



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
(CCR), PROCESO CONSTRUCTIVO Y NORMA DE REGULACIÓN, COMO
ALTERNATIVA DE PAVIMENTACIÓN PARA CARRETERAS EN GUATEMALA**

Juan Carlos Villeda Ramírez

Asesorado por el MSc. Ing. Armando Fuentes Roca

Guatemala, septiembre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
(CCR), PROCESO CONSTRUCTIVO Y NORMA DE REGULACIÓN, COMO
ALTERNATIVA DE PAVIMENTACIÓN PARA CARRETERAS EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN CARLOS VILLEDA RAMÍREZ

ASESORADO POR EL MSc. ING. ARMANDO FUENTES ROCA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

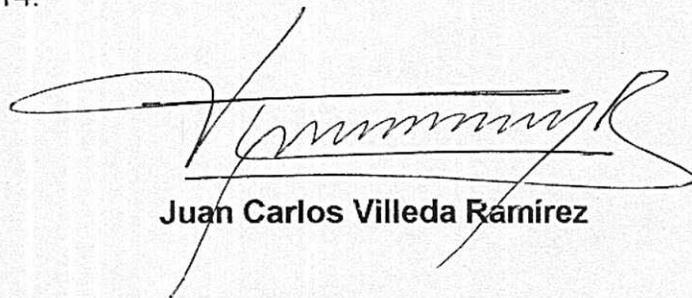
DECANO	Ing. Julio Ismael Gonzalez Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñones De La Cruz
EXAMINADOR	Ing. Orlando Herrarte Carranza
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González Lopez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
(CCR), PROCESO CONSTRUCTIVO Y NORMA DE REGULACIÓN, COMO
ALTERNATIVA DE PAVIMENTACIÓN PARA CARRETERAS EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha 21 de junio de 2014.

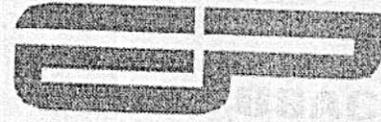


Juan Carlos Villeda Ramírez



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226



000589

AI-MIVPP-0001-2014

Guatemala, 21 de junio de 2014

Director:
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

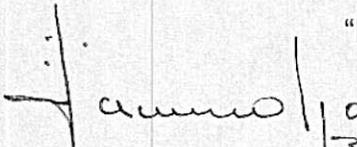
Estimado Director:

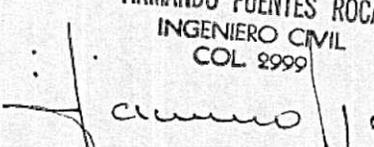
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Juan Carlos Villeda Ramírez** con carné número **87-12056**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría en Ingeniería Vial**.

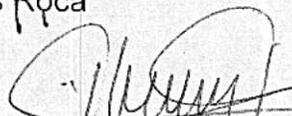
Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"


MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Asesor (a)
ARMANDO FUENTES ROCA
INGENIERO CIVIL
COL 2999


MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Área
Infraestructura


Dra. Mayra Virginia Castillo Montes
Director(a)
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo
/la



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,
1 de septiembre de 2014
Ref. IC. 044.14

Ingeniero
Hugo Humberto Rivera Pérez
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería
Guatemala

Ingeniero Rivera.

De manera atenta informo a usted que el estudiante Juan Carlos Villeda Ramírez, Carnet No. 8712056, ha cumplido con el proceso de graduación de Licenciatura mediante la modalidad "Estudio de Postgrado", presentando a esta Dirección de Escuela el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), PROCESO CONSTRUCTIVO Y NORMA DE REGULACIÓN, COMO ALTERNATIVA DE PAVIMENTACIÓN PARA CARRETERAS EN GUATEMALA, asesorado por el Msc. Ing. Armando Fuentes Roca, debidamente aprobado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado, por lo que en calidad de Director de la Escuela de Ingeniería Civil, doy mi visto bueno para continuar con el procedimiento correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Hugo Leonel Montenegro Franco
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de Escuela de Ingeniería Civil



Mas de 184 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos
de Guatemala

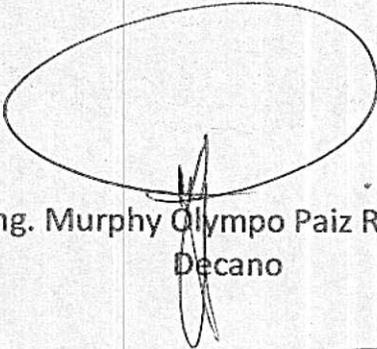


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 458.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR), PROCESO CONSTRUCTIVO Y NORMA DE REGULACIÓN, COMO ALTERNATIVA DE PAVIMENTACIÓN PARA CARRETERAS EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos Villeda Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 8 de septiembre de 2014

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por toda la gracia, bendiciones y frutos recibidos.
Mi esposa	Samara Guerra de Villeda.
Mis hijos	Juan Carlos y Guillermo Antonio.
Mi madre	María del Socorro Ramírez de Villeda.
Mi hermana	Aura Esmeralda Villeda.
Mi sobrina	Esmeralda María Villeda

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por su amor infinito y acompañamiento en todo momento.
Mi esposa	Por todo el amor, y entrega incondicional.
Mis hijos	Regalo de Dios, y ser el motor de mi inspiración a seguir adelante.
Mis padres	Con amor y respeto, especialmente a mi madre, por ser el ángel que Dios puso en la tierra para guiar mi vida.
Mi hermana	Por su cariño y solidaridad.
Mi centro de estudio	Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN	01
2. ANTECEDENTES	05
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	09
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	15
7. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
8. MARCO TEÓRICO.....	19
9. PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL	25
10. METODOLOGÍA.....	29

11.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	33
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	35
13.	RECURSOS A UTILIZAR	37
14.	CRONOGRAMA	39
15.	BIBLIOGRAFÍA	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	16
2.	Propiedades mecánicas del hormigón	19

TABLAS

I.	Presupuesto de la investigación	37
II.	Cronograma de la investigación	39

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm²	Centímetro cuadrado
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
LBU.	Libras
Lbs/plg²	Libras x pulgada cuadrada
m²	Metro cuadrado
No.	Número
%	Porcentaje
Plg²	Pulgada cuadrada

GLOSARIO

Aditivos	Componentes orgánicos o inorgánicos cuya inclusión tiene el objeto de modificar las propiedades físicas de los materiales de concreto, pueden tener la forma de polvo o líquida.
Agregados	Materiales granulares siendo estos piedras, arenas y materiales finos, necesarios para aglomerante del Concreto.
Cenizas volantes	Son las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral, y que también se le adicionan al cemento.
Compactación	Es la aplicación de energía necesaria con el objeto de disminuir el volumen de un material, propiciando una reducción de los vacíos que existen en él.
Compresión	Prueba de carga, en la cual se realizan probetas con el objeto de aplicarle una carga axial, con el objeto de medir su resistencia.
Concreto hidráulico	Es una mezcla de materiales granulares con cemento, que al incluirle agua, hace una reacción química que luego de un tiempo toma la consistencia de roca.

