



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Vial

**ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE
PAVIMENTO, PARA LA RUTA NACIONAL 7E TRAMO I, SAN JULIÁN- TAMAHÚ**

Ing. Luis Alfredo Ochoa Marroquín

Asesorado por MSc. Ingeniero Armando Fuentes Roca

Guatemala, noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE
PAVIMENTO, PARA LA RUTA NACIONAL 7E TRAMO I, SAN JULIÁN- TAMAHÚ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y LA ESCUELA
DE ESTUDIOS DE POST GRADO
POR

ING. LUIS ALFREDO OCHOA MARROQUÍN

ASESORADO POR MSC. INGENIERO ARMANDO FUENTES ROCA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA VIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	MSc. Ing. Neri Armando Nájera Argueta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

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

Ref. APT-2016-072

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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería Vial titulado: **"ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE PAVIMENTO, PARA LA RUTA NACIONAL 7E TRAMO I, SAN JULIÁN - TAMAHÚ"** presentado por el Ingeniero Civil Luis Alfredo Ochoa Marroquín, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO



Guatemala, noviembre de 2016.

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-070

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE PAVIMENTO, PARA LA RUTA NACIONAL 7E TRAMO I, SAN JULIÁN - TAMAHÚ"** presentado por el Ingeniero Civil Luis Alfredo Ochoa Marroquín, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería Vial; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



MSc. Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Director

Escuela de Estudios de Postgrado

Guatemala, noviembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. **Programas de Maestrías:** Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. **Especializaciones:** Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.



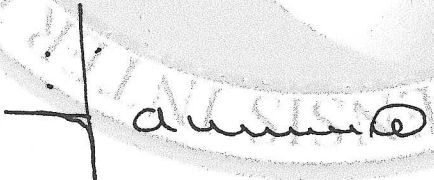
FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2016-070

Como Coordinador de la Maestría en Artes en Ingeniería Vial y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES ESPESORES DE LOSA DE PAVIMENTO, PARA LA RUTA NACIONAL 7E TRAMO I, SAN JULIÁN - TAMAHÚ"** presentado por el Ingeniero Civil Luis Alfredo Ochoa Marroquín, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, noviembre de 2016

Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por todas sus bendiciones.
Mis padres	Oscar Ochoa y Dolores Marroquín de Ochoa (q.e.p.d), con amor infinito.
Mi esposa	Rosa María Marroquín de Ochoa, con mucho amor.
Mis hijos	Luis Alfredo y Luz María Dolores Ochoa Marroquín, con mucho amor.
Toda la familia	Con respeto y cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Escuela de Estudios de Postgrado, Por la oportunidad de formarme en ella.
Facultad de Ingeniería, USAC

Ing. Irving Martínez Por compartir sus conocimientos para la
culminación de este trabajo.

Compañeros de la sexta cohorte Por las experiencias compartidas.
de la Maestría en Ingeniería Vial

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LAS PREGUNTAS ORIENTADORAS.....	XXI
JUSTIFICACIÓN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
ALCANCES.....	XXVII
METODOLOGÍA.....	XXIX
TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	XXXI
RESUMEN DE MARCO TEÓRICO	XXXIII
1. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	1
2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.....	5
2.1.Topografía del área donde se realizará el proyecto	5
2.2.Condiciones meteorológicas	6
2.3.Geología.....	6
2.3.1. Marco geológico regional.....	8
2.3.2. Geomorfología	11
2.3.3. Geología del tramo puente Chascó, San Julià.....	11

2.3.3.1. Aluviones (Cuaternario reciente) constituídos por depósitos de terrazas aluviales	11
2.3.3.2. Rocas calizas de la formación Cobán	12
2.3.3.3. Rocas metamórficas del Pérmico que incluyen lutitas negras, filitas y limolitas de color café	12
2.3.3.4. Sismicidad.....	15
2.3.3.5. Deslizamientos en el área	15
2.4. Hidrografía de la zona.....	16
2.4.1. Hidrografía.....	16
2.4.2. Precipitación anual	16
2.5. Descripción del trabajo de campo realizado para calcular el espesor de la losa	17
2.6. Tránsito promedio diario TPDA y cálculo de crecimiento vehicular ESAL para el tramo San Julián – TamahúRN - 7 E	22
2.6.1. Los volúmenes de tránsito.....	22
2.6.2. Tránsito promedio diario anual (TPDA)	22
3. PAVIMENTO RÍGIDO	29
3.1. Analogía estructural del pavimento rígido	29
3.1.1. Propiedades mecánicas de una carpeta de rodadura rígida (de concreto hidráulico)	29
3.1.2. Carga en un pavimento rígido	29
3.1.3. Ventajas y desventajas del pavimento rígido.....	31
3.1.3.1. Ventajas	31
3.1.3.2. Desventajas	31

4.	PROPUESTA PARA PAVIMENTACIÓN RÍGIDA SAN JULIÁN - TAMAHÚ.....	33
4.1.	Tratamiento de subrasante con cal y cemento, diseño de pavimento rígido.....	33
4.2.	Diseño de pavimento rígido.....	33
4.3.	Cambio de espesor de losa y ancho de la sección típica	42
4.4.	Revisión al diseño de la estructura de pavimento rígido utilizando la metodología AASHTO '93	43
4.5.	Pavimento de concreto hidráulico.....	44
4.6.	Diseño de pavimento	44
4.6.1.	Revenimiento.....	46
4.6.2.	Temperatura	47
4.6.3.	Apertura al tráfico	47
5.	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	49
5.1.	Calidad de los agregados	49
5.1.1.	Análisis granulométrico.....	49
5.1.2.	Equivalente de la arena	51
5.1.3.	Límites de consistencia de Atterberg	51
5.1.4.	Límite líquido.....	52
5.1.5.	Límite plástico.....	53
5.1.6.	Pesos unitarios	53
5.1.7.	Gravedad específica	53
5.1.8.	Porcentaje de absorción	54
5.1.9.	Módulo de finura de la arena	54
5.2.	Abrasión por máquina de los Ángeles	55
5.2.1.	Calidad del agua	57

6.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PROPUESTA DE PAVIMENTOS CON ESPESOR DE LOSA DE 0.175, 0.170, 0.16, 0.15 Y 0.14 METROS Y EL RESULTADO DE LA PROPUESTA AASHTO '93.....	59
6.1.	Corridas con software Winpas.....	60
6.2.	Presentación de resultados.....	64
6.3.	Discusión de resultados	65
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
	APÉNDICES.....	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de zona de influencia geológica del proyecto mejoramiento y pavimentación de la ruta 7E, tramo I San Julián – Tamahú	10
2.	Mapa geológico de la cuenca del río Polochic	14
3.	CBR al percentil 85 = 10 % = CBR de diseño	21
4.	Pavimentos rígidos	30
5.	Pavimento de concreto	31
6.	Estados y límites de los suelos	52
7.	Valoración del ESAL	59
8.	Módulo de reacción k de subrasante	60
9.	Pavimento con 17.65 cm.	61
10.	Pavimento con 17 cm.....	61
11.	Pavimento con 16 cm.....	62
12.	Pavimento con 15 cm.....	62
13.	Pavimento con 14 cm.....	63

TABLAS

I.	Diseño del pavimento del tramo San Julián-Tamahú.....	20
II.	Tipos de vehículos automotores utilizados en Guatemala	25
III.	Tasa de crecimiento para cada tipo de vehículo	26
IV.	Cálculo de ejes equivalentes.....	27
V.	Propuesta para pavimentación rígida, tramo San Julián - Tamahú	33
VI.	Propuesta para tratamiento de subrasante con cal y cemento, tramo San Julián - Tamahú	37
VII.	Graduación de agregados	50
VIII.	Especificaciones de carga para ensayo abrasivo	56
IX.	Granulometrías de agregado para ensayo abrasivo	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cms.	Centímetros
g	Gramo
g/cm²	Gramo por centímetro cuadrado
Kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado
Kg/cm³	Kilogramo por centímetro cúbico
Km.	Kilómetro
lbs.	Libras
psi	Libras sobre pulgada cuadrada
m	Metros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MF	Módulo de finura

GLOSARIO

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i> ; o sea Asociación Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes.
ACI	Instituto Americano de Concreto.
Aditivo	Compuesto químico que se agrega al concreto al momento del mezclado, para mejorar sus características y cualidades.
Asfalto	Es una mezcla de líquidos orgánicos altamente viscosa, negra y pegajosa, derivada del petróleo, completamente soluble en disulfuro de carbono y compuesta principalmente por hidrocarburos aromáticos policíclicos. Se utiliza frecuentemente en el rubro de la pavimentación de calles y carreteras.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i> ; es decir, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
Caliza	Roca sedimentaria de precipitación química, formada por calcita, la cual está compuesta de carbonato de calcio, brillo vítreo y birrefringencia muy fuerte. Es usada para obtener agregado fino y grueso para el concreto.

CBR	<i>California Bearing Ratio</i> (ensayo de relación de soporte de California).
Corte en roca	Consiste en excavar todo el material rocoso, incluyendo piedras grandes que se encuentren en el lecho o en los taludes del camino.
ESAL	<i>Equivalent Single Axle Load</i> (Carga de eje equivalente simple).
Escarificación	Consiste en la disgregación de la superficie del terreno, ayuda a que el suelo absorba el agua y su posterior compactación a efecto de homogeneizar la superficie de apoyo, confiriéndole las características prefijadas de acuerdo con su situación en la obra.
Espécimen	Porción de concreto que se considera para mostrar las cualidades de la mezcla.
Filita	Es una roca que representa una gradación en el grado de metamorfismo entre la pizarra y el esquisto. Sus minerales planares son más grandes que los de la pizarra, pero no lo bastante como para ser fácilmente identificables a simple vista.
Granulometría	Graduación del tamaño de las piedras o granos que constituyen los agregados fino y grueso. Método para determinar dicha graduación.

Geomorfología	La geomorfología estudia, por ejemplo, los rasgos del relieve y su clasificación, la proporción de rocosidad, los procesos erosivos, origen y formación de montañas, llanuras, valles, la dinámica de los procesos internos de la Tierra, entre otros.
Hormigonado	Colocación del concreto dentro de una formaleta. Sinónimo de fundición y de colado de concreto.
Licuefacción	Describe el comportamiento de suelos que, estando sujetos a la acción de una fuerza externa (carga), en ciertas circunstancias pasan de un estado sólido a un estado líquido, o adquiere la consistencia de un líquido pesado. Es un tipo de corrimiento provocado por la inestabilidad de un talud.
Lutita	Es una roca sedimentaria detrítica o clástica de textura pelítica, variopinta; es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo.
Mezcladora	Máquina con motor eléctrico o de combustible, formado por un tambor para mezclar los componentes de concreto.
Oquedad	Espacio vacío dentro del concreto. También se le llama ratonera.

Pendiente	En el ámbito de las matemáticas, se llama pendiente a la inclinación de un elemento, ya sea el mismo, natural constructivo o ideal, respecto de una horizontal.
Probeta	Tubo o vaso de cristal o plástico, generalmente graduado y con pie, utilizado para contener y medir líquidos.
Remoción de derrumbes	Remoción de derrumbes es la operación de remover el derrumbe o deslizamiento del talud original que caiga sobre la carretera.
Revenimiento	Asentamiento del concreto cuando se ensaya en el cono de Abrahams.
Roca carbonática	Clásicamente conocidas como calizas (rocas para la fabricación de la cal), los sedimentos y sedimentitas constituidas por el anión carbonato tienen gran importancia, no solo por su frecuencia en el registro geológico, sino por su valor aplicado y por su interés científico.

