m | Densidad Ton/m ³ | Precio en Q. en Q. de la tonelada puesta de asfalto convencional PG 64-22 | Precio en Q. de la tonelada puesta de asfalto modificado PG 76-22 | Relación de Costos |
|---|--------------|--|--------------------------------|--|---|--|
| 200 | 0.04 | 7.60 | 2.40 | 950.00 | 1250.00 | 1.316 |
| Toneladas necesarias para colocar 200 m de mezcla convencional PG 64-22 | | Costo en Q. de carpeta convencional | | Toneladas necesaria para colocar 200m de mezcla modificada PG76-22 | | Costo en Q. de carpeta modificada |
| 145.92 | | 138,624.00 | | 145.92 | | 182,400.00 |

Fuente: Propia 2013. Elaborada con información del Catálogo de regiones y precios unitarios de referencia, Gobierno de Guatemala Cámara Guatemalteca de la Construcción, 2014.

Tabla 23: Comparación de Costos con Durabilidad, 2013

| | Costo (Q/ Ton Puesta) | Ton. Necesarias para tramo de 200 m | Costo total en Q. según tipo de asfalto | Durabilidad | Costo real en Q. para un período de 2 años | % de no gastado para 2 años |
|---|-----------------------|-------------------------------------|---|-------------------|--|-----------------------------|
| Mezcla convencional PG 64-22 | 950.00 | 145.92 | 138,624.00 | 2 años | 138,624.00 | |
| Mezcla modificada PG 76-22 | 1,250.00 | 145.92 | 182,400.00 | 2 años | 91,200.00 | |
| | | | | No gastado | 47,500.00 | 34% |
| Relación de costos asfalto convencional y modificado | | | | | $\frac{91,200}{138,624}$ | 65.79% |

Fuente: Propia 2013. Elaborada con información del Catálogo de reglones y precios unitarios de referencia, Gobierno de Guatemala Cámara Guatemalteca de la Construcción, 2014.

El costo de la mezcla asfáltica modificada ya colocada resulta hasta 32 % más alto que el costo de la mezcla convencional, debido a la adición de polímeros y por el aumento de la temperatura por quema de combustible diesel, para la dispersión de estos en el asfalto, con un ciclo de vida experimental observado.

Comparando ambos costos en un tramo de 200 metros, tanto para el asfalto convencional PG 64-22 y el asfalto modificado PG 76-22, utilizando en ambos 146 toneladas, el costo para el tramo de prueba es de Q. 182,400 de asfalto modificado y Q. 138,624.00 para asfalto convencional. Al dividir Q. 182,400 entre 2 periodos de duración, este da un costo por período de 2 años de Q. 91,200, lo que significa que el mismo tramo para un período de dos años tiene un costo de 66%, con respecto al costo que costaría un periodo de dos años con asfalto convencional. Esto se puede observar de forma detallada en las tablas 23. (Con esta base de cálculo se calculan las tablas 31 y 32 de Anexos)

5.3 Cálculo de los presupuestos para el mismo período 2005 – 2012 sustituyendo los presupuestos con los costos de asfalto modificado

A continuación se muestran la tabla 24, haciendo referencia a los presupuestos durante el período 2005 a 2012 para asfalto convencional y modificado en porcentajes del PIB, datos obtenidos de la tabla 18, acompañado con el porcentaje en función del PIB de presupuestado con asfalto modificado del período 2005-2012, utilizando la base cálculo para cada año del período, que se operó en la sección anterior 5.2 Calculo de costos en tramo de prueba, y presentado en porcentaje en función del PIB, los cálculos de estos porcentajes se presenta en el anexo tabla 31 Base cálculo para la determinación de presupuestos con asfalto modificado.

Tabla 24: Comparativa de las inversiones presupuestas para carreteras en función del porcentaje del PIB usando asfalto convencional comparativamente con la inversión proyectada con asfalto modificado

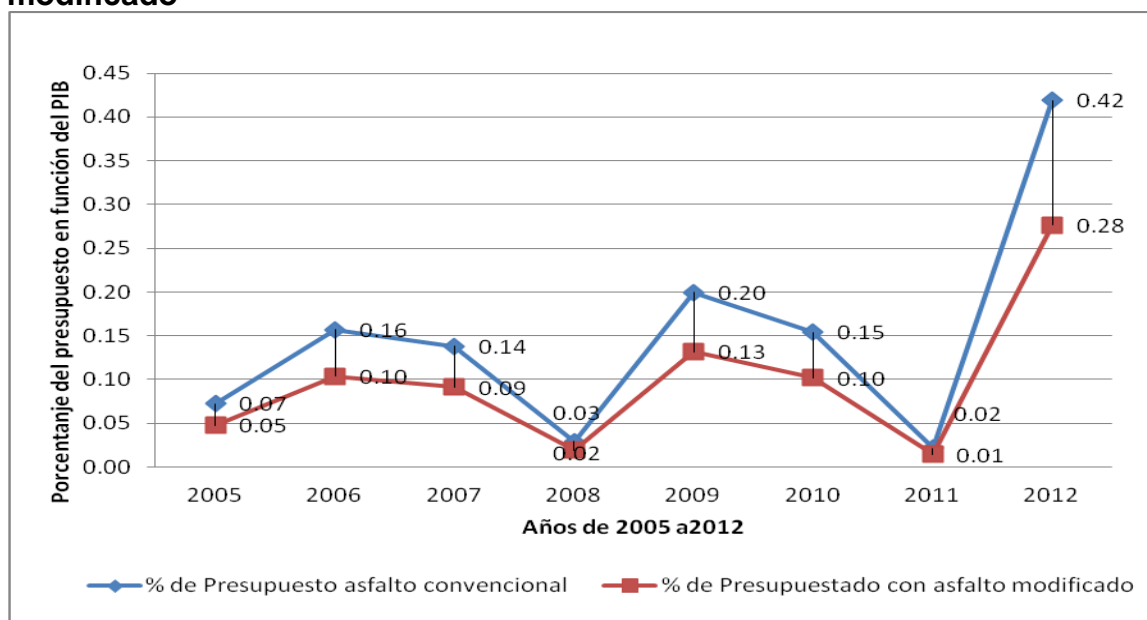
| Año | % en función del PIB del presupuesto asfalto convencional para el período 2005-2012 | % en función del PIB de presupuestado con asfalto modificado para el período 2005-2012 |
|-----------------|--|---|
| 2005 | 0.07 | 0.05 |
| 2006 | 0.16 | 0.10 |
| 2007 | 0.14 | 0.09 |
| 2008 | 0.03 | 0.02 |
| 2009 | 0.20 | 0.13 |
| 2010 | 0.15 | 0.10 |
| 2011 | 0.02 | 0.01 |
| 2012 | 0.42 | 0.28 |
| Promedio | 0.15 | 0.10 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015