Cono de Abrams	Es el ensayo que se le hace al concreto en estado fresco, con el objeto de medir su consistencia.
Ensayo de VEBE	Ensayo del concreto fresco, que se compacta dentro de un molde y consiste en medir el tiempo para moldear, mediante vibración una masa de hormigón.
Flexo tracción	Prueba de carga, en la cual se realizan probetas que luego son sometidas a dos cargas dispuestas en forma simétrica, con le objeto de medir su resistencia.
Juntas	Consiste en la separación que se la hace al concreto con el objeto de inducir las grietas de contracción que este ocasiona debido a la perdida de humedad.
Puzolana	Material compuesto de sílices, de origen volcánico que se le adicionan al cemento.
Tensión indirecta	Prueba que determina la compresión diametral del concreto.

RESUMEN

En Guatemala se cuenta con una red vial compuesta por diferentes tipos de carreteras, desde los ejes principales, como las carreteras centroamericanas y rutas departamentales que están pavimentadas, asimismo, se cuenta con carreteras rurales en el interior del país, que aún permanecen de tierra. El deterioro de algunos tramos pone en riesgo la locomoción de las personas y evita el desarrollo.

Con el objeto de aportar una alternativa de solución o mejora en las vías de comunicación terrestre del país, se propone una técnica de construcción de carreteras pavimentadas que pueda contribuir a que los recursos destinados a infraestructura vial se diversifiquen y se llegue a tener un mayor número de tramos pavimentados.

La propuesta de esta técnica, de concreto compactado con rodillo CCR, es una técnica que tiene ciertas ventajas respecto a otros concretos como: economía, rapidez y flexibilidad. Las características del concreto compactado con rodillo son cero asentamiento en el cono de Abrams, propiciando su colocación y compactación con equipo convencional de pavimento flexible. Esta técnica puede ser utilizada en calles, carreteras, aeropuertos y pavimentos industriales.

En lo estructural, esta técnica puede lograr resistencias a la compresión y la flexión a los 28 días de edad, similar a un concreto convencional, con la diferencia de un ahorro de cemento, por la optimización que se hace a la relación agua – cemento.

Un concreto hidráulico sufre pérdida de humedad o contracción en el proceso de secado y endurecimiento, sin embargo, en el concreto compactado con rodillo esto se reduce significativamente dado su bajo contenido de agua en la dosificación de la mezcla, favoreciendo en lograr un bajo consumo de cemento, manteniendo las resistencias de diseño. El concreto compactado con rodillo a diferencia de un convencional no requiere de formaleta o molde de colocación por sus características endurecidas.

Es importante considerar las normativas y especificaciones necesarias para que esta técnica pueda tener observancia general, y se mantenga la uniformidad en el control de calidad. Se hace necesario contar con la divulgación a los entes que lideran el desarrollo y seguimiento a proyectos de infraestructura vial.

Se propone hacer una revisión de las características de los materiales que deban ser utilizar, proponer útiles graduación de agregaos, que den como resultado buenas dosificaciones, verificar las condiciones óptimas de transporte colocado y compactación, así como también los ensayos de control de calidad que certifiquen el trabajo realizado.

Finalmente se pretende lograr el objetivo general de una vez descritas las características técnicas y económicas del concreto compactado con rodillo, sea una técnica factible como una alternativa de pavimentación en Guatemala.

1. INTRODUCCIÓN

El concreto compactado con rodillo es una técnica que es utilizada para hacer más eficiente el uso de los materiales, el cual tiene algunas ventajas respecto a otros concretos como: economía, rapidez, y flexibilidad. Por medio del concreto compactado con rodillo (CCR), se obtiene un concreto cuya consistencia, a diferencia del concreto hidráulico convencional, es alta, con cero asentamiento en el cono de Abrams, lo que hace que su colocado y compactado se pueda hacer con equipo utilizado para trabajos en terracería o en la colocación de concretos asfálticos.

Al 2013, Guatemala cuenta con una red vial compuesta por diferentes ejes principales, que se encuentran totalmente pavimentados, tanto pavimentos flexibles, semiflexibles, como rígidos; mientras que algunos tramos en el interior del país, como las vías de acceso a algunas cabeceras municipales y comunidades rurales, permanecen de terracería en condiciones por debajo del nivel aceptable para ser transitadas, las cuales se agudizan en la estación de invierno, dejando comunidades totalmente aisladas, como consecuencia del alto grado de deterioro en que estas se encuentran.

La propuesta de esta técnica, puede ser utilizada entre otros, en calles, carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, como también en la construcción de bases y en la construcción de carpetas de rodadura en caminos y carreteras rurales.

En el capítulo uno se hará una descripción de las características de los materiales que lo conforman, como parte de un marco teórico, en donde se plantearán conceptos generales de la técnica y en que se fundamenta. Se hará una investigación en qué lugares se ha aplicado y hecho uso de la misma, y qué se ha hecho en Guatemala referente a esta técnica.

En el capítulo dos se define las características de los materiales, tipos de diseño de la mezcla y las dosificaciones, partiendo de los tipos y características de los agregados, contenidos de cemento, para lograr una buena estructura general del pavimento. En esta parte se incluye la importancia de la metodología AASHTO para el diseño de la estructura del pavimento.

En el capítulo tres se verificarán los procesos constructivos, ya que las buenas prácticas en el manejo de los materiales producidos, la forma en cómo se transportan a la obra, cuáles son los equipos de colocado o producción, así como los mecanismos de protección o curado, son al igual que los concretos convencionales, vitales para lograr los resultados de resistencia previstos.

Como parte del capítulo cuarto se da mucha importancia al control de calidad, tanto de los materiales como materia prima así como al producto final que es el concreto, para lo cual se tomarán muestras haciendo los ensayos correspondientes para luego comparar con los parámetros y especificaciones de aceptación.