Roca clástica	Son una clase de rocas sedimentarias compuestas de fragmentos, o clastos de roca y minerales preexistentes acumulados mecánicamente, que se han vuelto a consolidar en mayor o menor grado. Cuando no se ha consolidado se prefiere emplear el término depósito.
Roca Metamórfica Paleozoico (Pzm)	Rocas constituidas por esquistos, cuarcitas, pizarras, migmatitas y filitas; se ubican en la parte central y sur de la vertiente cordillerana. Presentan indicios de metamorfismo retrógrado y han sufrido más de un período de deformación.
Sangrado	Relación entre la cantidad de agua que aparece en la superficie de una muestra y la cantidad total contenida en el concreto colocado.
Segregación	Separación en mortero y agregado grueso, causada por el asentamiento de dicho agregado.
Talud	Para la ingeniería y la arquitectura, el talud es la diferencia que existe entre el grosor del sector inferior del muro y el grosor del sector superior, creando una pendiente. Esto permite que el muro pueda resistir la presión que ejerce la tierra detrás de él.

RESUMEN

Este trabajo es producto del análisis comparativo de espesores de pavimento rígido que se realizó entre el espesor propuesto en el estudio de Diseño del Proyecto Ruta Nacional 7E Tramo I San Julián - Chascó y está propuesto dentro del contrato original en la construcción y pavimentación del subtramo de 12.20 kilómetros localizados entre el paraje San Julián municipio de Tactic, Alta Verapaz y el municipio de Tamahú, Alta Verapaz sobre la ruta Nacional 7E, el cual es de 0.17 metros, el que se construyó que es de 0.16 metros y los calculados de 0.14 metros, 0.15 metros, 0.16 metros (espesor construido), 0.17 metros y 0.1765 metros utilizando la metodología que recomienda AASHTO 93 y el software Winpas para pavimentos rígidos de carreteras, con el fin de demostrar la vida útil de la losa de concreto hidráulico de acuerdo a su espesor.

En el cálculo del espesor de superficie de rodadura de concreto hidráulico que soporte las exigencias impuestas por el tránsito usuario, se tomaron en cuenta las características geológicas y geotécnicas de los suelos de fundación sobre los que transcurre el trazo del subtramo en estudio y el tipo de vehículos que integran el tránsito usuario actual e integrarán el tránsito usuario proyectado en el período de análisis.

La metodología utilizada en el cálculo de espesor de losa a recomendar para ser usada como superficie de rodadura en el subtramo en estudio, se basó en la metodología AASHTO 93 y el software Winpas para pavimentos rígidos, que es confiable por ser mecanicista e incorporar la geometría del tamaño de las losas y el alabeo de las mismas como factores importantes en el comportamiento de este tipo de pavimentos.

Para la realización de la gráfica variación del ESAL soportado con base en la variación del espesor de losa, se consideró el cálculo del espesor de losa en función del módulo de reacción K del material de subrasante, también es una función del módulo resiliente de la subrasante del proyecto (CBR al 85 % percentil), espesor y módulo de resiliencia del material de base, profundidad de la fundación del pavimento rígido y pérdida de soporte) y el ESAL de diseño.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala se ha iniciado con ímpetu la utilización del concreto hidráulico en la pavimentación de carreteras, en lugar de mezclas asfálticas como superficies de rodadura. Como es normal, en todo lo nuevo que se emprende es necesario hacer análisis comparativos de la vida útil del nuevo pavimento, principal impulsor para realizar este trabajo de investigación.

El trabajo consiste en realizar un análisis comparativo de diferentes espesores de losa para pavimento de concreto hidráulico, utilizando la metodología AASHTO 93, con el fin de demostrar la vida útil de las losas de concreto hidráulico de acuerdo a diferentes espesores.

En el capítulo 1 se detallan características a considerar para diseñar concreto hidráulico, tomando en cuenta los valores de reacción K de los materiales de la sub rasante, el entorno climático, topográfico, geológico y geotécnico, así como los factores de diseño de la estructura que soportará tanto la losa como el tránsito vehicular usuario, el método de diseño de pavimento utilizado el período de diseño y vida útil asignada al pavimento.

En el capítulo 2 se habla de las características de la ubicación del proyecto (zona de falla del río Polochic), el clima, la vegetación, la topografía. Se describen los trabajos de campo realizados para calcular el espesor de la losa, tales como CBR; TPDA, cálculo del ESAL de diseño.

En el capítulo 3 se habla de la analogía estructural del pavimento rígido, de las propiedades mecánicas de una carpeta de rodadura tipo rígida, de las ventajas y desventajas de estas.

En el capítulo 4 se presenta la propuesta original para la pavimentación rígida. El cambio de espesor de losa, el ancho de la sección típica y la revisión al diseño de la estructura de pavimento rígido utilizando la metodología AASHTO '93 propuesta que dio origen al presente trabajo de graduación.

En el capítulo 5 se hace referencia al diseño de mezclas de concreto hidráulico y se describen todos los ensayos de mecánica de suelos.

En el capítulo 6 se presenta los resultados de la comparación de la propuesta de pavimentos con diferentes espesores de losa variando entre 0.1765 y 0.14 metros, el resultado de la utilización de la metodología AASHTO 93, se estableció una gráfica de variación del ESAL soportado, de acuerdo con la variación del espesor de losa, y el ESAL de diseño, la discusión de los resultados, las conclusiones y recomendaciones.

ANTECEDENTES

El diseño de superficies de rodadura de concreto hidráulico, en vías terrestres de la República de Guatemala, ha sido analizado en algunos estudios de investigación, para determinar su vida útil, en estos ha quedado evidenciado, que para obtener resultados óptimos, se debe regir a las normas constructivas tales como: las Especificaciones Generales Para Construcción De Carreteras Y Puentes (Caminos, 2001); además es conveniente consultar Normas Internacionales, como las emitidas en AASHTO 93 y el Manual centroamericano para diseño de pavimentos.(Iturbide, 2001). En el que se presentan propiedades que influyen en el diseño de un pavimento de concreto y en su comportamiento a lo largo de la vida útil:

- Resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) o módulo de ruptura (MR)
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c).

Dada la gran importancia que tiene el diseño de superficies de rodadura, es necesario consultar diferentes estudios de pavimento de concreto hidráulico que se han realizado en otros países en torno a esto, por lo que se consultó a la (Universidad Politécnica Salesiana cap.8. p.292), presenta una carpeta de rodadura tipo rígida, está construida con concreto hidráulico, debido a su rigidez y gran módulo de elasticidad, basa su capacidad cortante en la losa más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base, entre otras.

Se puede indicar que entre los trabajos consultados en Guatemala solo se encontraron estudios de pavimento de concreto hidráulico, basados en calidad de materiales para conseguir una mejor vida útil, no así, análisis comparativos entre diferentes espesores de losa.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LAS PREGUNTAS ORIENTADORAS

El problema que se encontró en el tramo en estudio San Julián-Chascó es la modificación al espesor de la losa que servirá de rodadura diseñado en el estudio, ya que de 0.17 metros para tener una vida útil de 20 años y que es el espesor contratado para la construcción del mismo, se autorizó un espesor de 0.16 metros con lo que se pierden 5 años de vida útil del pavimento de concreto hidráulico.

El cambio de espesor de losa lo autorizaron las autoridades de la Dirección General de Caminos, debido factores económicos para terminar la obra, debido a que hubo necesidad de ampliar a lo largo del tramo de 4 metros de rodadura existente a 12 metros en corte y 11 metros en relleno, ya que la sección de diseño utilizada, es una sección típica "C".

Al iniciar con la ampliación que fue de más de siete metros, se encontró áreas de roca que no existían en el estudio preliminar y menos en el presupuesto asignado y hubo que crear el renglón de trabajo, al tocar el pie de talud de los cerros se desestabilizaron y provocaron derrumbes, al extremo que el renglón de movimiento de tierra (Corte en roca y remoción de derrumbes) sobre pasó lo asignado en el presupuesto a estos renglones de trabajo, y resultó ser más caro que el propio pavimento de concreto hidráulico.

Otro factor importante que incidió en la construcción, es la ubicación geográfica en la que se encuentra el Tramo San Julián-Chasco, la cual lo hace muy especial por todas las condiciones que afectan el entorno del proyecto, tales como las climáticas, topográficas y geológicas; datos que al final, no tomarlos en cuenta sumarán componentes que pueden generar pérdidas económicas significativas e incluso pérdidas humanas.

- ¿Por qué es importante utilizar la metodología de AASHTO 93 en el diseño de losas de concreto hidráulico para utilizarse como rodadura en una carretera?
- ¿Por qué es importante hacer un análisis comparativo entre diferentes espesores de losas de concreto hidráulico?
- ¿Qué metodología debe usarse para determinar el espesor que cumpla con una vida útil de 20 años, de las losas de concreto hidráulico?
- ¿Por qué es importante contar con el conteo de tránsito promedio diario (TPDA)?
- ¿Cómo podrá determinarse el espesor de la losa a partir de las cargas vehiculares, a las que estará sometida la estructura de pavimento?
- ¿Por qué es necesario evaluar las condiciones climáticas, topográficas y geológicas que existen en el entorno del proyecto RN 7E tramo San Julián – Tamahú de la Ruta Nacional 7E, para diseñar un espesor de pavimento de concreto hidráulico?
- ¿Podrá presentarse una contrapropuesta, eligiendo el espesor adecuado, con base en la metodología AASHTO 93?

JUSTIFICACIÓN

Con la culminación de este trabajo, se podrá demostrar que al utilizar la Metodología AASHTO 93 y el software Winpass, se obtendrá el espesor de losa del pavimento de concreto hidráulico adecuado, para el tiempo de vida útil diseñado, lo cual es importante debido a que la vida útil del pavimento se incrementa, beneficiando a los usuarios del tramo quienes podrán disfrutar de una transitabilidad más confortable y segura por más años, a la vez tendrán la oportunidad de ser los mismos productores los que lleven a los distintos mercados sus propias cosechas, además de resolver problemas de acceso a la educación, la salud, contribuyendo con esto a la superación de las comunidades asentadas a lo largo de la margen del río Polochic.

Cabe mencionar que el aporte de este trabajo es dar a conocer el tiempo de vida útil de los diferentes espesores de losa, los cuales al ser tomados en cuenta también convierten en beneficiario al Estado de Guatemala, al no tener que invertir en mantenimientos al pavimento a corto plazo.

La metodología utiliza todos los resultados de laboratorio de mecánica de suelos que se les practicaron a los suelos que componen la subrasante, así como los materiales utilizados para la construcción de la estructura a utilizarse para asentar el pavimento de concreto hidráulico, y los agregados tanto finos como gruesos que formaron parte del Concreto Hidráulico del proyecto en estudio, (sub tramo San Julián – Tamahú). Además se tomaron en cuenta los componentes climáticos, topográficos, geológicos y geotécnicos.