Los datos del asfalto modificado que se presentan en la tabla 24, están operados a partir de multiplicar 65.79% por los datos del presupuesto de asfalto convencional, y encontrando el promedio de 0.15% de periodo en función del PIB, comparativamente se muestra cuánto cuesta un periodo de asfalto convencional

relacionado con el promedio del presupuesto de asfalto modificado, 10%, todo en porcentaje en función del PIB nacional. Los promedios calculados en las tablas 31 y 32 en anexos, dan como resultado la diferencia de lo que deja de gastar por periodo, El promedio de los presupuestos del asfalto convencional 0.15% Q. 477,104,216.75 menos el promedio de los presupuesto de asfalto modificado 0.10% Q. 313,884,353.13 es igual a un promedio de Q. 163,219,863.63 equivalente a 0.05 % anuales en función del PIB por sustitución de tecnología.

Grafica 5: Comparativa de las inversiones presupuestadas para carreteras en función del porcentaje del PIB usando asfalto convencional comparativamente con la inversión proyectada con asfalto modificado



Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas y Cámara Guatemalteca de la Construcción. 2013.

Al graficar los datos porcentuales de la tabla 24, se genera como resultado la gráfica 5, observándose un comportamiento con tendencia cíclica de los presupuestos. Claramente se puede observar que el área entre las curvas corresponde al promedio 0.05%, este promedio equivalente a la inversión que se hiciera con asfalto convencional en los años 2008 con 0.03% más 2011 con

0.02%. Lo que demuestra claramente que este 0.05% no gastado podría ser reasignado en vías o carreteras de la red vial terciaria o no pavimentadas, llevando de esta forma desarrollo a comunidades en donde la pobreza es un factor importante por falta de acceso a la comunidad y a áreas turísticas.

Con respecto al porcentaje del PIB total invertido en pavimentación durante el período 2005-2012, lo importante a resaltar es que durante estos 8 años el bacheo se reduciría al mínimo y no habría por que invertir en las mismas carreteras o rutas, sino que la inversión si bien sigue en el mismo gradiente positivo, se aplicaría a otras áreas que a su vez impulsarían el PIB nacional, en el mismo grado del valor de lo no gastado y/o presupuestado, esto es 0.05% del PIB.

Tabla 25: Comparativa de presupuesto de pavimentación más bacheo y presupuesto con costos de asfalto modificado

| Año | Total de presupuestos bacheo y pavimentación en Q. período 2005-2012 | Sustitución de presupuesto con asfalto modificado en Q. Con duración hasta 2020. |
|-----------------|---|---|
| 2005 | 283,050,470.00 | 198,100,776.32 |
| 2006 | 500,629,935.73 | 475,345,576.32 |
| 2007 | 500,629,935.73 | 475,345,576.32 |
| 2008 | 354,605,170.00 | 113,370,872.37 |
| 2009 | 1,030,371,691.00 | 808,030,992.11 |
| 2010 | 527,102,889.00 | 675,529,994.74 |
| 2011 | 94,457,582.00 | 106,259,853.95 |
| 2012 | 1,663,026,259.00 | 2,170,166,007.89 |
| Promedio | 619,234,241.56 | 627,768,706.25 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015

Ahora bien pasando a comparar el costo real en función del VPN de cada asfalto, la tabla 25 anterior muestra en promedio que la suma de los presupuestos de pavimentación más los presupuestos de bacheo Q. 619,234,241.56 son equivalentes al costo total de presupuestar hipotéticamente con asfalto modificado

Q.627,768,706.25 durante el mismo período 2005-2012. Calculado en Anexos tabla 35.

Tabla 26: Comparativa de presupuesto de pavimentación más bacheo y presupuesto con costos de asfalto modificado en porcentajes del PIB

| Año | % en función del PIB de los presupuestos de pavimentación y bacheo para el período 2005-2012 | % en función del PIB Sustitución de presupuesto con asfalto modificado en Q. Con duración hasta 2020. |
|-----------------|--|---|
| 2005 | 0.14 | 0.10 |
| 2006 | 0.22 | 0.21 |
| 2007 | 0.19 | 0.18 |
| 2008 | 0.12 | 0.04 |
| 2009 | 0.33 | 0.26 |
| 2010 | 0.16 | 0.20 |
| 2011 | 0.03 | 0.03 |
| 2012 | 0.42 | 0.55 |
| Promedio | 0.20 | 0.20 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015

Como muestra la tabla 26 en promedio los presupuestos del periodo 2005-2012 en porcentajes del PIB son iguales (Anexos tabla 36), por lo que esto se interpreta como: al emplear asfalto convencional se debe de presupuestar un 30 % más en bacheo o mantenimiento debido a su bajo desempeño, lo que equivale a 1.30% del costo de pavimentación más el costo de bacheo, el porcentaje promedio de las inversiones en relación al PIB o sea 0.20%, al presupuestar mejores carreteras con asfaltos modificados su valor se incrementa en 32% o bien 1.32% en relación al asfalto convencional y la relación al sustituir el presupuesto con asfalto modificado es 0.20% con respecto al PIB, en otras palabras decidir presupuestar asfalto convencional y asfalto modificado es igual en presupuesto con la diferencia que el asfalto modificado dura al menos el doble que el asfalto convencional.