También se realizará como parte del capítulo quinto el análisis de los resultados obtenidos, que incluye una evaluación de los costos, con el objeto de realizar una comparación con respecto a otras alternativas de pavimentación, así como establecer el costo beneficio respecto a un mantenimiento de carreteras de terracería.

Finalmente se harán las conclusiones apropiadas en función a los resultados y se harán también las recomendaciones que den una mejor aplicación de la técnica del concreto compactado con rodillo.

2. ANTECEDENTES

El ser humano en la búsqueda de alternativas para optimizar los recursos materiales con que cuenta, ha ido descubriendo nuevos métodos que combinan la seguridad y la economía.

Existen diferentes formas y métodos de pavimentación desde los flexibles, semiflexibles y rígidos; sin embargo, el éxito de su uso, depende de las características y condiciones de cada lugar.

En *el Manual centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras regionales* de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana – SIECA (2001, p. 500-71), define al concreto compactado con rodillo (CCR) como la mezcla homogénea de áridos con agua en cantidad reducida y cemento como aglomerante, la que adecuadamente compactada se utiliza en la construcción de pavimentos.

De acuerdo al manual citado con anterioridad, la resistencia a la compresión de concreto compactado es afectada principalmente por la relación de agua-cemento de la mezcla. Las propiedades elásticas son afectadas principalmente por la edad, tipo de agregados y la relación agua-cemento. El módulo de elasticidad del hormigón se incrementa con la edad y con el contenido de cemento (2001, p. 500-71)

El pavimento de concreto hidráulico compactado con rodillo, ofrece la optimización de todos los recursos empleados en un concreto hidráulico convencional, pues con ellos se logra economía, rapidez y flexibilidad en su ejecución. (Solano, 2009)

Parmigiani y Di Pace (2000), indican que el pavimento fabricado con la técnica compactado con rodillo (CCR) es un concreto de características rígidas, el cual presenta cero asentamiento en el cono de Abrams, lo cual hace que su colocado sea seguido de una compactación mecánica, con la finalidad de lograr la densidad óptima de los materiales con los cuales se desarrollo el diseño de la mezcla.

La utilización de este método ha sido en la construcción de presas de gravedad y cimentaciones de gran tamaño como concreto de uso masivo, así mismo se ha empleado en pavimentos para calles urbanas, caminos y carreteras, áreas de parqueo y también para reparación de baches.

Se tiene conocimiento que Escocia fue uno de los países pioneros que utilizó el concreto compactado con rodillo (CCR) para pavimentos por el año de 1865. En Barcelona, cerca del 1970, fue utilizado en vías de bajo volumen de tránsito, Canadá y EE.UU lo utilizaron en mayor escala a partir de 1980, en la construcción de pavimentos para áreas industriales. En Latinoamérica, se inició su utilización cerca de 1990; Ecuador, El Salvador y Costa Rica, lo utilizaron en proyectos experimentales. (Solano, 2009).

En Guatemala, durante el 2007, se realizaron pruebas experimentales, en una carretera rural que conduce a la aldea llamada El Sinaca, ubicada en el municipio de Sanarate, departamento de El progreso. El proyecto consistió en el mejoramiento de un tramo de terracería, al cual se le colocó una base granular,

y posteriormente se le agregó una carpeta de rodadura de 16,00 centímetros con la técnica de CCR. El tramo en mención fue un tramo experimental que tiene una longitud de 1,5 km y un ancho de 6,00 metros, si bien es cierto que el tramo tiene un bajo volumen de tránsito, ha dado la función esperada, generando ahorro en su mantenimiento (Olivero, 2009).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el 2013, Guatemala cuenta con una red vial compuesta por diferentes ejes principales, de los cuales en un buen porcentaje se encuentran pavimentados, tanto con pavimentos flexibles, semiflexibles, así como rígidos; los cuales tienen diferentes componentes en su mantenimiento, lo que hace que no se tenga una normativa adecuada para su conservación. Existen aún tramos en el interior del país, principalmente rurales, incluyendo algunos accesos a cabeceras municipales, a los cuales se les da escaso mantenimiento y en la estación lluviosa se complica la transitabilidad, lo que ocasiona que algunas comunidades queden incomunicadas o aisladas, afectando su desarrollo económico.

De conformidad con el Plan de Desarrollo Vial vigente, se ejecutan proyectos de infraestructura vial en importantes tramos carreteros, los cuales son de importancia para la conexión con los puertos marítimos o aduanas fronterizas, tomando en cuenta que absorben la mayor parte del presupuesto destinado a inversión en infraestructura vial. Estos proyectos se construyen con métodos convencionales de pavimentación, ya sea en concreto asfáltico o concreto hidráulico. Lamentablemente, estos proyectos no llegan a cubrir las grandes necesidades en muchas comunidades del interior, en donde escasamente se llega a tener un acceso de terracería, lo que dificulta que el mismo Gobierno pueda cubrir las necesidades básicas de la población afectada, tales como: asistencia de salud, educación, alimentación, electricidad y comunicación; dificultando a la población asentada observar un desarrollo a mediano o largo plazo, condicionándolos a continuar en situaciones precarias .

Las necesidades de mejora en vías de comunicación terrestre son muy evidentes en los poblados rurales, se ha tomado como referencia los poblados del área de Izabal, en donde las condiciones de lluvia son mayores y el deterioro de las vías es más susceptible y frecuente.

La técnica de construcción propuesta, puede contribuir a que los recursos destinados a infraestructura vial se diversifiquen y que se llegue a tener un mayor número de tramos o carreteras rurales pavimentados, y con ello, se solucione parte de los problemas de comunicación y desarrollo que manifiestan la mayoría de comunidades alejadas de las cabeceras municipales. Se pueden aprovechar los materiales y recursos con que cuentan las comunidades, como también propiciar un incremento en la generación plazas laborales.

Con la utilización del sistema propuesto, es importante plantear como interrogante principal

¿Será el CCR una buena técnica de solución al problema vial en Guatemala?

Asimismo, responder a otras como:

¿Cuáles son las características de diseño del concreto compactado con rodillo en Guatemala?

¿Cuál será el costo beneficio de emplear esta técnica en Guatemala?, y

¿Cuál será el grado de ahorro que se puede obtener en relación a otros tipos de pavimentación?