También se tomaron en cuenta, los valores de reacción K de los materiales de sub rasante, la calidad de los materiales de base, el dimensionamiento adecuado de la losa de concreto hidráulico que servirá de rodadura.

Otro de los componentes que intervienen es el ESAL de diseño, obtenido de los aforos o conteos vehiculares que transitan por el tramo actualmente, y los que transitarán dentro de veinte años, de acuerdo a lo proyectado de vida útil del pavimento de concreto hidráulico.

Con estos resultados se espera hacer una contra propuesta del espesor de losa, a construirse debido a los años de vida útil que se pierden al haber variado el espesor de losa de concreto hidráulico diseñado en el estudio original.

OBJETIVOS

General

Realizar un análisis comparativo entre diferentes espesores de pavimento de concreto hidráulico a utilizarse en el Proyecto: mejoramiento y pavimentación de la ruta nacional 7E, tramo I: San Julián – Tamahú, mediante la utilización de la metodología AASHTO 93 para determinar cuál es el espesor adecuado que prolonga la vida útil del pavimento.

Específicos

1. Evaluar las características geológicas y geotécnicas de los suelos de fundación sobre los que transcurre el trazo del sub-tramo y el tipo de vehículos que integran el tránsito usuario actual e integrarán el tránsito usuario proyectado entre San Julián y Tamahú, en el período de análisis, para diseñar un espesor de superficie de rodadura de concreto hidráulico que satisfaga las exigencias impuestas por el tránsito usuario.
2. Calcular el espesor de losa a utilizarse como superficie de rodadura del pavimento del sub-tramo, San Julián – Tamahú, con base en la metodología AASHTO 93.

3. Comparar el espesor de losas contratado originalmente (de 0.17 metros), con el construido de (0.16 metros) y el calculado usando la metodología AASHTO 93, para recomendar el espesor que deberá utilizarse en el mejoramiento y pavimentación del sub tramo.

ALCANCES

La trascendencia de este trabajo radica en demostrar que al utilizar adecuadamente los resultados del análisis comparativo de diferentes espesores de losa, se consigue más años de vida útil en la pavimentación de la Ruta Nacional 7E, Tramo I San Julián – Chascó, Sub tramo San Julián – Tamahú. Al no utilizar bien los resultados obtenidos, se perjudica la economía del país, al tener que dar mantenimiento al pavimento de concreto hidráulico prematuramente, y perjudicando a las comunidades principales usuarios del tramo carretero, al enfrentar problemas de transitabilidad, perjudicando su economía y se dificulta más el acceso a la salud y a la educación.

Se presenta una metodología (AASHTO 93, y el software Winpas para pavimentos rígidos) que es un modelo confiable por ser mecanicista e incorporar la geometría del tamaño de las losas y el alabeo de las mismas como factores importantes en el comportamiento de este tipo de pavimentos, con esta metodología se hace un análisis comparativo de diferentes espesores que van desde 0.15 metros, 0.16 metros, 0.17 metros y 0.1765 metros para obtener la vida útil de cada espesor; además, se pone de manifiesto que es importante tomar en cuenta todos los factores del entorno, tales como físicos, geológicos y del clima, para brindar construcciones de buena calidad y beneficiar a la población usuaria de estas obras y por ende, a nuestro país.

METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en 5 fases, las cuales consistieron en:

- Se realizó un recorrido a través del tramo San Julián – Tamahú para obtener una evaluación visual preliminar, que sirvió para identificar la variación de los suelos en diferentes puntos del tramo en estudio.
- Se inició con el trabajo de muestreo de campo, el cual consistió realizar calicatas o pozos a cielo abierto, a profundidades que oscilaron entre los 0.80 metros hasta 1.10 metros con área aproximada de 1 metro cuadrado hechos a la derecha al centro y a la izquierda de la sección típica, en los puntos en donde se verificó visualmente los cambios de suelos.
- Con los materiales obtenidos de las calicatas o pozos a cielo abierto, se tomaron muestras representativas debidamente identificados por clasificación visual del material y localización por estacionamiento sobre la línea del trazo del sub tramo San Julián – Tamahú inicialmente a cada 250 metros de distancia una de otra, debido a la similitud en características en muestreos consecutivos, se decidió realizarlas en puntos intermedios, en donde se determinó que los suelos sufrían una variación considerable en sus características.

- Se determinaron las características fisicomecánicas y geotécnicas de los suelos extraídos, en el laboratorio de mecánica de suelos.
- A la vez, se le realizó la medición de los volúmenes del flujo vehicular, a través de conteos o aforos volumétricos de tránsito tomando en cuenta el origen y destino de los mismos, para obtener el ESAL de diseño.

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Las técnicas de análisis de información consistieron en ensayos de laboratorio de suelos para determinar las características fisicomecánicas y geotécnicas de los suelos (Descrito en 2.5).

Para la realización de los ensayos se colocó sobre el piso la muestra de suelo a ensayar; es importante tomar en cuenta que el piso debe de estar totalmente limpio para evitar contaminación. La muestra se mezcló de forma tal que se percibiera homogénea para luego realizar el cuarteo y distribuir diferentes pesos de la misma para los diferentes ensayos. A continuación se muestran las cantidades solicitadas para cada ensayo:

- Cinco (5) kilogramos de suelo para ensayo de densidad máxima y contenido óptimo de humedad.
- Medio ($\frac{1}{2}$) kilogramo de muestra para el ensayo de límites de Atterberg.
- Dos (2) kilogramos de muestra para ensayo de peso específico y análisis granulométrico fino y grueso.
- Medio ($\frac{1}{2}$) kilogramo de muestra para ensayo de equivalente de arena.
- Doce (12) kilogramos de muestra para CBR distribuidos de la siguiente manera:

- Cuatro (4) kilogramos para CBR de 10 golpes
- Cuatro (4) kilogramos para CBR de 25 golpes
- Cuatro (4) kilogramos para CBR de 65 golpes

Saturación de hinchamiento, corrida en la prensa para CBR, con anillos de 2 000 a 6 000 lbs. El resultado de CBR se tomó a 95 % de compactación (apéndice 2). Los resultados de estos ensayos se plasmaron en un cuadro resumen. (Ver tabla I).

A la vez, se realizó la medición de los volúmenes del flujo vehicular a través de conteos o aforos volumétricos del tránsito en el propio tramo, tomando en cuenta el origen y destino de los mismos y así obtener el ESAL de diseño (Descrito en 2.6).

RESUMEN DE MARCO TEÓRICO

Este trabajo se basa en los métodos o técnicas más utilizados en Centroamérica, tales como la guía de diseño de la AASHTO 93, para determinar espesores de losa de concreto hidráulico, además de los trabajos que se deben hacer para alcanzar suelos adecuados que sirvan de fundamento y que soporten el peso de la losa de concreto hidráulico y el tránsito actual y el proyectado a 20 años, además del software Winpass para determinar la vida útil de las losas de concreto hidráulico, dependiendo de los espesores y la geometría de las mismas.

También para el diseño en concreto hidráulico, se utilizó la guía de PCA (Portland Cement Association) de los cuales se tomaron los conceptos al momento de realizar el presente trabajo, ya que son una guía para los trabajos que se ejecutan en pavimentos de concreto hidráulico utilizados como capa de rodadura en las carreteras.

Al igual que el tránsito se han respetado las normas desarrolladas por SIECA, para definir pesos y dimensiones, las cuales fueron aprobadas en 1958 y se estandarizaron en el año 2001, a raíz de la actualización del Acuerdo Centroamericano sobre circulación de carreteras.(Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento, 2001).

En cuanto a Laboratorio de Mecánica de Suelos se refiere, se tuvo acercamiento con profesionales especialistas en materia de mecánica de suelos y fue así como el Ingeniero Irvin Martínez Quevedo, con charlas sostenidas con él, se obtuvo sugerencias y lineamientos de los ensayos, así como la revisión de la interpretación de los resultados obtenidos. (Ver capítulo 5).

Para la realización de trabajo de campo, se utilizó a personal con experiencia en obtención de muestras de suelo en el campo, las cuales serían utilizadas para realizar los ensayos en el laboratorio de suelos en gabinete.

Dichas muestras fueron ensayadas, en el laboratorio de suelos de la Empresa Constructora, interviniendo para ello el personal calificado para el efecto.

Además de las muestras de suelo, se ensayaron vigas y cilindros del concreto hidráulico colocado como superficie de rodadura, a diferentes edades, para determinar la resistencia del mismo a flexión y compresión. (Ver Apéndices).

1. FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Cuando se trabaja en el diseño de superficies de rodadura de pavimentos rígidos se debe tomar en cuenta, para evitar la presencia de fallas prematuras, los valores de reacción de los materiales de subrasante K, la calidad de los materiales de base, espesores suficientes, dimensionamiento adecuado de losas, y valor detenidamente la necesidad de utilizar refuerzos entre losas, además de:

- El entorno climático, topográfico, geológico y geotécnico dentro del cual se encuentra localizado el proyecto.
- Las consideraciones de los factores de diseño de la estructura que soportará tanto la losa como al tránsito vehicular.
- El tránsito usuario, período de diseño y vida útil asignada al pavimento.
- El método de diseño de pavimento utilizado

Los pavimentos se refieren a la base horizontal de una construcción determinada; la cual está constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el suelo. El material agregado aumentará su resistencia y permitirá la circulación de personas o vehículos. Se clasifican en: asfálticos y de concreto hidráulico.

En los pavimentos asfálticos o flexibles, la superficie de rodadura al tener menor rigidez, se deforma más, transmitiendo los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la subrasante.(Perú C. d.)

Al contrario un pavimento de concreto hidráulico o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o subbase. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.(Officials, 1993, pág. 2).

Por ser de interés al proyecto y cumplir con el objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo, en adelante el análisis se enfocará únicamente hacia pavimentos de concreto hidráulico.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: base granular o estabilizada y la losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman los pavimentos rígidos:

- Subrasante: es el soporte natural, preparado y compactado, sobre el cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos. (ACPA, pág. 5).

- Base: la capa de base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado. Entre otras funciones que debe cumplir están:
 - Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme
 - Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante
 - Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas
 - Proveer drenaje cuando sea necesario
 - Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción. (Ricci, 2015, págs. 2,3).

- Losa: es de concreto de cemento hidráulico. El contenido mínimo de cemento debe determinarse con base a ensayos de laboratorio y por experiencias previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial, debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla (Ricci, 2015, pág. 4).

Los diversos tipos de pavimentos de concreto hidráulico pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera: (Perú A. d.).

- Pavimentos de concreto simple
 - Sin pasadores
 - Con pasadores

- Pavimentos de concreto reforzado con juntas

- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores: tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel de serviciabilidad deseado, y el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera.

Todos estos factores son necesarios para predecir el comportamiento confiable de la estructura del pavimento y así evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida de servicio.

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

La ruta nacional 7E se ubica en la zona de falla del río Polochic, transcurre casi en forma paralela al río e intercepta perpendicularmente la escorrentía de subcuencas tributarias a dicho río.