Tabla 27: Lo no gastado al sustituir tecnología en cifras y porcentajes en función del PIB

| Año | PIB 2005-2013 en millones | Lo no gastado en el período 2005-2012 al sustituir tecnología en millones | % de lo no gastado en función del PIB de al sustituir tecnología el período 2005-2012 |
|-----------------|----------------------------------|--|--|
| 2005 | 207,728.90 | 103.01 | 0.05% |
| 2006 | 229,836.10 | 247.18 | 0.11% |
| 2007 | 261,760.10 | 247.18 | 0.09% |
| 2008 | 295,871.50 | 58.95 | 0.02% |
| 2009 | 307,966.60 | 420.18 | 0.14% |
| 2010 | 333,093.40 | 351.28 | 0.11% |
| 2011 | 371,278.00 | 55.26 | 0.01% |
| 2012 | 393,529.00 | 1,128.49 | 0.29% |
| Promedio | 300,132.95 | 326.44 | 0.10% |

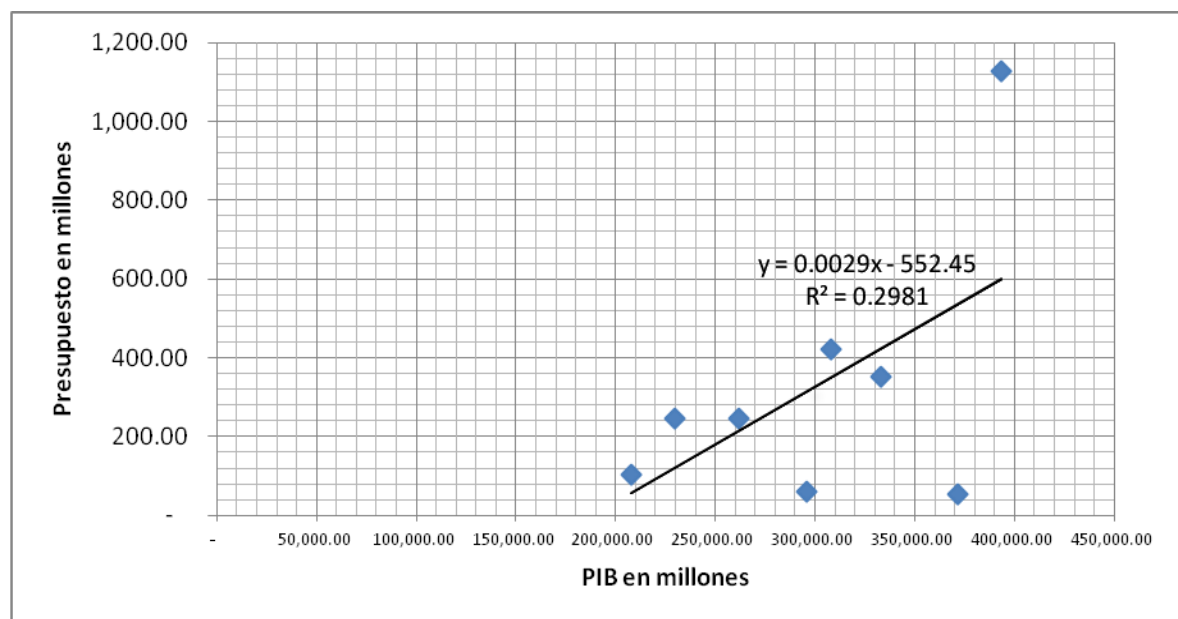
Fuente: Propia 2013. El borado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015

La tabla 27 muestra una simulación de presupuesto utilizado asfalto modificado en vez de asfalto convencional para el periodo 2005-2012, lo no gastado haciende en promedio a 326.44 millones de quetzales, 0.10 % en función del PIB. (Datos obtenidos de las tablas 31 y 32 de Anexos al multiplicar por 2, debido a que se duplica la durabilidad) Utilizando el método de mínimos cuadrados con los valores de la tabla 27 PIB 2005-2012 en millones y lo no gastado para el mismo período, se proyectara los presupuestos con asfalto modificado para los siguientes 8 años, como se desconoce el PIB de los siguientes 8 años se toman como base el PIB de

los 8 años anteriores, encontrando la función $y = 0.0029x - 552.45$ (Gráfica 6) para pronosticar la cantidad presupuestada por año y así encontrar el promedio de todos los años. De tal forma que estos montos illustren como pueden ser invertido lo no gastado en el período 205-2012 en el siguiente periodo de 8 años, al sustituir la tecnología de los asfaltos, para pavimentar y expandir la Red vial secundaria y terciaria.

Se hace la aclaración, que lo ejemplificado en este estudio, es una proyección de ahorro en el gasto público al sustituir tecnología. Además se hace la aclaración que no es un modelo de presupuesto.

Gráfica 6: Grafica de Proyección de Presupuesto para un período de 8 años



Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015

Tabla 28: Pronostico de lo no gastado en el período 2005-2012 para ser utilizado en un período de 8 años

| Año | Pronostico de lo no gastado en el período 2005-2012 para ser utilizado en un período de 8 años. |
|-----------------|--|
| 1 | 55.85 |
| 2 | 120.59 |
| 3 | 214.07 |
| 4 | 313.96 |
| 5 | 349.38 |
| 6 | 422.96 |
| 7 | 534.78 |
| 8 | 599.93 |
| Promedio | 326.44 |

Fuente: Propia 2013. Elaborado con información de la Contaduría General de Cuentas del Ministerio de Finanzas Públicas 2,015

La tabla 28 muestra los datos proyectados para el periodo de 8 años siguientes al sustituir la tecnología de los asfaltos, observándose una distribución más uniforme según sea el PIB a futuro y obteniéndose un promedio de 326.44 millones por año a ser invertido en pavimentación, que por sugerencia de este estudio, se podría aplicar en la red secundaria y terciaria, llevando así el desarrollo a las comunidades más aisladas. Y de esta forma siguiendo el Programa de Competitividad, con referencia a asfaltar los accesos que faciliten la comunicación regional y entre cabeceras de departamentos contiguos a así como municipios y

aldeas, sin olvidar las zonas turísticas. Lo que contribuye de esta forma a la acumulación de capital físico.

6. COMPARACIÓN DE EMISIONES EN LA PRODUCCIÓN DEL ASFALTO CONVENCIONAL Y ASFALTO MODIFICADO

El presente capítulo presenta los resultados de la investigación y análisis realizados con respecto a determinar el impacto ambiental del gas de invernadero CO₂, comparando el CO₂ producido durante la realización del asfalto convencional con respecto al asfalto modificado. En este capítulo se da respuesta al objetivo: Establecer los niveles de impacto ambiental en producción de gases de invernadero, comparativamente, entre el asfalto convencional con el asfalto modificado.

6.1 Cálculos de CO₂ a partir de diesel quemado en producción

Para el análisis de este estudio para encontrar un criterio mediante la comparación de las emisiones de las mezclas modificadas y convencionales, se tomaron datos reales de producción en el consumo anual de diesel de la caldera que proporciona calor en las modificaciones del asfalto, pues este proceso es el único extra durante la producción, entre una mezcla de asfalto modificado comparado con un asfalto convencional.

A partir de la Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles de Chile, que se refiere al cálculo de emisiones de CO₂, se utiliza el factor correspondiente para ingresarlo en la ecuación 2:

$$E = [Fe * Na / 1000].$$

Fuente: (CONAMA, 2009)

Dónde: E: Emisión, Fe: Factor de emisión, Na: Nivel de actividad diaria, semanal y mensual de la fuente estimada.