4. JUSTIFICACIÓN

La técnica de concreto compactado con rodillo se incluye dentro de la línea de investigación para la maestría en ingeniería vial en el área de planificación ejecución y representa una alternativa a los métodos tradicionales de pavimentación en nuestro medio, ofreciendo ventajas desde el diseño, la dosificación y el colocado. Con esta técnica se adicionan materiales para producir una masa relativamente homogénea con las propiedades deseadas, para luego ser transportada en camiones convencionales de volteo, que son utilizados en cualquier proyecto, ofrecen facilidades en la colocación y el curado del mismo. Si se requiere optimizar recursos, este método ofrece una alternativa muy competitiva, respecto de costos al comparar con las otras técnicas tradicionales.

Respecto a lo estructural, esta técnica puede lograr resistencias a la compresión y la flexión a los 28 días de edad, muy similar a un concreto convencional, con la posibilidad de ahorro de cemento. Se puede tener también una disminución en el tiempo de fraguado, tomando en cuenta que este método está basado en el análisis de la trabajabilidad de la mezcla.

El equipo utilizado para la colocación y compactación, es el mismo con el cual se construye un proyecto de terracería, pudiendo también utilizar el equipo de colocación de concreto asfáltico, con la diferencia de que no es necesario hacer la inversión en una planta de concreto asfáltico en caliente, lo cual no solo hace más caro un proyecto sino también complica su instalación, considerando la dificultad que presenta la topografía de la mayoría de comunidades del interior del país que es sinuosa y accidentada para su acceso.

Por otro lado, esta investigación fortalece el desarrollo en la ingeniería vial del país, especialmente a los profesionales que se dedican a planificar y desarrollar proyectos viales, considerando las fortalezas y ventajas que presenta y que mejoraría las alternativas de nuevos métodos constructivos de menor costo.

Representa un aporte importante al desarrollo de la infraestructura vial del país, y también es un trabajo de investigación para la obtención de la maestría en ingeniería vial, aplicando en el área de planificación y ejecución.

5. OBJETIVOS

General

Describir las características técnicas y económicas del concreto compactado con rodillo (CCR) para determinar su factibilidad como una alternativa de pavimentación en Guatemala.

Específicos

1. Describir las características de diseño del concreto compactado con rodillo.
2. Realizar análisis comparativo de costos del concreto compactado con rodillo, respecto a las otras alternativas de pavimentación en el departamento de Izabal.
3. Analizar el costo-beneficio respecto a un mantenimiento de carretera de terracería, en el departamento de Izabal.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La imperante necesidad de mejorar la red vial pavimentada del país, hace buscar otras alternativas de solución al problema, una de estas alternativas es la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR), propuesta que se hace muy viable en el país, considerando la topografía notablemente agreste y accidentada del entorno nacional. Las características de formulación, diseño, logística de transporte y colocación, hacen que se facilite su utilización, ofreciendo ventajas económicas en la construcción y en su mantenimiento.

Adicional a lo anterior, es necesario proponer las normas y especificaciones para que las mismas sean de observancia general para la aplicación de esta técnica, la cual se podrá incorporar más adelante al *Manual general de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes*.

La alternativa de aplicación y su utilización a nivel nacional, se hará mediante la divulgación de esta técnica a los entes que lideran el desarrollo y la construcción de los proyectos de infraestructura vial del país (Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Comités de Desarrollo Departamental y Municipal, Cámara Guatemalteca de la Construcción, así como a las empresas privadas independientes de construcción de carreteras, y El Colegio de Ingenieros de Guatemala).

Es de mucha importancia resaltar el análisis que se hará de los costos y las ventajas que representa en relación a otras técnicas. Asimismo, se puede hacer la propuesta directamente a los productores del cemento con la finalidad de que este material pueda ser fuente de una mayor utilización a nivel nacional,

con un menor costo y con ello sea una solución a mediano plazo para mejorar la infraestructura vial, lo cual redundará en un beneficio integral para el país, ya que se incrementará el empleo de mano de obra calificada y no calificada y se bajará los costos de construcción en la pavimentación.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación analizará el comportamiento de las mezclas de concreto compactadas con rodillo (CCR), como un análisis cualitativo de la técnica. Se prepararán muestras de cilindros y vigas para ser ensayadas a diferentes periodos de tiempo hasta llegar a los 28 días de fraguado, con la adición de diferentes contenidos de cemento y agregados, utilizando los conceptos de dosificación de compactación de suelos, el de consistencia de la mezcla, tal como se evalúan los concretos convencionales.

Se evaluarán las propiedades mecánicas del concreto y se establecerán los costos de producción y dosificación, transporte y colocado, haciendo una comparación con los concretos convencionales, y con ello, tener una apreciación del desempeño como del costo-beneficio de la técnica. Será necesario hacer varias pruebas, considerando que es una técnica que ha sido aplicada en otros países, pero que en Guatemala es poco conocida.

Se pretende dentro de la investigación, evaluar los procesos constructivos propios de la técnica y definir las ventajas de utilizar otros materiales como aditivos que mejoren la eficiencia y resistencia de las mezclas diseñadas, dependiendo de las características climáticas del lugar.

Con la investigación se pretende ofrecer una alternativa de solución a las grandes necesidades existentes en mejorar las carreteras pavimentadas del país y que los proyectos que se desarrollen a futuro puedan contar con las especificaciones y parámetros de diseño apropiadas al medio nacional.

Permitirá reforzar los conocimientos a todos los que se dedican a la construcción de carreteras en el país, tanto de inversión pública como la privada.

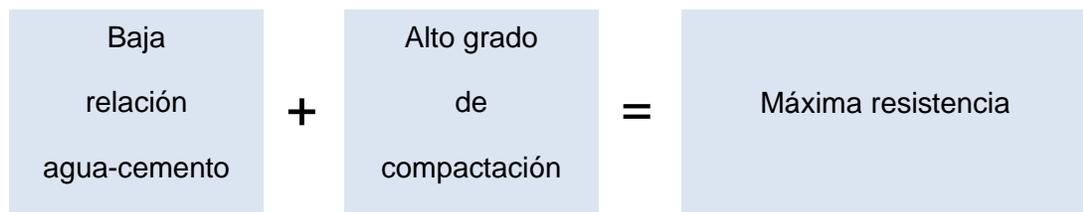
8. MARCO TEÓRICO

El concreto compactado con rodillo (CCR) consiste en un concreto hidráulico de consistencia seca, con asentamiento casi cero dando una facilidad en el colocado y permitiendo realizar una compactación para lograr su densidad máxima.