En esta región se manifiestan climas de género cálido con invierno benigno, cálidos sin estación seca bien definida y semicálidos con invierno benigno. Su carácter varía de muy húmedos, sin estación seca bien definida. La vegetación característica es de selva a bosque.(Instituto Nacional de Sismología V. y.).

Las elevaciones oscilan entre los 300 hasta los 1400 msnm, es muy lluviosa y los registros más altos se obtienen de junio a octubre. Los niveles de temperatura descienden conforme aumenta la elevación.(Wikiguate).

La topografía es montañosa con alto índice de inestabilidad en los taludes, en parte debido a la deforestación y a las condiciones geológicas y geotécnicas características de rocas sedimentarias calizas, ya que el subtramo San Julián – Tamahú se desarrolla en su mayoría sobre calizas de la provincia fisiográfica de las tierras bajas de Petén.

2.1. Topografía del área donde se realizará el proyecto

El proyecto se ubica en la cuenca del río Polochic, entre la sierra de Santa Cruz, al norte y la Sierra de Las Minas, al sur.

Particularmente, la parte oeste del valle del río Polochic es bastante profunda y en ambos lados de la RN - 7E se encuentran montañas escarpadas; condición que dificulta la implementación del mejoramiento de las carreteras así como el desarrollo de la región.

Por otro lado, la sierra de Santa Cruz está ubicada cerca de la parte norte de la terraza del río Polochic para los casos de Panzós y El Estor; mientras que el lado sur del río cuenta con una topografía relativamente plana con un alto potencial para el desarrollo agrícola.

2.2. Condiciones meteorológicas

Básicamente la precipitación pluvial es muy fuerte en el área del proyecto. La precipitación anual varía entre 2,000 y 3,000 mm; se considera que la época lluviosa se da entre mayo y septiembre.

Estas fuertes precipitaciones durante la época lluviosa pueden causar desastres naturales a lo largo de la RN – 7E, particularmente derrumbes y erosión de la base del camino entre San Julián y La Tinta, así como inundaciones en las áreas bajas, tales como Telemán.

2.3. Geología

La RN – 7E se encuentra ubicada en el sistema de fallas del Polochic, que es un sistema de fallas geológicas transcurrente desarrollado de oeste a este. Este sistema tiene dirección de drenaje de oeste a este con aportaciones de afluentes ubicados en su mayoría en fallas paralelas a las perpendiculares debido a la pendiente del terreno.

Este sistema de fallamiento ha desarrollado un complejo desarrollo morfológico del área, grandes escarpes y montañas de mucho desnivel así como graben, en el cual se han desarrollado terrazas aluviales; en el primer proceso esto está provocando un sistema de rocas trituradas, otras con buzamientos definidos o bien grandes bloques cizallados, mientras que en la terrazas una acumulación de sedimentos acarreados por el proceso hídrico.(SAPROF, 2004).

En la zona montañosa, comprendida entre Tucurú y San Julián, afloran básicamente rocas metamórficas del Pérmico (lutitas y filitas muy meteorizadas) ínterestratificadas con calizas cretácicas. El nivel freático está aproximadamente a 1 metro de profundidad, en la porción de la carretera localizada en suelos aluvionales.

La capacidad de resistencia de los suelos a la compresión simple es de 5 a 10 Kg/cm². Los deslizamientos son los eventos naturales que más afectan a este tramo.

Se localizaron 18 sitios donde más han ocurrido, principalmente localizados en rocas metamórficas con un alto grado de meteorización.

Son especialmente susceptibles a deslizamientos de tierra los sitios ubicados al sur del río Polochic y las laderas norte de la sierra de Chuacús, en comparación con zonas aledañas.

El área susceptible está delimitada al oeste por la hacienda Cumbre de Rocjá y al este por la quebrada Yuxiljá. En esta área hay numerosas cicatrices y depósitos de antiguos deslizamientos de tierra. Se identificaron alrededor de 50, activados durante el huracán Mitch y tres deslizamientos de tierra previos al huracán. La causa de la susceptibilidad a la inestabilidad no está definida.

En el área afloran rocas del Pérmico ínterestratificados con calizas y areniscas de grano fino. Durante la fase de construcción y movimiento de tierra las vibraciones pueden activar los deslizamientos, por lo que se recomienda un estudio más detallado. En forma general se puede indicar que las rocas metamórficas son fáciles de extraer a través de retroexcavadora; mientras que en las rocas calizas, es más difícil su extracción.

2.3.1. Marco geológico regional

El área de estudio abarca los sitios montañosos escarpados que bordean el río Polochic, localizado en la parte este-central de Guatemala (figura 1). Hacia el norte del río Polochic, el terreno se eleva más de 1800 m hasta una planicie cárstica, topográficamente alta, con inclinación norte con unos cerros distribuidos con elevación hasta de 2540 m. (<http://www.researchgate.net/publication/238760652> Deslizamientos de tierra inducidos por el Huracán Mitch en Guatemala inventario y discusin.).

Los ríos Polochic y Motagua siguen la tendencia general de los sistemas de fallas del Motagua y del Polochic; dos fallas sub-paralelas laterales izquierdas que marcan el límite entre la placa de Norteamérica, al norte; y la placa del Caribe, al sur.

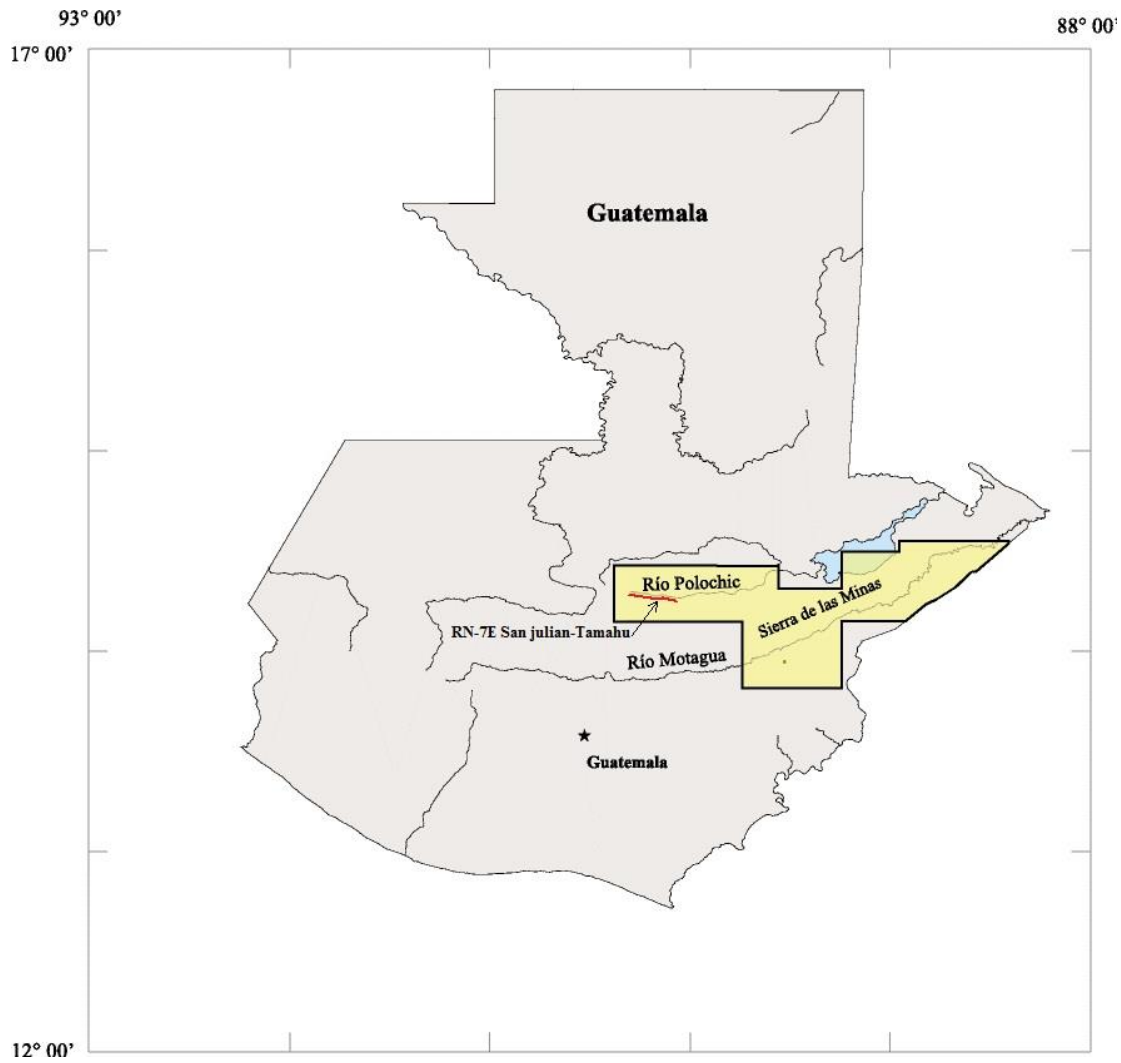
Las rocas metamórficas paleozoicas son el tipo de roca predominante en la parte central de la Sierra de Las Minas.

Las rocas clásticas y carbonáticas son las que predominan en el área. Los centros poblacionales y carreteros están distribuidos a lo largo del valle del río Polochic. Las dos carreteras más importantes en la región son la CA-9N en el valle del río Motagua y 7E en el del río Polochic. Estas dos carreteras con dirección este-oeste; unen centros poblacionales y área agrícolas con Puerto Barrios. Ambas carreteras fueron obstruidas por deslizamientos de tierra durante el huracán Mitch.

Los caminos secundarios y senderos de fincas en las laderas de los cerros y montañas que bordean el río Polochic fueron obstruidos por deslizamientos ocasionados por el Mitch. El daño a la infraestructura incluyó 53 puentes dañados y 68 destruidos, 90 secciones de calles afectadas, 2 293 casas destruidas y 19 332 afectadas seriamente.(Bucknam, 2001).

Mucho del daño de los deslizamientos de tierra a la agricultura y caminos, fue en los lugares de fuerte pendiente, situados en zonas aledañas al río Polochic; sin embargo, meses después del huracán, se documentó muy poco sobre la naturaleza y distribución de los deslizamientos de tierra, y muchas áreas permanecen expuestas a deslizamientos de tierra, con reactivaciones en períodos de lluvia intensa y de larga duración. (<http://www.researchgate.net/publication/238760652> Deslizamientos de tierra inducidos por el Huracán Mitch en Guatemala inventario y discusin.).

Figura. 1. Mapa de zona de influencia geológica del proyecto mejoramiento y pavimentación de la ruta 7E, tramo I San Julián – Tamahú



Fuente:(Instituto Geográfico Nacional)

2.3.2. Geomorfología

El tramo1 se ubica dentro del contexto geomorfológico de planicies originadas por la acción de erosión y depositación de sedimentos de origen fluvial, predominantemente del río Polochic, que han desarrollado el valle del mismo nombre. Este valle tiene como límite el sistema montañoso ubicado al norte (montañas Yalijux), y al sur la sierra de Chuacús. Los cerros se caracterizan por afloramientos de rocas calizas y metamórficas. Las rocas calizas desarrollan expresiones topográficas como cerros redondeados típicos de la topografía kartz .Relieve que está cortado por fallas, y alargados que evidencian la presencia de las mismas.