Descrita en el numeral 2.6 del Marco Teórico; Cálculo de emisiones: se calculan las emisiones de CO₂ en un lote de asfalto modificado, así mismo se calculan las emisiones de CO₂ en la producción de las mezclas, entonces a partir de los ejemplos expuestos y usando la ecuación 2, se sustituyen los datos reales de producciones anuales y factores de emisión de la tabla 11, determinando el equivalente de CO₂ producido por la quema de diesel.

Aunque la marca de la caldera en la planta no es la misma del ejemplo lo importante es la cantidad de diesel consumido anualmente y a partir de este dato se hace el cálculo.

Caldera industrial a petróleo diesel Fuente: Caldera industrial tipo Igneotubulares cilíndrica horizontal. Estimando una producción diaria de con 12 meses al año de operación y 6 días a la semana se tendrá 6 días x 4 semanas x 12 meses = 288 días/año, tomando el dato real de consumo diario de la caldera 158 g/día, donde la fuente fue proporcionada por Pavimentos de Guatemala S.A. entonces: 158 gl/día X 288 días/año = 45,504 gl/año equivalentes a 172,232.64 l/año.

Cálculo de emisión de CO₂ en la quema de diesel en calentador de aceite térmico

A partir de una caldera marca: SERVIMET, Modelo: MIX200VGI, Combustible: petróleo diesel, Equipo control: NO. Consumo de combustible declarado D.S. 138/2005, MINSAL: Cálculo de emisión de CO₂ a partir de 172,232.64 l/año, Densidad del diesel considerada: 0,84 kg/l. Dado que la fuente no cuenta con equipo de control de emisiones, la aplicación de la fórmula general es la siguiente:

$$E = (3.12 * 172,232.64 \text{ l/año} * 0,84 \text{ kg/l}) / 1000, \text{ en t/año de emisión.}$$

Dónde: E: Emisión, Fe: Factor de emisión = 3.12 (tabla 11), Na: Nivel de actividad diaria = , 172,232.64 l/año semanal

$$\mathbf{E = 451.38 \text{ t/año CO}_2}$$

A partir de 172,232 litros de combustibles utilizados en las producciones de 6,000 galones de asfalto modificado por día, que es la capacidad instalada de la plata, o sea $6,000\text{gl} \times 288\text{día/año} = 1,728,000$ galones de asfalto modificado por consumo de 172,232 litros de diesel; genera un total de 451.38 toneladas anuales de CO_2 .

En relación a la producción de la mezcla convencional o modificada no existen diferencias en la producción en una planta de asfalto de producción continua, por lo que el cálculo que propone la guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles, es posible la estimación de las toneladas de CO_2 producidas durante el año, a partir de los 1,728,000 gl de asfalto modificado, partiendo que cada tonelada de mezcla asfáltica consume 12 gl de asfalto, serán entonces $1,728,000\text{gl} / 12\text{gl} / \text{ton} = 144,000$ Toneladas anuales de mezcla asfáltica, las cuales pueden ser mezcla convencional o mezcla modificada. (anotación propia) Y partiendo del consumo real promedio anual en una planta continua el cual es de 1.7 galones de diesel por tonelada de mezcla producida es posible calcular las emisiones de CO_2 , esto da $144,000\text{ Ton} / \text{año} / 1.7\text{ galones diesel} = 244,800$ galones de diesel al año sustituyendo estos datos en el siguiente inciso.

6.2 Cálculo de emisión de CO_2 en la quema de diesel en planta continúa de asfalto

Usando un Horno Secador Rotatorio, Marca: Cifali, Modelo: Súper Cifali, Combustible: Petróleo Diesel, Equipo control: Filtro de mangas, Producción anual declarada D.S. 138/2005 MINSAL: 70,000 t/año. (Ambiente, 2009)

Dado que los factores de emisión consideran que la fuente cuenta con equipo de control de emisiones la aplicación de la fórmula No. 2 es la siguiente:

$$E = (16.5 * 144,000\text{ t/año})/1000, \text{ en t /año de emisión}$$

Dónde: E: Emisión, Fe: Factor de emisión = 16.5 (tabla 8), Na: Nivel de actividad diaria = 144,000 t/año semanal

$$E = 2,376 \text{ Ton/año de CO}_2$$

Tabla 29: Comparación de toneladas de CO₂ producidas a partir de 144,000 toneladas de mezcla producida en un año

| | | | |
|---|--|---|--|
| Ton de CO ₂ producidas en la producción de mezcla convencional | Ton CO ₂ producidas en la modificación de asfalto | Ton de CO ₂ producidas en la producción de mezcla modificada | Ton de CO ₂ totales de la producción de mezcla modificada |
| 2,376.00 | 451.38 | 2,376.00 | 2,827.38 |
| Ton de CO ₂ producidas en la producción de mezcla convencional | Ton de CO ₂ totales de la producción de mezcla modificada | TON de CO ₂ La durabilidad del asfalto modificado al menos es el doble en el mismo tramo | Diferencia en NO emisiones para el mismo tramo carretero |
| 2,376.00 | 2,827.38 | 1,413.69 | 40.50% |

Fuente: Elaboración propia con los datos de los cálculos de reducción de emisiones CO₂.

Después de calcular las producciones de asfalto convencional y asfalto modificado, se puede observar en la tabla 29, que la toneladas de CO₂ emitidas por la producción de asfalto modificado son mayores que las producidas por la mezcla convencional. Al igual que el cálculo de los costos mencionados en la sección 5.2, se demostró que debido a la durabilidad de los asfaltos modificados el VPN se reduce, por lo que el cálculo de emisiones ira en esta misma línea de tiempo, reduciéndose hasta 40% las emisiones de CO₂, lo cual corresponde a $2,827 / 2 = 1413$ toneladas CO₂ anuales, comparativamente equivalentes a las toneladas de CO₂ producidas en la mezcla convencional 2,376 toneladas de CO₂, para el mismo tramo carretero. Confirmando que la comparación de las emisiones de CO₂ durante la producción de mezclas asfálticas con un PG 64-22 comparado con la producción de asfalto con un PG 76-22, inicialmente son mayores para el

asfalto PG 76-22, pero al duplicarse la durabilidad del pavimento da como resultado una disminución de hasta 40% no emisiones de CO₂ para el mismo tramo de carretera.

7. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A partir del capítulo 4, se determinó mediante el análisis de los presupuestos históricos para pavimentación, bacheo y análisis ambiental, cuatro importantes resultados, El primero de ellos se refiere a la inversión que se realiza en el mantenimiento de la red vial es cuantiosa. Durante el período 2005-2012, se invirtieron un total de Q 4,953.9 millones en pavimentación y bacheo. En Pavimentación la inversión fue de Q 3,816.8 millones y en bacheo de Q 1,137.0 millones. En promedio anual, se han gastado en pavimentación Q 477.1 millones y en bacheo Q 142.1 millones lo que equivale a 30% en relación al presupuesto para pavimentación. El problema de la pavimentación y bacheo es la escasa duración del asfalto convencional o bitumen; sin embargo, el mismo se ha utilizado por años.

A partir del capítulo 5 se determinó el segundo resultado el segundo de resultado, y este se determinó al igualar los presupuestos de asfalto convencional más los presupuestos de bacheo (619.23 millones de quetzales) con los presupuestos hipotéticos de los asfaltos modificados (627.76 millones de quetzales), estos presupuestos se incrementa con relación al asfalto convencional en 1.30 y 1.32% respectivamente, obteniéndose además una relación promedio con respecto al PIB de 0.20% en ambos casos.

El tercer resultado se encontró partiendo de la base técnica, determinando el verdadero costo de una inversión con asfalto convencional y asfalto modificado, realizando la comparación con el presupuesto anual y comparado con el porcentaje del PIB nacional, determinándose un promedio de 0.05% de lo no gastado, al sustituir los presupuestos de los asfaltos convencionales por los presupuestos hipotéticos con asfaltos modificados.

En el sexto capítulo se determinó el cuarto resultado, que se refiere a la reducción de emisiones CO₂ en 40%, al duplicarse la durabilidad de la obra. La información antes descrita se puede apreciar de forma resumida en la tabla 30.

Tabla 30: Hallazgos

| | |
|---|--------|
| Relación bacheo/pavimentación | 30.00% |
| Incremento en el costo del asfalto modificado | 32.00% |
| No gastado % función del PIB Nacional | 0.05% |
| Reducción de emisiones CO ₂ | 40.00% |

Fuente: Elaboración propia con los datos de los cálculos de estabilidad Marshall, reducción de emisiones CO₂ ahorro en porcentaje del PIB.

Dando respuesta a la hipótesis: El uso de tecnologías constructivas viales de larga duración tiene un impacto positivo en desempeño en los indicadores de inversión en infraestructura en el largo plazo para Guatemala. Después de realizado este análisis y sobre todas las bases técnicas, ambientales y de presupuesto que se detallan, es posible responder a la hipótesis al determinar que el impacto en los indicadores de inversión en infraestructura es positivo como su impacto ambiental, desde los cuatro resultados mencionados anteriormente.

Lo anteriormente expuesto se comprende como priorizar la sustentabilidad de la Red primaria con tecnología SUPERPAVE para que la Red terciaria se beneficie y active con las inversiones no gastadas al sustituir la tecnologías de los asfaltos, puesto que el 34% de la red vial son 5,127 kilómetros de caminos que están sin asfaltar, al cual hay que añadir 3,642 kilómetros de caminos rurales, que de ser pavimentados, se lograría el tan anhelado desarrollo económico para las áreas rurales y turísticas. Lo que contribuye de esta forma a la acumulación de capital físico.

CONCLUSIONES

Como resultado del estudio la hipótesis fue comprobada siguiendo el marco de objetivos del estudio e instrumentos metodológicos. A continuación se presentan las conclusiones finales de la investigación de los cuatro aspectos sujetos de estudio y comprobación:

1. Es posible confirmar la hipótesis después de realizado este análisis sobre todas las bases técnicas, ambientales y de presupuesto que se detallan, determinando que el impacto en los indicadores de inversión en infraestructura es positivo, desde los tres objetivos específicos con la implementación de tecnología SUPERPAVE o asfaltos modificados, este impacto en los presupuestos de ingresos y egresos de pavimentación es en promedio 0.05 % en relación al PIB para el período 2005-2012, así mismo se determinó que existe una reducción en la emisión de CO₂ de 40% al duplicarse la durabilidad.
2. El estudio financiero histórico para pavimentación y bacheo confirmo que utilizar la tecnología de asfalto convencional implica realizar un presupuesto para bacheo equivale al 30% con respecto a los presupuestos para pavimentación para el período 2005-2012. La relación de presupuesto en este mismo período para pavimentación con respecto al PIB es 0.15% y la relación para bacheo con respecto al PIB es de 0.05%.
3. Este estudio confirmo que el costo de la tonelada puesta de asfalto modificado rebasa al costo actual del asfalto convencional en 32%, asimismo confirmo que la relación entre el presupuesto de bacheo y pavimentación es de 30%, por lo que los presupuestos de asfalto convencional más el presupuesto para bacheo del periodo 2005-2012 igualan al promedio del presupuesto hipotético con asfalto modificado para el período 2005-2020.

4. Este estudio confirma que la comparación de las emisiones de CO₂ durante la producción de mezclas asfálticas con PG 64-22 comparado con un PG 76-22, inicialmente son mayores para el asfalto PG 76-22, pero al duplicarse la durabilidad del pavimento da como resultado una disminución de hasta 40% las emisiones de CO₂ para el mismo tramo de carretera.

RECOMENDACIONES

1. Luego de finalizado este estudio se recomienda que las autoridades gubernamentales, municipales y universidades asuman una posición frente a las implicaciones de un enfoque constructivo que tiene impacto en las variables macroeconómicas en el largo plazo de los resultados reportados en este trabajo, de tal manera que a Nivel Meta, Macro, Meso y Micro, Guatemala desarrolle una economía sustentada en la acumulación de capital físico para que se beneficie directamente el sector social, productivo y transversal, por medio del sector infraestructura. Puesto que la infraestructura condiciona directamente el crecimiento económico y social de Guatemala, como país se ha de disponer de una infraestructura sustentable y eficiente que genere directamente crecimiento económico para que estos sectores se beneficien como parte de una misión de política pública.
2. Lo anteriormente expuesto se comprende como priorizar la sustentabilidad de la red primaria con tecnología SUPERPAVE para que las redes secundaria y terciaria se beneficien y active con inversiones derivadas de estos ahorros que normalmente se destinaria a los mantenimientos de la red primaria, puesto que el 34% de la red vial son 5,127 kilómetros de caminos que están sin asfaltar, al cual hay que añadir 3,642 kilómetros de caminos rurales, que de ser pavimentados, se lograría el tan anhelado crecimiento económico para las área rurales. De tal forma que la visión del PRONACOM en construir la estrategia a largo plazo del sistema de transporte se llevaría a cabo y principalmente siguiendo el Programa de Competitividad, con referencia de asfaltar los accesos a la zonas turísticas, es por esto que se recomienda que esta institución sea enterada de los

beneficios de este estudio y sea compartida en los futuros proyectos de gobiernos de turno.