Los concretos compactados con rodillo fundamentan su teoría en una relación de agua-cemento muy baja, con lo cual su colocación no es la de un concreto convencional, sin asentamiento en el cono de Abrams y que los agregados son de tamaño menor que los de un concreto típico. (SIECA, 2001)

“El cambio de volumen debido a la pérdida de humedad o contracción por secado es significativamente menor en el CCR que en el concreto convencional, dado su bajo contenido de agua de mezclado”, afirma el *Manual Centroamericano de especificaciones para la construcción de carreteras y puentes regionales* SIECA, (2001, p. 500 – 71)

Figura 2. **Propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo**



Fuente: Centro Técnico de Hormigón, Propiedades Mecánicas del Hormigón compactado con rodillo, p. 2).

Lo anterior se traduce en lograr bajo consumo de cemento logrando así un mayor porcentaje de economía, sin restar importancia a la calidad del producto terminado.

El concreto compactado con rodillo a diferencia de un convencional no requiere de una formaleta o molde en su colocación, sino que por sus características de baja relación agua – cemento, con la condicionante de procurar la humedad óptima de sus materiales que permitan una alta cohesión, está en capacidad de soportar el peso de un equipo de compactación y vibración, con lo cual se pueda lograr una alta consolidación.

El CCR es una mezcla compuesta de agregados gruesos (piedrín), agregados finos (arenas) y material cementante, pero con bajo contenido de agua a diferencia de un concreto convencional, el CCR, tiene la gran ventaja de no presentar cambios volumétricos tan altos en el proceso de fraguado, logrando con ello alcanzar resistencias mayores en menor tiempo.

De acuerdo a Solano (2009), durante la conferencia concreto compactado con rodillo y su aplicación en pavimentos y represas, los materiales y sus propiedades constituyen el éxito de esta técnica, componiendo estos: agregados, cemento, adiciones, agua y aditivos, para lo cual es importante considerar las propiedades en estado fresco siguientes: consistencia, densidad y trabajabilidad, así también las propiedades en estado endurecido de resistencia.

Los materiales de agregados, al igual que los concretos convencionales están clasificados en gruesos y finos. Los gruesos deben estar: a) bien graduados, b) angular, cúbicos, duros y limpios, c) tamaño máximo 19 mm. Los agregados finos deben ser arenas de origen de trituración como polvos de

piedra o de río, con un máximo de 8 % pasando la malla No. 200 de tamiz. (Solano, 2009).

De acuerdo al mismo autor, los materiales cementantes, deben cumplir la Norma ASTM C-150, siendo del tipo UGC o tipo I, los cuales pueden tener adiciones de: puzolana, ceniza volante clase C o clase F.

Durante la misma conferencia, Solano afirma que el agua y el aditivo al igual que los concretos convencionales deben estar limpios, en el caso del agua, ser potable. Los aditivos deben cumplir las funciones mecánicas necesarias y en función de las condiciones del proyecto, tales como retardadores de fraguado o plastificantes.

- Baja relación agua-cemento

La baja relación agua-cemento, comparada con el concreto convencional, representa un valor de 0,40. Por lo que el cemento que se utilice en la mezcla deberá tener mínima retracción, bajo calor de hidratación y elevada resistencia a largo plazo que disminuyan el fenómeno de fatiga, este puede lograr una resistencia a la compresión y a la flexión a 28 días en el orden de 250 kg./cm² y de 35 kg/cm² hasta 50 kg/cm² deberá cumplir con la Norma ASTM C 1157 y cumplir con una categoría de resistencia de 4 000 lbs /plg². (Hernández, 2003, p. 2).

Los agregados deben cumplir con las características que fija la Norma ASTM C 33, que garanticen la alta calidad de los mismos en sus características químicas y físicas que permitan una graduación de los agregados finos y gruesos debidamente combinados y continuos.

Con la debida dosificación de sus componentes, el cero asentamiento, la mezcla debe estar lo suficientemente seca para soportar el equipo de compactación y suficientemente húmeda para que se dé una adecuada distribución del material sin que ello repercuta en una mala textura.

- Alto grado de compactación

La colocación y compactación se hace con el mismo equipo que se emplea para el concreto asfáltico. Para el colocado existen en el mercado equipos de diferentes marcas, pero idealmente deberá ser con una pavimentadora que posea un tamper de compactación y no solamente plancha vibratoria para que solo con el colocado se alcance un porcentaje de casi el 90 % de compactación. Luego del colocado se deberá proceder con dos pasadas con el rodillo tándem sin vibración o las que sean necesarias, para lograr la densidad especificada, en no menor al noventa y seis por ciento (96 %) (Centro Técnico del Hormigón, 2001).

Se podrá incluir pasadas de rodillo neumático de 10 o 20 toneladas, con el objeto de cerrar poros o vacíos en la superficie y propiciar una textura más cerrada de la mezcla. Cabe señalar que proyectos de acceso de una categoría menor y con el objeto de hacer más económica la alternativa de CCR, esta se puede dosificar con equipo portátil de dosificación de eje horizontal y el colocado se puede realizar con moto niveladora.

El control de compactación se realizará por los métodos convencionales de densidad de campo o preferiblemente el densímetro nuclear, para lo cual se hará cada 500 m² de pavimento por cada línea de construcción (Centro Técnico del Hormigón, 2001).

- Curado del concreto

Según indica el Centro Técnico del Hormigón (2001, p.1), el curado del concreto se hace inmediatamente terminada la compactación y debe propiciar la debida hidratación del mismo debido a la intemperización, evitando así la pérdida prematura del agua con lo cual se realizó la dosificación y debe ser necesaria para lograr la resistencia de diseño, los métodos van desde realizar un proceso de mantenimiento de humedad de la superficie, por medio de un camión cisterna que permita realizar un riego uniforme de agua. También se puede aplicar algún tipo de producto sellante para concreto hidráulico, con la finalidad de evitar la pérdida de agua del concreto o también se puede aplicar una capa de emulsión asfáltica.

- Máxima resistencia

Las propiedades mecánicas del concreto compactado con rodillo (CCR), son similares a las del concreto hidráulico convencional, es decir, si se hace la suma de los dos componentes izquierdos del cuadro (figura 2), la baja relación de agua/-cemento + alto grado de compactación, da como resultado una resistencia máxima a compresión, resistencia a tracción, módulo de elasticidad, comportamiento frente a la fatiga y durabilidad (Centro Técnico del Hormigón, 2001).