2.3.3. Geología del tramo Chascó, San Julián

Las unidades geológicas identificadas en este tramo de carretera corresponden a aluviones, rocas calizas y metamórficas.

2.3.3.1. Aluviones (Cuaternario reciente) constituidos por depósitos de terrazas aluviales

Constituido por limos, gravas y arenas finas, producto del depósito en las partes topográficamente de menor elevación. Dando origen a terrazas aluviales del río Polochic, que drenan sus aguas hacia el río del mismo nombre. La carretera entre San Julián y el puente Chascó se localiza en esta unidad, en el tramo comprendido entre puente Chascó y la población de Tukurú. Bordeado por cerros y montañas del lado derecho de la carretera, y a la izquierda, por el valle construido por el cauce del río Cahabón.

2.3.3.2. Rocas calizas de la formación Cobán (Cretácico)

Rocas carbonáticas muy fracturadas y alteradas que afloran en el sistema montañoso, en los cerros que bordean el lado derecho de la carretera, ver mapa geológico (figura 2). Conforman cerros alargados y sus cúspides redondeadas, típicos de la topografía kartz. Se identificaron algunas úvalas en las partes altas de los cerros. Estas rocas afloran predominantemente interestratificadas con las rocas metamórficas del Pérmico. El grado de tectonismo del área permite que bloques de caliza del Cretácico se encuentren en contacto de falla con bloques de roca más antiguos constituidos por rocas lutitas y filitas metamórficas.

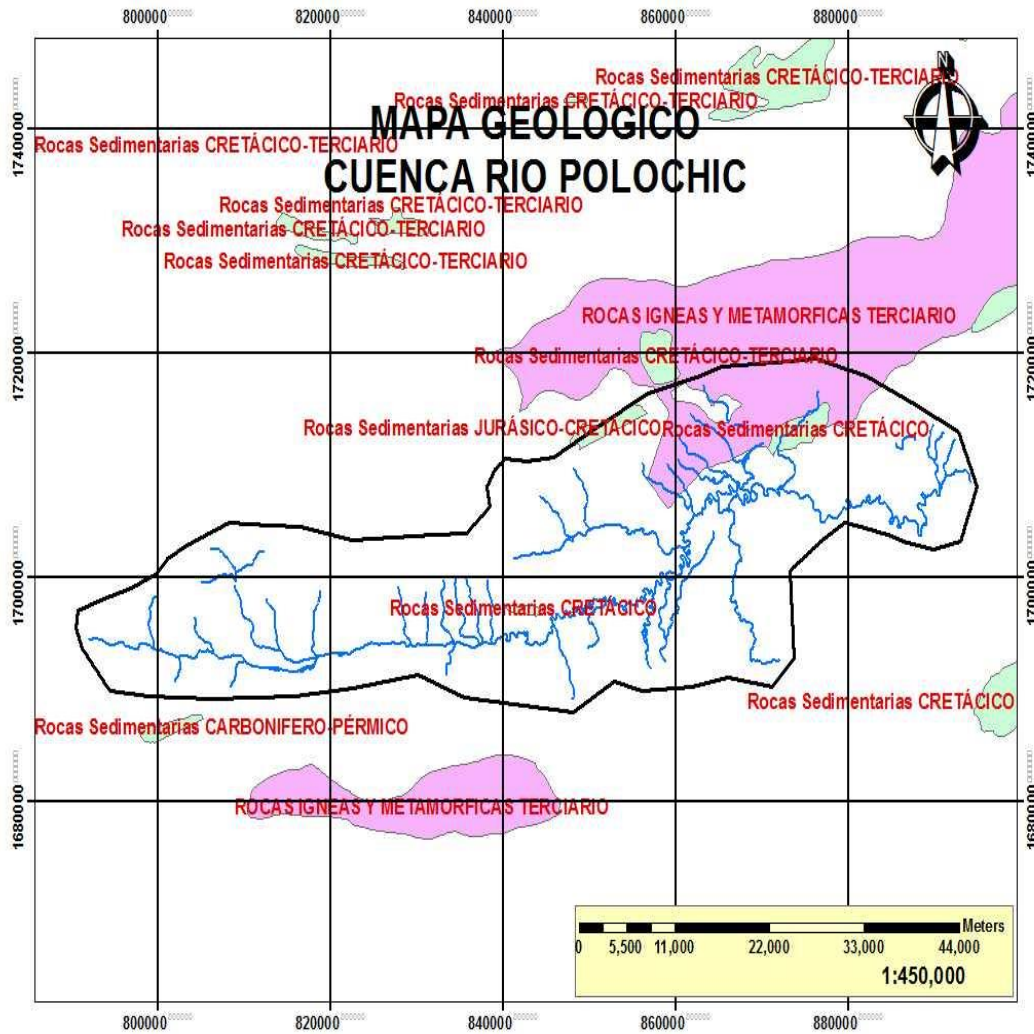
2.3.3.3. Rocas metamórficas del Pérmico que incluyen lutitas negras, filitas y limolitas de color café

Los afloramientos de rocas metamórficas son abundantes en el área, predominando entre San Julián y Tamahú. Entre Tamahú y Tukurú se observan intercalaciones de afloramientos de rocas calizas que pertenecen a la formación Cobán y rocas metamórficas del Pérmico. La mayoría de los deslizamientos se encuentran en este tipo de roca. Las fallas geológicas importantes siguen la tendencia del sistema de fallas del Chixoy - Polochic, con una orientación predominantemente este-oeste.

En concordancia con la orientación de las fallas, se localizó un sistema que pone en contacto las calizas del Cretácico con rocas metamórficas del Mesozoico.

Un factor que debe tomarse en cuenta es que se trata de un área fuertemente fallada y tectonizada con movimientos sísmicos frecuentes. A la fecha no se han detectado movimientos sísmicos de trascendencia.

Figura 2. Mapa geológico de la cuenca del río Polochic



Fuente:(Instituto Nacional de Sismología V. M.)

2.3.3.4. Sismicidad

Las vibraciones del suelo durante un evento sísmico producen deslizamientos importantes de masas rocosas falladas y zonas asociadas a estas. En los suelos produce el fenómeno de licuefacción, especialmente en las cercanías de cuerpos de agua. La 7E atraviesa el sistema secundario de fallas, lo que puede ocasionar deslizamientos o hundimientos en el suelo.

Utilizando la distribución de intensidades generadas durante el terremoto de 1976, en la escala de Mercalli modificada, el tramo Panzos –El Estor está en su totalidad en la región V. La amenaza utilizando el modelo sísmico es significativamente menor que la zona central del país. La aceleración máxima efectiva (A_0) del terreno corresponde al seísmo básico del diseño para la zona 3:

$$A_0 = 0.10 - 0.3g \text{ (AGIES, 1996)}$$

(Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 1996)

2.3.3.5. Deslizamientos en el área

Como consecuencia del huracán Mitch, en el tramo 1 ocurrió gran cantidad de deslizamientos, que pueden activarse nuevamente con una nueva perturbación atmosférica, o durante el proceso de construcción de la carretera, si se encuentran dentro del área de influencia del proyecto. De información recopilada de deslizamientos, se identificaron 18, todos ellos activos.

2.4. Hidrografía de la zona

La hidrología comprende el estudio de todo el sistema hídrico de una región, cuyo conocimiento será la base para solucionar problemas del agua y sus consecuencias. En la región de estudio existe una fuerte demanda de protección contra las inundaciones y sus efectos sobre la comunicación vial.(Cancinos)

2.4.1. Hidrografía

La región pertenece hidrográficamente a la cuenca del río Polochic, cuyos afluentes dominantes que afectan al tramo drenan hacia el lago de Izabal en la vertiente del Mar de las Antillas.

2.4.2. Precipitación anual

La precipitación mínima anual se encuentra entre los 900 – 1 700 mm; la máxima se observa entre los 3 000 y 6 200 mm y la media anual se encuentra entre los 2 000 y 3 500 mm.

Se observa que los meses críticos de lluvia en el año son julio, septiembre y octubre, a pesar de que no existe una época establecida de precipitación; anteriormente se mantenía permanentemente muy húmedo debido al ingreso de humedad del mar Caribe, lago de Izabal y golfo de México; actualmente ha cambiado un poco el régimen climático (apéndice 3).

2.5. Descripción del trabajo de campo realizado para calcular el espesor de la losa

Los espesores de las capas que conforman la estructura de un pavimento rígido dependen, para su diseño, de diversos factores; entre estos está el estudio de los suelos de la subrasante existente en distintos tramos del proyecto.

Las actividades importantes para determinar el tipo de suelos comprende la obtención de muestras representativas de la subrasante existente, a profundidades que pueden variar según las características de los suelos y en algunos casos, la topografía del lugar.

Se realizó una evaluación visual preliminar para tener una idea de la variación de los suelos en diferentes puntos del proyecto, para luego realizar el trabajo de muestreo de campo y posteriormente en el laboratorio de suelos, determinar las características físico mecánicas y geotécnicas de los suelos.

La campaña geotécnica consistió en la realización de calicatas o pozos a cielo abierto, a profundidades que oscilaron entre los 0.80 hasta 1.10 metros, con área aproximada de un metro cuadrado, toma de muestras representativas de los distintos tipos de suelos debidamente identificadas por clasificación visual del material y localización por estacionamiento sobre la línea del trazo del proyecto. Las calicatas se realizaron inicialmente a cada 250 metros de distancia una de otra, sin embargo y debido a la similitud en características en muestreos consecutivos, se decidió realizarlas en puntos intermedios, en donde se determinó que los suelos sufrían una variación considerable en sus características.

Por lo anterior, las muestras consecutivas con características muy similares se obviaron, y por consiguiente el espaciamiento entre muestras varió respecto del que se estableció inicialmente. Los muestreos se realizaron alternando entre lado derecho, centro y lado izquierdo de la sección de la carretera.

De cada calicata de interés se tomaron aproximadamente 20 kilogramos de suelo, los cuales fueron colocados en sacos identificados con fecha, estación, nombre del tramo y el lado en donde fue obtenido el material. Posteriormente se realizó el traslado al laboratorio de suelos, en donde se le practicaron los ensayos de laboratorio correspondientes.

Para la realización de los ensayos se colocó sobre el piso la muestra de suelo a ensayar; es importante tomar en cuenta que el piso debe de estar totalmente limpio para evitar contaminación. La muestra se mezcló de forma tal que se percibiera homogénea para luego realizar el cuarteo y poder distribuir diferentes pesos de la misma para los diferentes ensayos. A continuación se muestran las cantidades solicitadas para cada ensayo:

- Cinco (5) kilogramos de suelo para ensayo de densidad máxima y contenido óptimo de humedad.
- Medio ($\frac{1}{2}$) kilogramo de muestra para el ensayo de límites de Atterberg.
- Dos (2) kilogramos de muestra para ensayo de peso específico y análisis granulométrico fino y grueso.
- Medio ($\frac{1}{2}$) kilogramo de muestra para ensayo de equivalente de arena.