3. Otro aspecto relevante a mencionar es que esta tecnología de SUPERPAVE ha demostrado ser tecnología de larga duración aventajando comparativamente a los pavimentos de concreto hidráulico, utilizada además para la preservación del mismo, por lo que no se descarta la utilización de estos pavimentos en los caminos construidos con pavimentos de concreto hidráulico, debido a que la tecnología SUPERPAVE rebasa el tiempo para el cual se diseñan los pavimentos de hormigón y que resultan ser excesivamente altos en costos, y que por la fragilidad de la topografía nacional no son una solución por su alta rigidez.
4. A pesar de que se cuenta con una ley regulatoria para los asfaltos modificados, se carece de información técnica por parte de las instituciones gubernamentales, así mismo se carece de información macroeconómica para la toma de decisiones a largo y mediano plazo en relación a la tecnología sustitutiva SUPERPAVE, que por su efecto crea mayor sustentabilidad en la infraestructura y por consiguiente se genera desarrollo para el país como ya se ha dicho, además en el ámbito ambiental la tecnología SUPERPAVE contribuye en disminuir la contaminación en la producción de estos asfaltos para el mismo tramo carretero, por esto se recomienda que los resultados y conclusiones de la investigación sean proporcionados a las autoridades que toman decisiones en los gobiernos de turno.

BIBLIOGRAFÍA

1. CONAMA (Comisión Nacional de Medio Ambiente) 2009. Guía Metodológica para la estimación de emisiones de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes. Chile. p.18-34.
2. Peláez, A (2011). Inversión en infraestructura pública y reducción de la pobreza en América Latina. (en línea), Rio de Janeiro, consultado en agosto 2014, p 90-96. Disponible en: http://www.kas.de/wf/doc/kas_29022-1522-1-30.pdf?111114153021
3. Baca, G. (2010) Evaluación de Proyectos. 6 ta. Edición, México, MacGraw Hill, p 20, 21, 22, 40, 276.
4. Bayer. (2014). Bayer está contribuyendo en la construcción de carreteras de alto desempeño. Ciencia para una mejor vida. Consultado en julio de 2014. Disponible en: <http://www.bayer-ca.com/noticias-regionales/?Noticia=99&Action=View>.
5. Besley, S (2009) Fundamentos de administración financiera. 14 a. Edición, México. p 353, 358, 405 y 406.
6. Blanchard, O. (2012) Macroeconomía, 5 ta edición, España, Pearson, p 648.
7. D.G.C. (Dirección General de Caminos) (2001). Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. Guatemala. p. 411-1 - 411-5
8. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL) (2010). Crecimiento, infraestructura y crecimiento sostenible. Consultado en mayo 2013. Disponible en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/14980/DGE-2234-Cap4.pdf>

9. Horngren, C. (2012). Contabilidad de costos. Un enfoque gerencial. p.27 México. Pearson. p 27.
10. CIEN (Centro de Investigaciones Económicas Nacionales)(2011). Infraestructura en Guatemala. Guatemala, consultado en Enero 2014. Disponible: http://www.mejoremosguate.org/cms/content/files/diagnosticos/economicos/Infraestructura_en_Guatemala_06-01-2011.pdf.
11. Newcom, D. APA (Asphalt Aliance) (2002). Perpetual Asphalt Paviments. A sintesys EEUU. Disponible en [www. asphatalliance.com](http://www.asphatalliance.com)
12. Gallardo, M. CILA Congreso ibero Latino Americano (13 noviembre Guatemala) (2013). Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. Ponencia IAG 26-04-2013.
13. AI (Asphalt institute), (1998). Superpave. Traducido por: Instituto Panamericano de Carreteras, USA. p 11-85.
14. Lavalle, J. (2010). CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL) Instituciones e instrumentos para el planteamiento gubernamental en América Latina. México.
15. Morales, S. 2013. Ampliarán ruta a occidente. Prensa Libre, Guatemala, GT, agosto 8.
16. Peláez, A. Inversión en infraestructura pública y reducción de la pobreza en América Latina. Disponible en: https://www.kas.de/wf/doc/kas_29022-1522-1-30.pdf?111114153021
17. Pinelo, M (2007) Los gases de efecto invernadero:¿Por qué se produce el calentamiento global?. Perú. Labor.

18. Joseph S. (1981). Combustion, fossil power system. Third edition. Editor. Joseph G. Singer. USA: Rand McNally. p D-5..

Bibliográfica de referencia

19. Anguas, P. 2005. Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas, México, Disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt271.pdf>
20. CEPAL,(Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL) Crecimiento, infraestructura y desarrollo sostenible, Capitulo 4.Disponible en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/0/14980/DGE-2234-Cap4.pdf>
21. Wulf, FA. 2008. Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Ingeniero Civil. Chile. Universidad Austral de Chile, Escuela de Construcción Civil. p. 9-80.
22. Cifuentes, E. (2009) La aventura de Investigar: El Plan y la Tesis. 3 3ra. Edición. Guatemala.
23. Hernández, R. (2010) Metodología de la Investigación.5 Edición. McGraw Hill. México.
24. Avella Cruz, 2007 Asfaltos modificados con polímeros. Guatemala. Ingeniero Civil. Guatemala, Escuela de Ingeniería Civil, USAC. p 63.
25. PRONACOM (Programa Nacional de competitividad) 2006. El potencial competitivo de Guatemala. p. 17-20.
26. Vásquez R. Idalit, (2010) Ventajas y desventajas de uso de polímeros en los asfaltos. México.