- Propiedades del CCR

Las propiedades del Concreto compactado con Rodillo CCR, varían según su estado, siendo estos: estado fresco y estado endurecido:

Estado fresco:

- Consistencia o asentamiento
 - Cero revenimiento
 - Ensayo de VEBE (contenido de pasta) ASTM C 1170
 - Los mejores indicadores: contenido de humedad óptima y comportamiento durante la compactación. ASTM C 1435
- Densidad y contenido de humedad
 - Son los parámetros críticos para determinar la capacidad estructural y durabilidad

Estado endurecido:

- Resistencia
 - Flexo tracción ASTM C 78
 - Compresión ASTM C 1435
 - Tensión indirecta ASTM C 496
- Durabilidad
 - Congelamiento y deshielo
 - Abrasión superficial

9. PROPUESTA DE ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Conceptos y descripciones

1.2. Historia del pavimento compactado con rodillo - CCR

1.3. Antecedentes del CCR en Guatemala

2. DISEÑO DEL PAVIMENTO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

2.1. Características de los materiales

2.1.1. Agregados

2.1.2. Cemento

2.1.3. Agua

2.1.4. Aditivo

2.2. Diseño de mezclas

2.2.1. Descripción

2.2.1. Dosificación utilizando el concepto de compactación de suelos

- 2.2.2. Dosificación utilizando la consistencia de la mezcla
- 2.2.3. Preparación de muestras (cilindros y vigas)
- 2.3. Diseño de la estructura del pavimento con el método AASHTO
- 2.4. Propiedades mecánicas del CBR

3. PROCESOS CONSTRUCTIVOS

- 3.1. Dosificación y transporte
- 3.2. Colocación y compactación
 - 3.2.1. Equipo de colocado
 - 3.2.2. Equipo de compactado
- 3.3. Curado y acabado
 - 3.3.1. Aditivos de concreto
 - 3.3.2. Sellos asfálticos
- 3.4. Construcción de junta
 - 3.4.1. Diseño y tipos de juntas
 - 3.4.2. Relleno o sello de juntas
 - 3.4.3. Equipo de corte
- 3.5. Análisis de la viabilidad del uso del concreto compactado con rodillo (CCR)
 - 3.5.1. Descripción del tramo de prueba
 - 3.5.2. Fabricación de las mezclas
 - 3.5.3. Colocado y compactación tramo de prueba

4. CONTROL DE CALIDAD

- 4.1. De los materiales
- 4.2. Del concreto
 - 4.2.1. Toma de muestra y ensayos
 - 4.2.2. Tolerancia de aceptación

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y MEDICIÓN DE COSTOS
 - 4.3. Evaluación de costo dependiendo el equipo de dosificación y pavimentación
 - 4.4. Comparación de costos con respecto a otras alternativas de pavimentación
 - 4.5. Análisis costo beneficio respecto a un mantenimiento de carreteras de terracería

6. CONCLUSIONES

7. RECOMENDACIONES

8. BIBLIOGRAFÍA

9. ANEXOS

10. METODOLOGÍA

Se hará una investigación descriptiva del concreto compactado con rodillo (CCR), partiendo de las normas vigentes en Guatemala para concretos rígidos. Se tomará un mismo agregado y se utilizará como variable a) cantidad de cemento, b) relación agua/cemento y c) aditivos. Con cada variable se establecerán probetas de prueba en cilindros y vigas para analizar la resistencia a la compresión y flexión como indicadores de las características mecánicas.

Diseño de investigación:

Con la obtención de un diseño de mezcla se harán unos baches de prueba que reflejen los valores de resistencia a la compresión y flexión óptimos y aceptables conforme a especificaciones. Se tiene previsto realizar un tramo experimental, para lo cual se pretende realizar una prueba de campo de una longitud de 100,00 metros, con el equipo, maquinaria y personal necesario.

En el tramo experimental se analizarán cuatro diferentes etapas de la técnica del concreto compactado con rodillo (CCR), a) dosificación y transporte, b) colocación y compactación, c) curado y acabado, y d) construcción de juntas.

Enfoque de investigación:

El enfoque será mixto, tomando como variables cualitativas la manejabilidad de los materiales en una obra, así como su desempeño, tomando en cuenta que se procederá a recabar toda la información posible que existe en la actualidad y que tenga vigencia, tales como el manual de

construcción de carreteras y puentes, vigente desde el 2001; normas internacionales relacionadas con el concreto hidráulico; bibliografías relacionadas con el tema de concreto compactado con rodillo, con la finalidad de que si no existe normas actuales proponer la elaboración de las mismas y que a través de las instituciones correspondientes se incorporen a las vigentes, con al finalidad de que sean de observancia general. También se tomarán como variables cuantitativas los resultados de los diferentes diseños de mezcla propuestos hasta llegar al que técnicamente sea el mas apropiado y económicamente mas favorable. Para lo cual se hará uso de herramientas necesarias de medición de resistencias a compresión y flexión para diferentes periodos de tiempo de fraguado.

Variables de medición:

Se harán diferentes dosificaciones de mezclas de agregados del mismo origen haciendo variar el contenido de cemento, la relación agua-cemento y los aditivos, como variables. Se estudiará el comportamiento y se medirá los resultados de resistencia a compresión y flexión, así como la consistencia de la mezcla con cada una de las variaciones realizadas, esto será en condiciones de concreto con humedad óptima, que pueda ser compactado con rodillo, que es el objetivo principal de esta técnica.

Fases de investigación:

Para el desarrollo de la investigación se ha previsto realizar un tramo de prueba en el que se establecen cada una de las actividades necesarias, siendo ellas:

a) Preparación del terreno:

Se procederá a verificar las características del terreno existente, con la finalidad de confirmar que reúna las condiciones necesarias de soporte y de fundación para pavimentación. En esta etapa se harán los ensayos de laboratorio, tales como: valor de CBR de la sub rasante, tipo de suelo, propiedades físicas y mecánicas del suelo.

b) Diseño de mezcla:

Se procederá a realizar el diseño de la mezcla dependiendo los materiales pétreos a utilizar, la resistencia a la compresión y flexión mínima requerida y las características de soporte del suelo existente en el lugar de la prueba.

c) Pruebas de laboratorio:

Las pruebas de laboratorio se harán desde el monitoreo de los agregados a utilizar, dosificación y graduación de materiales pétreos, dosificación de mezclas de concreto. Se tiene previsto utilizar para ciertos laboratorios de campo el equipo de laboratorio de la empresa Codico S. A., así como el centro de investigaciones de Cementos Progreso.

d) Mezclado del concreto:

Una vez hecho los ensayos de laboratorio a todos los materiales a utilizar, se procederá a hacer las mezclas con dosificadoras manuales o mecánicas y la aplicación al terreno previamente preparado. Durante esta fase, también se procederá a realizar ensayos de laboratorio para determinar los grados de compactación, resistencia y otros ensayos que den como resultado el estudio de las variables de dosificación necesarias para diseñado el pavimento, se procederá a hacer las mezclas con los agregados, previamente con la finalidad de determinar si analizar las normas vigentes en Guatemala y las bibliografías, el comportamiento y calidades de los materiales con diferentes proporciones,

hasta llegar al análisis de la mezcla instalada y sus expectativas de compactación y resistencia.