- Doce (12) kilogramos de muestra para CBR distribuidos de la siguiente manera:
 - Cuatro (4) kilogramos para CBR de 10 golpes
 - Cuatro (4) kilogramos para CBR de 25 golpes
 - Cuatro (4) kilogramos para CBR de 65 golpes

Saturación de hinchamiento, corrida en la prensa para CBR, con anillos de 2 000 a 6 000 lbs. El resultado de CBR se tomó a 95 % de compactación (apéndice 2). Los resultados de estos ensayos se plasmaron en un cuadro resumen que se presenta a continuación.

Tabla I. Diseño del pavimento del tramo San Julián-Tamahú

**DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO:
SAN JULIAN - TAMAHU**

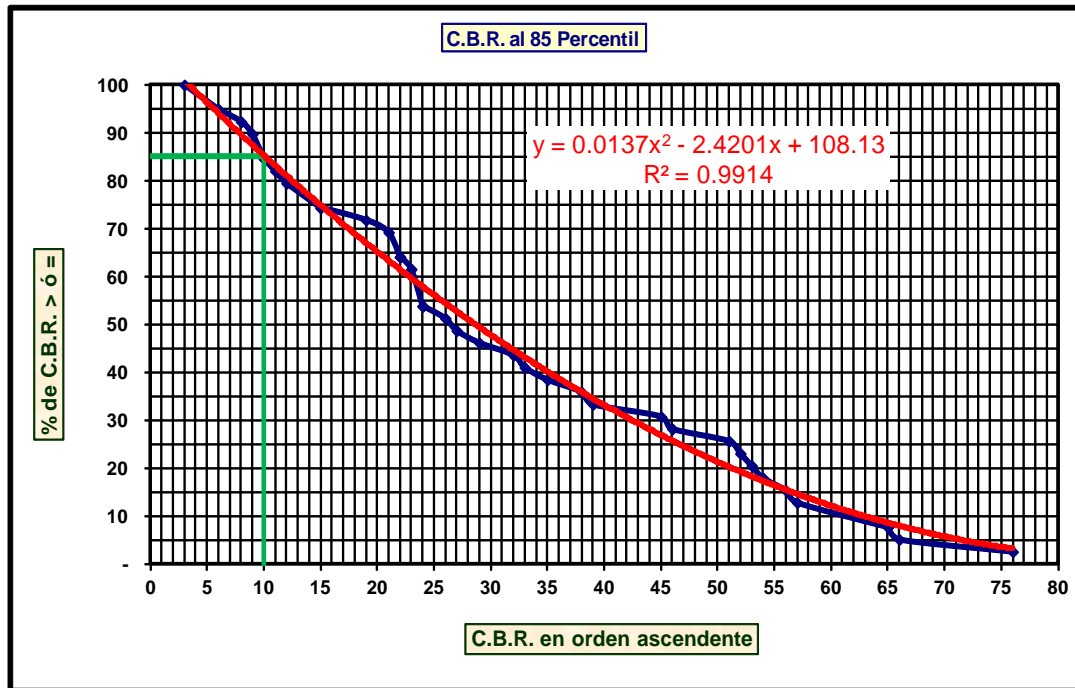
C.B.R. AL 85 PERCENTIL

No.	CBR Ascendente	CBR > ó =	% CBR > ó =
1	3.0	39	100.0
2	6.0	37	94.9
3	6.0	37	94.9
4	8.0	36	92.3
5	9.0	35	89.7
6	10.0	33	84.6
7	10.0	33	84.6
8	11.0	32	82.1
9	12.0	31	79.5
10	15.0	29	74.4
11	15.0	29	74.4
12	19.0	28	71.8
13	21.0	27	69.2
14	22.0	25	64.1
15	22.0	25	64.1
16	23.0	24	61.5
17	24.0	21	53.8
18	24.0	21	53.8
19	24.0	21	53.8
20	26.0	20	51.3
21	27.0	19	48.7
22	29.0	18	46.2
23	32.0	17	43.6
24	33.0	16	41.0
25	35.0	15	38.5
26	38.0	14	35.9
27	39.0	13	33.3
28	45.0	12	30.8
29	46.0	11	28.2
30	51.0	10	25.6
31	52.0	9	23.1
32	53.0	8	20.5
33	54.0	7	17.9
34	56.0	6	15.4
35	57.0	5	12.8
36	65.0	3	7.7
37	65.0	3	7.7
38	66.0	2	5.1
39	76.0	1	2.6

Fuente: elaboración propia.

Figura 3. CBR al percentil 85 = 10 % = CBR de diseño

DISEÑO DE PAVIMENTO DEL TRAMO:
SAN JULIAN - TAMAHU



_____ C.B.R. AL 85 PERCENTIL

_____ CORRELACIÓN DE PEARSON $R^2 = 0.9914$

_____ C.B.R. AL PERCENTIL 85 = 10% = C.B.R. DE DISEÑO

Fuente: elaboración propia.

2.6. Tránsito promedio diario TPDA y cálculo de crecimiento vehicular ESAL para el tramo San Julián – Tamahú RN - 7 E

El buen diseño de una carretera solamente puede lograrse si se dispone de la adecuada información sobre la intensidad del movimiento vehicular que la utiliza y la utilizará hasta el término del período seleccionado de diseño.

2.6.1. Los volúmenes de tránsito

La medición de los volúmenes del flujo vehicular(SIECA) se obtiene normalmente y a veces de manera sistemática, por medios mecánicos y/o manuales, a través de conteos o aforos volumétricos del tránsito en las propias carreteras, lo mismo que mediante investigaciones de origen y destino (O/D) que, dependiendo de la metodología utilizada, arrojarán datos sobre la estructura, distribución, naturaleza y modalidad de los viajes.

En las intersecciones, los estudios volumétricos de tránsito clasificados por dirección de los movimientos en los accesos a las mismas, durante períodos de tiempo determinados, proporcionan a su vez los datos básicos necesarios para enfrentar las particulares características de su diseño.

2.6.2. Tránsito promedio diario anual, TPDA

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del tránsito promedio diario anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un período de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho período de medición.

Tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que, por el límite superior, pueden llegar a duplicar los volúmenes promedios del tránsito en algunas carreteras, razón por la cual en las estaciones permanentes de registro de volúmenes se deben medir y analizar las fluctuaciones del tránsito a lo largo de los diferentes períodos del año, sean estos semanales, mensuales o estacionales.

No obstante, se ha tomado el TPDA como un indicador numérico para diseño, tanto por constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención. Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (livianos y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera una vez sea mejorada o ampliada, o que se estima utilizará la carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios.

En relación con el establecimiento de las condiciones de tránsito en el tramo entre San Julián y Tamahú de la RN - 7E se efectuaron encuestas de origen y destino, mediante entrevistas a conductores durante 12 horas en dos puntos distintos, al ingreso y a la salida del mismo y conteos volumétricos de 24 horas en los mismos puntos, en virtud que las cabeceras municipales en estudio están interconectadas por una única vía (RN – 7E), los movimientos de tránsito no presentan mayores complicaciones.

Para este trabajo se utilizó la clasificación del departamento de ingeniería de tránsito de la Dirección General de Caminos, la cual clasifica 7 tipos de vehículos distinguiendo los livianos de los pesados.

En la tabla siguiente se muestran los diferentes tipos de vehículos automotores usados en el país, con la nomenclatura del departamento de ingeniería de tránsito de la Dirección General de Caminos.

Tabla II. Tipos de vehículos automotores utilizados en Guatemala

Clasificación	Tipo de vehículo	PESO (TON) (1000 KG)	CARGA (KIPS)	EJES	CARGA (KIPS) EJES	
1	automóviles, paneles y jeep		2	4.41	F	2.2
					T	2.2
2	pick-ups		3.2	7.056	F	2
					T	5
3	camiones medianos (2 ejes)		15.5	34.178	F	12.1
					T	22.1
4	vehículos de (3 ejes)		37	81.59	F	11
					M	35.3
					T	35.3
5	Microbuses		7	15.44	F	5
					T	10
6	Buses		13.6	29.99	F	12
					T	18
7	Vehículos de 4 ejes o más		57	125.7	F	11
					M	35.3
					S	35.3
					R1	22
					R2	22

Fuente: (Dirección General de Caminos, Departamento de Ingeniería de Tránsito)

Para cada uno de los diferentes siete tipos de vehículos de diseño utilizados en Guatemala se calculó el valor ESAL, el cual está compuesto por la sumatoria total de los ejes equivalentes acumulados durante el período de diseño, considerando la influencia del número de ejes y cargas de diferentes vehículos que transitarán sobre un determinado tipo de pavimento.

Para efectos de cálculo se les transforma en un número equivalente de ejes tipo con un peso aplicado de ruedas por eje de 8,165 kg, (80 kN) o 18,000 lb, (18 Kips), considerando además un valor representativo de espesor de la losa en el caso de pavimentos rígidos, el cual es comparado con el valor de la carga para conocer el respectivo factor equivalente de carga, LEF, por tipo de vehículo.

Tabla III. Tasa de crecimiento para cada tipo de vehículo

TPDA DE DISEÑO

AÑO BASE	TIPO DE VEHÍCULO							PESADOS		T.P.D.A.
	1	2	3	4	5	6	7	TOTAL	%	
2012	417	603	58	24	77	0	0	82	7.0	1,179

PROYECCION VEHICULAR 2,012 - 2,032 RN 7E, SAN JULIÁN - TAMAHÚ

AÑO	TASA DE CRECIMIENTO PARA CADA TIPO DE VEHICULO							PESADOS		T.P.D.A.
	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	TOTAL	%	
2012	417	603	58	24	77	0	0	82	7.0	1,179
2013	438	633	61	25	81	0	0	86	7.0	1,238
2014	460	665	64	26	85	0	0	90	7.0	1,300
2015	482	698	67	28	89	0	0	95	7.0	1,365
2016	507	733	70	29	94	0	0	100	7.0	1,433
2017	532	770	74	31	98	0	0	105	7.0	1,504
2018	559	808	78	32	103	0	0	110	7.0	1,580
2019	586	848	82	34	108	0	0	115	7.0	1,659
2020	616	891	86	35	114	0	0	121	7.0	1,742
2021	647	935	90	37	119	0	0	127	7.0	1,829
2022	679	982	94	39	125	0	0	134	7.0	1,920
2023	713	1,031	99	41	132	0	0	140	7.0	2,016
2024	749	1,083	104	43	138	0	0	147	7.0	2,117
2025	786	1,137	109	45	145	0	0	155	7.0	2,223
2026	825	1,194	115	48	152	0	0	162	7.0	2,334
2027	867	1,254	121	50	160	0	0	170	7.0	2,451
2028	910	1,316	127	52	168	0	0	179	7.0	2,573
2029	955	1,382	133	55	176	0	0	188	7.0	2,702
2030	1,003	1,451	140	58	185	0	0	197	7.0	2,837
2031	1,053	1,524	147	61	195	0	0	207	7.0	2,979
2032	1,106	1,600	154	64	204	0	0	218	7.0	3,128

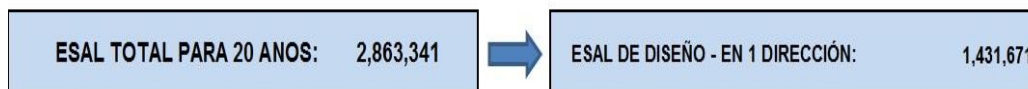
Fuente: elaboración propia.