ANEXOS

Tabla 31: Base cálculo para la determinación de presupuestos de pavimentos con asfalto modificado

| Año | PIB en Q. | Presupuesto real de pavimentación en Q. periodo 2005-2012 | % en función del PIB del presupuesto asfalto convencional para el periodo 2005-2012 |
|----------------------|---------------------------|---|---|
| 2005 | 207,728,900,000.00 | 150,556,590.00 | 0.07 |
| 2006 | 229,836,100,000.00 | 361,262,638.00 | 0.16 |
| 2007 | 261,760,100,000.00 | 361,262,638.00 | 0.14 |
| 2008 | 295,871,500,000.00 | 86,161,863.00 | 0.03 |
| 2009 | 307,966,600,000.00 | 614,103,554.00 | 0.20 |
| 2010 | 333,093,400,000.00 | 513,402,796.00 | 0.15 |
| 2011 | 371,278,000,000.00 | 80,757,489.00 | 0.02 |
| 2012 | 393,529,000,000.00 | 1,649,326,166.00 | 0.42 |
| Promedio/ año | 300,132,950,000.00 | 477,104,216.75 | 0.15 |

Fuente propia.

Tabla 32: Base cálculo para la determinación de presupuestos con asfalto modificado (Continuación)

| Incremento en el presupuesto en toneladas de asfalto modificado | Presupuesto con asfalto modificado en Q. Para dos periodos 2005-2012 y 2013-2020 | Dif. en costos | Costo real con asfalto modificado para un periodo 2005-2012 | Lo que se deja de gastar en el periodo 2005-2012 | % de lo que se deja de gastar en periodo 2005-2012 | % en función del PIB de presupuesto con asfalto modificado periodo 2005-2012 | % en función del PIB de presupuesto con asfalto convencional periodo 2005-2012 | % en función del PIB de presupuesto con asfalto modificado para el periodo 2005-2020 |
|---|--|----------------|---|--|--|--|--|--|
| 1.32 | 198,100,776.32 | 66% | 99,050,388.16 | 51,506,201.8 | 0.02% | 0.05 | 0.07% | 0.10% |
| 1.32 | 475,345,576.32 | 66% | 237,672,788.16 | 123,589,849. | 0.05% | 0.10 | 0.16% | 0.21% |
| 1.32 | 475,345,576.32 | 66% | 237,672,788.16 | 123,589,849. | 0.05% | 0.09 | 0.14% | 0.18% |
| 1.32 | 113,370,872.37 | 66% | 56,685,436.18 | 29,476,426.8 | 0.01% | 0.02 | 0.03% | 0.04% |
| 1.32 | 808,030,992.11 | 66% | 404,015,496.05 | 210,088,057. | 0.07% | 0.13 | 0.20% | 0.26% |
| 1.32 | 675,529,994.74 | 66% | 337,764,997.37 | 175,637,798. | 0.05% | 0.10 | 0.15% | 0.20% |
| 1.32 | 106,259,853.95 | 66% | 53,129,926.97 | 27,627,562.0 | 0.01% | 0.01 | 0.02% | 0.03% |
| 1.32 | 2,170,166,007. | 66% | 1,085,083,003. | 564,243,162. | 0.14% | 0.28 | 0.42% | 0.55% |
| 1.32 | 627,768,706.25 | | 313,884,353.13 | 163,219,863. | 0.05% | 0.10 | 0.15% | 0.20% |

Fuente propia.

Tabla 33: Análisis de porcentaje de presupuesto de bacheo en función del presupuesto para pavimentación

| Año | Presupuesto en Q. de bacheo del período 2005-2012 | Presupuesto real de pavimentación en Q. período 2005-2012 | Total de presupuestos bacheo y pavimentación en Q. período 2005-20012 | Relación de presupuesto de bacheo en relación al presupuesto en pavimentación |
|-----------------|--|--|--|--|
| 2005 | 132,493,880.00 | 150,556,590.00 | 283,050,470.00 | 47% |
| 2006 | 139,367,297.73 | 361,262,638.00 | 500,629,935.73 | 28% |
| 2007 | 139,367,297.73 | 361,262,638.00 | 500,629,935.73 | 28% |
| 2008 | 268,443,307.00 | 86,161,863.00 | 354,605,170.00 | 76% |
| 2009 | 416,268,137.00 | 614,103,554.00 | 1,030,371,691.00 | 40% |
| 2010 | 13,700,093.00 | 513,402,796.00 | 527,102,889.00 | 3% |
| 2011 | 13,700,093.00 | 80,757,489.00 | 94,457,582.00 | 15% |
| 2012 | 13,700,093.00 | 1,649,326,166.00 | 1,663,026,259.00 | 1% |
| Promedio | 142,130,024.81 | 477,104,216.75 | 619,234,241.56 | 30% |

Fuente propia.

Tabla 34: Presupuesto real de bacheo para el período 2005-2012 en cifras y en porcentaje del PIB

| Año | PIB en Q. | Presupuesto real en Q. de bacheo para el período 2005-2012 | % en función dl PIB del presupuesto para bacheo |
|-----------------|---------------------------|---|--|
| 2005 | 207,728,900,000.00 | 132,493,880.00 | 0.064 |
| 2006 | 229,836,100,000.00 | 139,367,297.73 | 0.061 |
| 2007 | 261,760,100,000.00 | 139,367,297.73 | 0.053 |
| 2008 | 295,871,500,000.00 | 268,443,307.00 | 0.091 |
| 2009 | 307,966,600,000.00 | 416,268,137.00 | 0.135 |
| 2010 | 333,093,400,000.00 | 13,700,093.00 | 0.004 |
| 2011 | 371,278,000,000.00 | 13,700,093.00 | 0.004 |
| 2012 | 393,529,000,000.00 | 13,700,093.00 | 0.003 |
| Promedio | 300,132,950,000.00 | 184,940,002.08 | 0.052 |

Fuente propia.

Tabla 35: Presupuesto que incluye pavimentación y bacheo comparado con presupuesto hipotético con asfalto modificado en cifras y en porcentaje del PIB

| Año | PIB en Q. | Total de presupuestos bacheo y pavimentación en Q. periodo 2005-20012 | Presupuesto con asfalto modificado en Q. Para dos periodos 2005-2012 y 2013-2020 | % en función del PIB de los presupuestos de pavimentación y bacheo para el periodo 2005-2012 | % en función del PIB de presupuesto con asfalto modificado para el periodo 2005-2020 |
|-----------------|---------------------------|--|---|---|---|
| 2005 | 207,728,900,000.00 | 283,050,470.00 | 198,100,776.32 | 0.14 | 0.10 |
| 2006 | 229,836,100,000.00 | 500,629,935.73 | 475,345,576.32 | 0.22 | 0.21 |
| 2007 | 261,760,100,000.00 | 500,629,935.73 | 475,345,576.32 | 0.19 | 0.18 |
| 2008 | 295,871,500,000.00 | 354,605,170.00 | 113,370,872.37 | 0.12 | 0.04 |
| 2009 | 307,966,600,000.00 | 1,030,371,691.00 | 808,030,992.11 | 0.33 | 0.26 |
| 2010 | 333,093,400,000.00 | 527,102,889.00 | 675,529,994.74 | 0.16 | 0.20 |
| 2011 | 371,278,000,000.00 | 94,457,582.00 | 106,259,853.95 | 0.03 | 0.03 |
| 2012 | 393,529,000,000.00 | 1,663,026,259.00 | 2,170,166,007.89 | 0.42 | 0.55 |
| Promedio | 300,132,950,000.00 | 619,234,241.56 | 627,768,706.25 | 0.20 | 0.20 |

Fuente propia.