Resultados esperados:

Habiendo realizado el tramo de prueba, se analizará las características del concreto, así como los diferentes materiales utilizados, tanto los aglomerados (materiales pétreos), como los aglomerantes (cemento), el equipo utilizado, con la finalidad de obtener los rendimientos y costos, que permita comparar respecto a otras alternativas de pavimentación y poder recomendar la aplicación de esta técnica como una alternativa de solución para Guatemala.

11. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Se describirá y analizará la información de las muestras obtenidas a lo largo del proceso de la investigación para lo cual se abrirá un libro de bitácora, misma que será soportada con libretas de campo que registren todas las actividades a realizar. Las muestras obtenidas de cada variable de dosificación ofrecerán resultados distintos en función de los ensayos efectuados. Los datos se tabularán, en tablas y cuadros, que permitan establecer orden y categoría de cada uno de los resultados obtenidos, haciendo más fácil su interpretación y análisis.

Toda la información obtenida durante la investigación, expresados de manera numérica, se le aplicará la estadística descriptiva con el objeto de analizar las frecuencias en los valores obtenidos de acuerdo a cada variable estudiada, haciendo una comparación y verificación con los parámetros, especificaciones y en normas locales e internacionales aceptadas en Guatemala.

Para realizar la investigación se hace necesario el uso de recursos: a) humanos, y b) materiales, físicos y tecnológicos.

Recurso humano: será necesario el apoyo de un técnico en laboratorio de suelos y concretos, y un asistente en laboratorio. El técnico en laboratorio deberá ser un experto y con suficiente experiencia en el manejo de ensayos de suelos y concreto, con el objeto de que los resultados obtenidos sean de confiabilidad.

Recurso material, físico y tecnológico: contar con el lugar y el equipo de laboratorio necesario para realizar los diferentes ensayos a los materiales a utilizar es muy importante. Para ello se ha previsto el apoyo de los laboratorios de la empresa Codico S. A., y del centro de investigaciones de Cementos Progreso.

Para la realización del tramo de prueba es importante el uso de maquinaria de movimiento de suelos, de compactación y pavimentación, para lo cual se contará con el apoyo de la empresa Codico S. A.

En el manejo de la información, presentación de resultados y elaboración de informe final, será necesario equipo de procesamiento de datos y de cómputo, con el cual se le dará confiabilidad al proceso de investigación.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para la realización del estudio de investigación se necesita considerar la disponibilidad del tiempo para su elaboración, y los recursos humanos, materiales, y financieros, los cuales están disponibles en cualquier momento que sea requerido. Se dispondrá de un espacio territorial para llevar a cabo el estudio, pudiendo ser este, un pequeño tramo de una carretera de terracería o un parqueo. La finalidad de interactuar con todos los recursos empleados es poder determinar que la técnica propuesta puede ayudar a solucionar parte del problema vial que tiene Guatemala.

En relación con la accesibilidad de la información se dispone de las especificaciones vigentes en Guatemala para estructuras de pavimentos, definidas en *las Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes* de la Dirección general de caminos, así como el *Manual centroamericano para diseño de pavimentos* de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA). En ambos se detallan los parámetros y tolerancias que debe tener un pavimento, como también las normas internacionales establecidas y que se deben observar. Adicional a lo anterior se tiene la bibliografía que más adelante se detalla, la cual será una herramienta auxiliar, considerando las experiencias que se han obtenido en otros países.

Para sufragar financieramente el proyecto de investigación, se tienen contemplado con recursos propios, el apoyo de la empresa Codico, S. A., para el uso de maquinaria y materiales; así como de Cementos Progreso en el área de laboratorio.

13. RECURSOS A UTILIZAR

Tabla I. Presupuesto de la Investigación

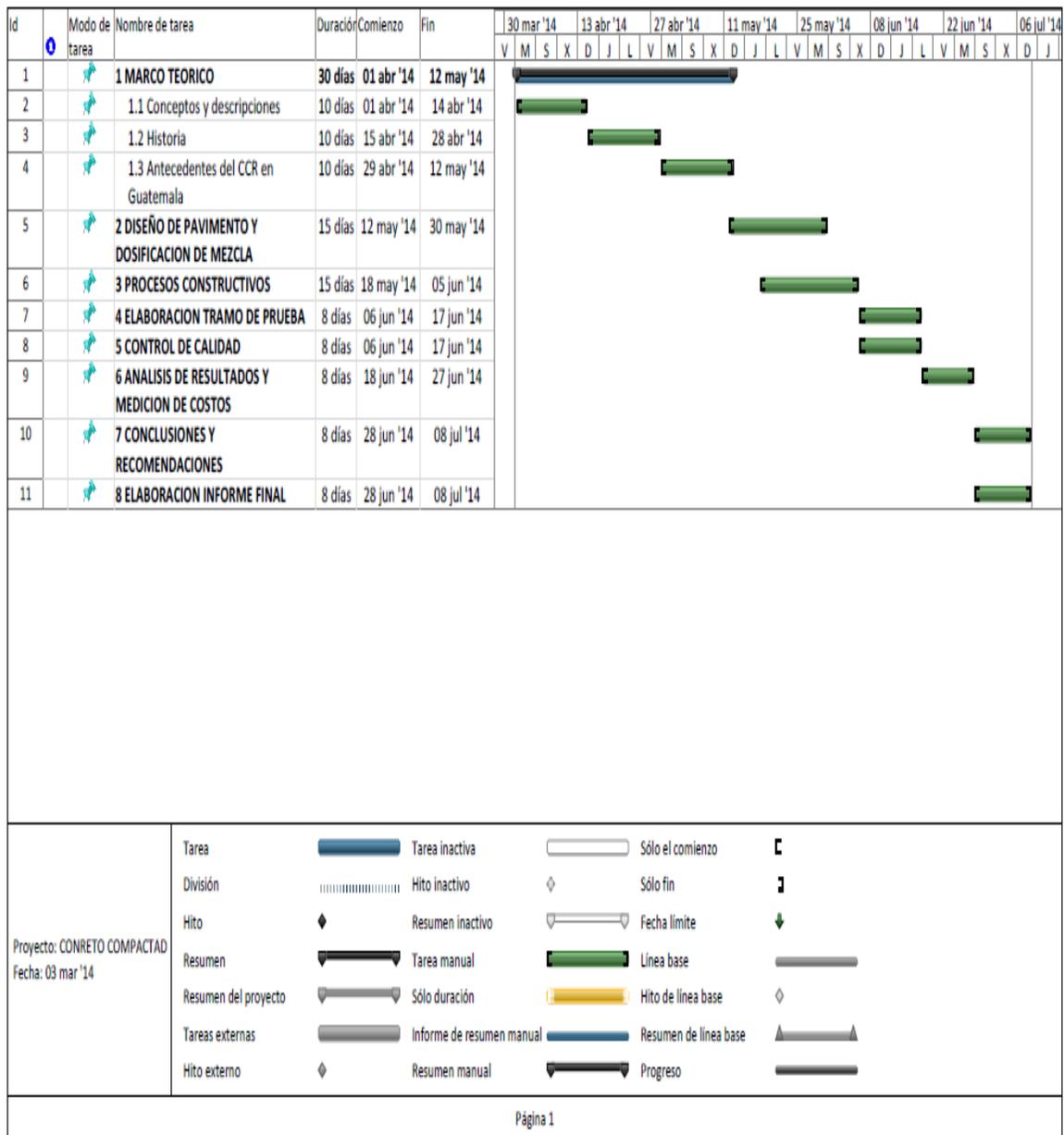
RECURSOS NECESARIOS PARA LA INVESTIGACIÓN DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR),
PROCESO CONSTRUCTIVO Y NORMA DE REGULACIÓN , COMO ALTERNATIVA DE PAVIMENTACION PARA
CARRETERAS EN GUATEMALA