Observación: por criterio se utilizó el 5 % de crecimiento vehicular anual, dada la importancia de la ruta.

Tabla IV. Cálculo de ejes equivalentes

CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

AÑO	T.P.D.A.	TIPO DE VEHÍCULO							ESAL POR TIPO DE VEHÍCULO						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
2012	1,179	417	603	58	24	77	0	0	91.39	2,378.65	67,959.88	11,737.67	303.74	-	-
2013	1,238	438	633	61	25	81	0	0	95.91	2,497.59	71,357.87	12,324.56	318.93	-	-
2014	1,300	460	665	64	26	85	0	0	100.70	2,622.47	74,925.76	12,940.79	334.88	-	-
2015	1,365	482	698	67	28	89	0	0	105.74	2,753.59	78,672.05	13,587.82	351.62	-	-
2016	1,433	507	733	70	29	94	0	0	111.03	2,891.27	82,605.65	14,267.22	369.20	-	-
2017	1,504	532	770	74	31	98	0	0	116.58	3,035.83	86,735.94	14,980.58	387.66	-	-
2018	1,580	559	808	78	32	103	0	0	122.41	3,187.62	91,072.73	15,729.61	407.04	-	-
2019	1,659	586	848	82	34	108	0	0	128.53	3,347.01	95,626.37	16,516.09	427.40	-	-
2020	1,742	616	891	86	35	114	0	0	134.95	3,514.36	100,407.69	17,341.89	448.77	-	-
2021	1,829	647	935	90	37	119	0	0	141.70	3,690.07	105,428.07	18,208.98	471.20	-	-
2022	1,920	679	982	94	39	125	0	0	148.79	3,874.58	110,699.48	19,119.43	494.76	-	-
2023	2,016	713	1,031	99	41	132	0	0	156.23	4,068.31	116,234.45	20,075.41	519.50	-	-
2024	2,117	749	1,083	104	43	138	0	0	164.04	4,271.72	122,046.17	21,079.18	545.48	-	-
2025	2,223	786	1,137	109	45	145	0	0	172.24	4,485.31	128,148.48	22,133.13	572.75	-	-
2026	2,334	825	1,194	115	48	152	0	0	180.85	4,709.57	134,555.91	23,239.79	601.39	-	-
2027	2,451	867	1,254	121	50	160	0	0	189.89	4,945.05	141,283.70	24,401.78	631.46	-	-
2028	2,573	910	1,316	127	52	168	0	0	199.39	5,192.30	148,347.89	25,621.87	663.03	-	-
2029	2,702	955	1,382	133	55	176	0	0	209.36	5,451.92	155,765.28	26,902.96	696.18	-	-
2030	2,837	1,003	1,451	140	58	185	0	0	219.83	5,724.51	163,553.54	28,248.11	730.99	-	-
2031	2,979	1,053	1,524	147	61	195	0	0	230.82	6,010.74	171,731.22	29,660.52	767.54	-	-
2032	3,128	1,106	1,600	154	64	204	0	0	242.36	6,311.28	180,317.78	31,143.54	805.92	-	-
SUMATORIA	14,888	21,539	2,072	857	2,750	0	0	3,263	84,964	2,427,476	419,261	10,849	0	0	



Fuente: elaboración propia.

3. PAVIMENTO RÍGIDO

3.1. Analogía estructural del pavimento rígido

El pavimento rígido está constituido por una losa de hormigón o concreto hidráulico, la cual se apoya en una capa de grava denominada subbase, sobre la superficie del suelo.

3.1.1. Propiedades mecánicas de una carpeta de rodadura tipo rígida, (de concreto hidráulico)

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

3.1.2. Carga en un pavimento rígido

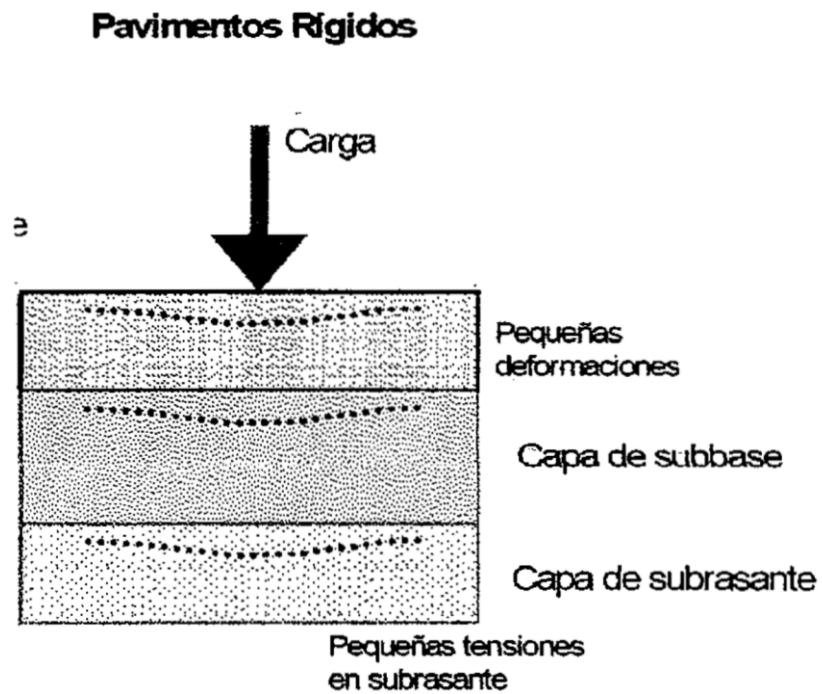
Una carpeta de rodadura tipo rígida está construida con concreto hidráulico, por lo tanto, debido a su rigidez y gran módulo de elasticidad, basa su capacidad cortante en la losa más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base. (Iturbide, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos , 2002)(Salesiana, pág. 292).

En general, se puede indicar que el concreto hidráulico distribuye mejor las cargas hacia la estructura de pavimento.

Son dos las propiedades que influyen en el diseño de un pavimento de concreto y en su comportamiento a lo largo de la vida útil:

- Resistencia a la tensión por flexión ($S'c$) o módulo de ruptura (MR)
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Figura 4. Pavimentos rígidos



Fuente:(Iturbide, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos , 2002, pág. 18)

3.1.3. Ventajas y desventajas del pavimento rígido

Las ventajas y desventajas del pavimento rígido se describen a continuación.

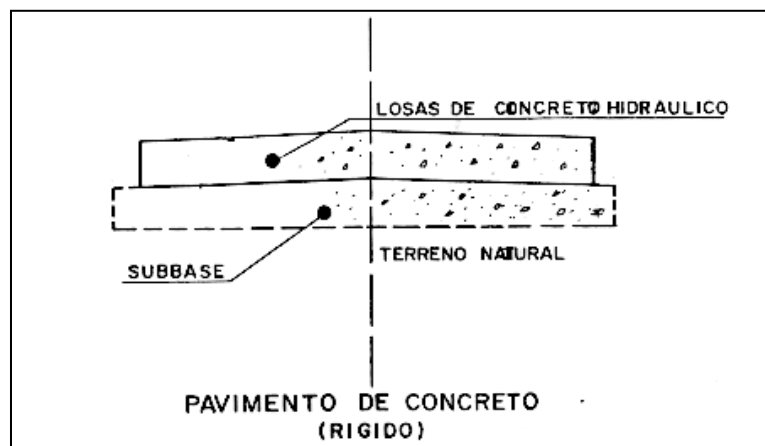
3.1.3.1. Ventajas

- Mayor durabilidad
- Mejor visibilidad
- Mejor desempeño con el tránsito pesado

3.1.3.2. Desventajas

- Mayores problemas de acabado superficial
- Las reparaciones requieren alta especialización y es costosa

Figura 5. Pavimento de concreto



Fuente: Cámara Nacional del Cemento CANACEM. México.

4. PROPUESTA PARA PAVIMENTACIÓN RÍGIDA RUTA 7E TRAMO SAN JULIÁN – TAMAHÚ

4.1. Tratamiento de subrasante con cal y cemento, diseño de pavimento rígido

El tratamiento con cal y cemento en la subrasante, sirve para incrementar el soporte del pavimento y aumentar la resistencia, resiliencia y durabilidad.

4.2. Diseño de pavimento rígido

A continuación se presenta el diseño elaborado por el Ing. William Olivero, jefe del área técnica de pavimentos, del Centro Tecnológico de Cementos Progreso, Guatemala.

Tabla V. **Propuesta para pavimentación rígida, ruta 7E, tramo San Julián-Tamahú**

<<INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene por objeto presentar un diseño de pavimento de concreto hidráulico, y una recomendación técnica, para la estructura de base, y subrasante. El diseño del pavimento nuevo de concreto se analizó mediante los modelos de comportamiento de HDM 4, utilizando la metodología de AASHTO 93, 2002 y el software *Pavement Evaluator* que utiliza los mismos modelos para pavimentos rígidos. Se realizó el análisis con estos modelos por ser mecanicistas e incorporar el alabeo de las losas y su largo como factores importantes en el comportamiento de este tipo de pavimentos.

Continuación de la tabla V.

PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO

El pavimento tendrá un espesor de 17.00 cms. en toda la sección de la vía. El tamaño de losas considerado es de 1.50 m x 1.50 m (con sobreancho mínimo de 0.20 m.). Además de las especificaciones descritas, el concreto debe cumplir con las siguientes condiciones: resistencia a la flexotracción del concreto: 45 kg/cm² (650 psi) con 85 % de nivel de confianza a 28 días (hacer ensayos a flexión y compresión para buscar correlación).

DISEÑO DE PAVIMENTO

Para el pavimento en el carril nuevo, se recomienda construir la siguiente estructura:

- **Capa de subrasante:** el diseño considera un suelo arcillo arenoso clasificado AASHTO A-2-6, el cual deberá ser tratado con hidróxido de calcio (cal Horcalsa) al 3 % en peso del suelo, con cemento al 3 % en peso del suelo y agregando el 40 % de un material de subbase granular por cada metro cúbico de subrasante. Esto significa colocar 1.5 sacos de 25 kgs. de hidróxido de calcio (cal Horcalsa), 1 saco de cemento UGC fr 42.5 kgs y 12 cms. de material de subbase granular por cada 3 metros cuadrados de capa de subrasante; este material deberá mezclarse y conformarse a una profundidad de 35 cms, compactado con un mínimo de 98 % de la densidad máxima, según AASHTO T 180, y de acuerdo con las especificaciones de capa de subbase estabilizada (sección 307) del Libro Azul de La Dirección General de Caminos, edición 2002. La capa de subrasante tratada con cal y cemento deberá tener un espesor de 30 cm. compactado.
- **Capa de subbase:** para esta propuesta el diseño no requiere una capa de subbase ni base.

Continuación de la tabla V.