Tabla 36: Temperatura – Viscosidad, año 2010

| Temperatura | Viscosidad, Cp | Viscosidad, Cp | Viscosidad, Cp | Promedio | Viscosidad, Pa.s |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|
| 135 | 2600 | 2625 | 2600 | 2608.333 | 2.6083 |
| 145 | 1538 | 1575 | 1550 | 1554.333 | 1.5543 |
| 160 | 787 | 787 | 775 | 783.000 | 0.7830 |

Fuente: Uso de una capa de asfalto modificado con SBS y emulsión asfáltica modificada, sobre losas de concreto hidráulico fracturadas y estabilizadas. CILA 2013. (Gallardo, 2013)

ÍNDICE DE CUADROS

| No. | TÍTULO | Página |
|------------|--|---------------|
| 1 | Grado de desempeño a diferentes temperaturas | 12 |
| 2 | Especificaciones de los asfaltos tipo I, corresponden a las propiedades del cemento asfáltico convencional después de modificarlo con copolímeros de bloque de estireno. | 16 |
| 3 | Contribución de los factores de producción al crecimiento económico en los últimos 60 años de la historia guatemalteca (porcentajes) | 22 |
| 4 | Guatemala. Disponibilidad y calidad de la infraestructura de transporte y comunicaciones | 25 |
| 5 | Estimaciones de los requerimientos de nuevas inversiones en infraestructura para América Latina, 1995-2010 | 31 |
| 6 | Factores de emisiones de contaminantes por combustión diesel en planta de lotes y filtro de mangas | 36 |
| 7 | Factores de emisiones de contaminantes por combustión de diesel en planta continua y filtros de mangas | 37 |
| 8 | Emisiones estimadas horno industrial t/año | 40 |
| 9 | Emisiones estimadas horno industrial t/año | 40 |
| 10 | Factores de emisión empleados por calderas a petróleo 2 (diesel) | 42 |

| | | |
|----|---|----|
| 11 | Emisiones estimadas de caldera industrial t/año | 44 |
| 12 | Propiedades del asfalto modificado con estireno-butadieno-estireno para ser usado en la mezcla en caliente para micro capa de rodadura | 46 |
| 13 | Porcentaje de bitumen y densidad de la mezcla, año 2010 | 49 |
| 14 | Resultados de calidad de la mezcla modificada, año 2010 | 49 |
| 15 | Resultados de calidad de la mezcla modificada, año 2010 | 50 |
| 16 | Datos puntuales de control de calidad comparación entre mezclas tipo F 9.5 mm con y sin asfalto reciclado, año 2010 | 52 |
| 17 | Producto Interno Bruto. Millones de Quetzales y variación porcentual, años 2005 – 2012 | 60 |
| 18 | Inversión en pavimentación en la República de Guatemala durante el período 2005 – 2012 y presupuesto del programa de red vial como porcentaje del PIB | 62 |
| 19 | Presupuesto para bacheo en la República de Guatemala durante el período 2005 – 2012 | 64 |
| 20 | Presupuesto para pavimentación y bacheo en la República de Guatemala durante el período 2005 – 2012 | 65 |
| 21 | Presupuesto del programa de red vial pavimentación y bacheo como porcentaje del PIB | 66 |
| 22 | Cálculo de costo en tramo de prueba, 2013 | 70 |
| 23 | Comparación de Costos con Durabilidad, 2013 | 71 |

| | | |
|----|---|----|
| 24 | Comparativa de las inversiones presupuestas para carreteras en función del porcentaje del PIB usando asfalto convencional comparativamente con la inversión proyectada con asfalto modificado | 72 |
| 25 | Comparativa de presupuesto de pavimentación más bacheo y presupuesto con costos de asfalto modificado | 74 |
| 26 | Comparativa de presupuesto de pavimentación más bacheo y presupuesto con costos de asfalto modificado en porcentajes del PIB | 75 |
| 27 | Lo no gastado al sustituir tecnología en cifras y porcentajes en función del PIB | 76 |
| 28 | Pronostico de lo no gastado en el período 2005-2012 para ser utilizado en un período de 8 años | 78 |
| 29 | Comparación de toneladas de CO ₂ producidas a partir de 144,000 toneladas de mezcla producida en un año | 83 |
| 30 | Hallazgos | 86 |
| 31 | Base cálculo para la determinación de presupuestos con asfalto modificado | 95 |
| 32 | Base cálculo para la determinación de presupuestos con asfalto modificado (Continuación) | 96 |
| 33 | Análisis de porcentaje de presupuesto de bacheo en función del presupuesto para pavimentación | 97 |
| 34 | Presupuesto real de bacheo para el período 2005-2012 en cifras y en porcentaje del PIB | 98 |

| | | |
|----|--|-----|
| 35 | Presupuesto que incluye pavimentación y bacheo comparado con presupuesto hipotético con asfalto modificado en cifras y en porcentaje del PIB | 99 |
| 36 | Temperatura – Viscosidad, año 2010 | 100 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| No. | TÍTULO | Página |
|------------|---|---------------|
| 1 | Comparación de crecimiento económico entre distintos países y regiones (porcentajes) | 21 |
| 2 | Temperatura mezcla y compactación | 47 |
| 3 | Curva granulométrica de los agregados, año 2010 | 48 |
| 4 | Viscosidad cPs contra Temperatura ° C, año 2010 | 51 |
| 5 | Comparativa de las inversiones presupuestadas para carreteras en función del porcentaje del PIB usando asfalto convencional comparativamente con la inversión proyectada con asfalto modificado | 73 |
| 6 | Grafica de Proyección de Presupuesto para un período de 8 años | 77 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| No. | TÍTULO | Página |
|------------|--|---------------|
| 1 | Estimación de emisiones | 33 |
| 2 | Ecuación modificada de estimación de emisiones | 33 |