Recursos de Equipo y Herramienta				
No.	Descripción	Unidad	Costo en Q.	
1	Equipo de Laboratorio Suelos	Global	Q	3,000.00
2	Equipo de Laboratorio Concreto	Global	Q	3,000.00
3	Equipo de Computo	Global	Q	1,000.00
4	Equipo de Colocado Concreto (Pavimentadora y compactadora	Global	Q	8,000.00
5	Equipo de Dosificación	Global	Q	1,000.00
6	Equipo de Transporte	Global	Q	2,000.00
Sub Total			Q	18,000.00
Recurso Humano				
No.	Descripción	Hrs	Unidad	Costo en Q.
1	Investigador	50	100	5,000.00
2	Laboratorista de Suelos	20	75	1,500.00
3	Laboratorista de Concreto	20	75	1,500.00
4	Ayudantes	100	45	4,500.00
5	Asesor	20	125	2,500.00
6	Personal de Pavimento	60	150	9,000.00
Sub Total			Q	24,000.00
Recurso Material				
No.	Descripción	Hrs	Unidad	Costo en Q.
1	Agregados	M3	18	3,200.00
2	Cemento	Sacos	165	11,500.00
3	Aditivo de Concreto	Galones	15	700.00
4	Agua	Galones	3000	1,500.00
Sub Total			Q	16,900.00
RESUMEN				
No.	Rubro	Cantidad		
1	Recurso Equipo y Herramienta	Q 18,000.00		
2	Recurso Humano	Q 24,000.00		
3	Recurso Material	Q 16,900.00		
TOTAL		Q 58,900.00		

Fuente: elaboración propia.

14. CRONOGRAMA

Tabla II. Cronograma de la Investigación



15. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguirre, L. (1997). El concreto hidráulico en la red Carretera Nacional. *Construcción y Tecnología*.
2. American Concrete Institute (2002). *Guía para la construcción de losas y pisos de concreto*. México, D.F.: Instituto mexicano del cemento y del concreto, A.C.
3. American Concrete Institute (ACI). (2002). *Guía para la medición, mezclado, transporte y colocación del concreto ACI 304-00*. México, D.F.: Instituto mexicano del cemento y del concreto, A.C.
4. CODICO (2007). *Concreto compactado con rodillo, experiencia en Guatemala, aldea El Sinaca, Sanarate, El Progreso*. Guatemala, Guatemala: Autor.
5. Comité técnico de carreteras de hormigón de la AIPCR (2006). *La carretera de Hormigón. Guía práctica para la transferencia de tecnología*. Panamá, Panamá: Federación interamericana del cemento.
6. De la Fuente, E. (1995). *Suelo-Cemento, Sus usos, propiedades y aplicaciones* (1ª Ed.). México, D.F.: Florida.

7. Di Pace, G. y Sierra, M. (1994). *El pavimento de hormigón, una alternativa para el desarrollo vial*. Centro Técnico del Hormigón (CTH). Guayaquil, Ecuador.
8. Dirección General de Caminos. (2001). *Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes*. Guatemala, Guatemala.
9. Instituto Colombiano de Productores de Cemento (1976). *Diseño estructural de pavimentos de suelo-cemento*. Medellín, Colombia: ICPC.
10. Instituto Colombiano de Productores de cemento. (2004). *Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto*. Medellín, Colombia: ICPC.
11. Jofre, C., Josa, A., Fernández, R., Kraemer, C. y Vaquero, J. (1997). *Manual de pavimentos de hormigón para vías de baja intensidad de tráfico*. Instituto español de cementos y sus aplicaciones (IECA). Madrid, España.
12. Parmigiani, M. y Di pace, G. (2000). *Diseño estructural de pavimento de hormigón compactado con rodillo*. Centro Técnico del Hormigón. Guayaquil, Ecuador: Instituto ecuatoriano del cemento y el concreto.
13. Piloña, G. (2011). *Guía práctica sobre métodos y técnicas de investigación documental y de campo (8a. Ed.)*. Guatemala, Guatemala.

14. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2001). *Manual centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala, Guatemala.
15. Sierra, M. (1997). Análisis de la red vial del Ecuador. *Centro Técnico del Hormigón*. Guayaquil, Ecuador: Instituto ecuatoriano del cemento y el concreto.
16. Solano, J. (2009). *Concreto compactado con rodillo y su aplicación en pavimentos y represas*. Documento presentado en Seminario ICCG. Febrero, Guatemala.