- **Carpeta de rodadura:** para la carpeta de rodadura el diseño determina un espesor de 17.0 cms. La mezcla de concreto debe poseer una capacidad de resistencia a la flexión de 45 kg/cm^2 (650 psi), a los 28 días.
- **Juntas de contracción:** los cortes de las losas se ejecutarán de forma de generar losas de 1.50 metros en sentido longitudinal y 1.50 m. en sentido transversal, sin dovelas ni barras de amarre. Esto significa que cada pista de 3.0 metros de ancho se cortará al centro para generar dos pistas cada una de 1.50 metros. Estos cortes se ejecutarán con sistema Soffcut, con sierra de 2 mm. de ancho, en junta transversal por medio, es decir, cada dos juntas, y la junta longitudinal central. Los cortes intermedios para generar las losas de 1.50 por 1.50 metros se podrán ejecutar con el sistema Soffcut o el tradicional con sierra húmeda de 2 mm. de espesor. Todos los cortes deben terminarse antes de las 18 horas de colocado el concreto, y siempre antes de la segunda noche. Se puede obviar el sello de juntas.
- **Control de calidad**
 - Resistencia. cada $200' \text{ m}^3$ (o fracción diaria menor) colocados en pista:
 - 1 ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 3 días
 - 1 ensayo (2 vigas y 2 cilindros) a los 7 días
 - 1 ensayo (2 vigas y 2 cilindros) a los 28 días
 - 1 ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 90 días
 - Revenimiento: se medirá el asentamiento del concreto, en cada camión, tanto al salir de la planta como en la pista. El revenimiento en pista deberá oscilar entre 1.5" y 3", ideal 2" a 2.5". Si se coloca manualmente con regla vibratoria el revenimiento deberá ser de 4" a 5".

Continuación de la tabla V.

- Temperatura: se medirá al momento de llegar el concreto a la obra; la temperatura será de 20°C+/-10°C; como excepción, la temperatura máxima podrá llegar a los 32°C, por encima de esta no se permitirá la colocación del concreto, la medida diaria debe estar por debajo de los 30°C.
- **Apertura al tráfico:**
 - Controlar la apertura al tráfico por medio de la madurez del concreto colocado el último día del tramo a abrir al tráfico.
 - Cuando el concreto alcance una resistencia a la flexotracción de 30 Kg/cm².
 - Preparar correlación madurez resistencia del concreto.

Para que el espesor de las losas de concreto hidráulico de 0.17 m, obtenido del modelo matemático utilizado en el diseño de estructura de pavimento funcione correctamente durante su período de diseño; es necesario que los materiales de las capas subyacentes al mismo (tratamiento de subrasante con hidróxido de calcio, cemento y material granular) cumplan con lo establecido por las normas AASHTO y el libro de Especificaciones Generales para Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos, edición 2001.

Asimismo es importante garantizar que no existan cambios volumétricos en la subrasante. Además de lo anterior debe tomarse en cuenta que el drenaje de la estructura de pavimento debe funcionar adecuadamente. >>

Fuente:(Olivero, William Cementos Progreso, Área técnica de pavimentos, Centro Tecnológico)

Tabla VI. **Propuesta para tratamiento de subrasante con cal y cemento**
Ruta 7E tramoSan Julián – Tamahú

<< La capa de suelo a tratar consiste en la construcción de una capa no menor de 30.0 centímetros, constituida por una mezcla de material del 60 % del suelo existente, que es una arcilla limosa color amarillo, el 40 % de material triturado, identificado como una grava areno limosa color café, el 3 % de cal Horcalsa y el 3 % de cemento UGC. Este tipo de tratamiento de suelos produce una capa de alta resistencia de 386.0 psi; además reduce su sensibilidad al agua y a la abrasión, por lo que es un material muy duradero; su inconveniente es que podría sufrir leves fisuras superficiales por contracción, las cuales no generan daños estructurales al suelo.

Materiales

- **Cemento:** el cemento a utilizar será del tipo I modificado con puzolana (ASTM 1157) UGC. Este es un cemento Portland con adición de puzolana natural y se clasifica como cemento para uso general en la construcción. Esto quiere decir que por las características propias de este, puede ser utilizado en prácticamente todas las actividades típicas de la construcción.
- **Cal:** el hidróxido de calcio será de Horcalsa, ya que cumple con la norma ASTM C 977, especificación de cal hidratada para estabilización de suelos. El hidróxido de calcio de Horcalsa cumple con el mínimo de 90 % de hidróxido de calcio en base no volátil, que requiere las especificaciones internacionales para el tratamiento de estabilización de suelos.

Continuación de la tabla VI.

- **Mezcla de suelo:** el suelo a estabilizar está conformado por una mezcla de material del 60 % suelo existente, que es una arcilla limosa color amarillo, el 40 % de material triturado, identificado como una grava areno limosa color café, el 3 % de cal Horcalsa y el 3 % de cemento UGC. Esta mezcla de materiales se clasificó de acuerdo con la norma AASHTO, como un A-2-4 y GM con base en las especificaciones de la SCU.
- **Agua:** el agua deberá de ser limpia y estar libre de materia orgánica.

Metodología constructiva, preparación de la superficie existente

La superficie del suelo se deberá limpiar, removiendo la materia orgánica.

Premezclado en seco

Se colocará una capa de 12.0 centímetros de espesor de material de préstamo, (base triturada) encima del material natural del lugar; luego se colocará 1.5 sacos de cal de 25 kilogramos por cada 3.0 metros cuadrados y 1.0 saco de cemento UGC, por cada 3.0 metros cuadrados. Se procede después a escarificar y homogeneizar el suelo mezclando todos los materiales; en seguida se humedece la mezcla a una humedad óptima de 11.4 % +/- 2.0, luego se compacta con un rodo pata de cabra y rodo liso, quedando una capa homogénea y bien compactada de un espesor de 30.0 centímetros.

Continuación de la tabla VI.

Pulverización, mezcla del suelo

Teniendo los materiales en orden de colocado, se procede a escarificar con la máquina adecuada en el ancho y espesor suficientes que permitan obtener la sección compactada. Una vez, mezclado y pulverizado el suelo, este deberá conformarse a la sección transversal aproximada del área con el empleo de la moto niveladora. La longitud del área pulverizada y mezclada, no deberá exceder de la que pueda tratarse y compactarse en 2.0 horas de trabajo como máximo.

Aplicación del cemento y cal

El cemento y la cal se aplicarán en bolsas, se esparcirá sobre el suelo mezclándolo mecánicamente, de manera que se disperse la cantidad requerida según el diseño más la cantidad prevista por desperdicios a todo lo ancho de la capa por estabilizar. El cemento se podrá extender en la superficie que pueda quedar terminada en jornada de trabajo.

Mezcla

Inmediatamente después de ser distribuido todos los materiales, se efectuará la mezcla, en todo el espesor establecido. El número de pasadas dependerá del equipo utilizado y será necesario para garantizar la obtención de una mezcla homogénea. En caso que se requiera se añadirá el agua faltante y se continuará mezclando hasta que la masa resultante presente completa homogeneidad. La misma deberá ser la óptima del ensayo Proctor Modificado, con una tolerancia de más o menos 2.0 %.

Continuación de la tabla VI.

Compactación

El proceso de compactación deberá ser tal, que evite la formación de costras (láminas) o capa superior delgada débilmente adherida al resto del suelo estabilizado. En caso de que la misma se produzca, deberá ser eliminada hasta obtener una capa uniforme compactada en todo el espesor proyectado, con un compactador pata de cabra y rodo liso. Los trabajos de compactación deberán ser terminados en un lapso de tiempo en el cual la mezcla no pierda su humedad por el fraguado del cemento.

Juntas de trabajo

Las juntas de trabajo realizado en días sucesivos deberán cuidarse para proteger la capa construida cuando se vaya a esparcir y compactar la adyacente, si por alguna razón no se termina en una jornada de trabajo. Al efecto, al término de la jornada de trabajo se formará una junta transversal perpendicular del eje de la calle, haciendo un corte vertical en el material compactado, si quedara trabajo pendiente para otro día.

Apertura al tránsito

La apertura al tránsito será después del curado a 7 días, para alcanzar la resistencia deseada y la durabilidad proyectada.

Curado de la capa estabilizada

- El riego de agua para el curado debe ser aplicado dentro de las 24 horas siguientes a las operaciones de afinado.
- El suelo debe de ser curado con agua por un tiempo mínimo de 7 días.

Continuación de la tabla VI.

Recomendaciones

- El suelo deberá estar libre de materia orgánica u otra sustancia que pueda perjudicar la elaboración y fraguado de la mezcla.
- Durante el esparcido del cemento solo se permitirá el tránsito del equipo que lo va a mezclar con el suelo.
- Con el fin de proteger la salud de las personas, los trabajadores realizarán el trabajo portando mascarillas que protejan sus vías respiratorias, asimismo no se debe realizar este trabajo durante los días con fuertes vientos.
- Se necesitarán por lo menos 4 personas al momento de realizar este trabajo.

Dosificación

Los porcentajes a dosificar son los siguientes:

- 3 % de cemento UGC, en el peso del suelo
- 3 % de cal Horcalsa, en el peso del suelo
- 40 % de sub base granular
- 60 % de material natural, arcilla limosa color amarilla.
- Esta mezcla tiene una humedad óptima de 11,4 %, para alcanzar una densidad máxima de 1919.0 kg/m³

Continuación de la tabla VI.

- 12.0 centímetros de espesor de sub base granular.
- 1,5 sacos de cal Horcalsa de 25 kilogramos, por cada 3.0 metros cuadrados de superficie.
- 1 saco de cemento tipo I UGC de 42.5 kg. por cada 3.0 metros cuadrados.>>

Fuente: (Olivero, William Cementos Progreso, Área técnica de pavimentos, Centro Tecnológico)

4.3. Cambio de espesor de losa y ancho de la sección típica

Mediante gestiones por parte de la empresa constructora y con el aval de la empresa supervisora, se solicita ante las autoridades de la Dirección General de Caminos los siguientes cambios:

- Cambio de espesor de la losa de 0.17 a 0.16 metros.
- Cambio de ancho de la sección típica, (sección típica “D” modificada) a lo largo de la ruta nacional 7E Tramo I San Julián – Puente Chascó. (apéndice No. 3 y 4).
- Material de subrasante mejorado con cemento tipo UGC al 3% en peso del suelo con un espesor de 0.30 metros por el ancho de la sección típica como base.

El trabajo consiste en el mejoramiento y pavimentación de la ruta nacional 7E tramo I San Julián – Puente Chascó, con una longitud de 48.9 kilómetros.

Para efecto de este estudio comparativo, solo se utiliza el subtramo de San Julián – Tamahú, de aproximadamente 12.200 kilómetros de longitud, realizando los cambios de línea que requiere el diseño geométrico de la carretera, aplicando la sección típica indicada y construyendo las cajuelas necesarias para cumplir con el nuevo ancho especificado.

La recuperación de la geometría de la subrasante en los sectores con asentamientos, el saneamiento de baches en la superficie, el refuerzo de los hombros, estabilización de la sub rasante, colocación de una capa de concreto de cemento hidráulico que funciona como capa de rodadura.

Dicho mejoramiento y pavimentación se realizará según las normas geométricas de la Dirección General de Caminos, con lo que se concretará una sección típica “D” modificada con un ancho de rodadura de 7.20 metros y un ancho total de pavimento de concreto de cemento hidráulico, incluyendo el hombro de 8.2 metros y una cuneta de concreto hidráulico simple tipo “L”, de 1.25 metros de ancho como máximo y 0.10 metros de espesor.

4.4. Revisión al diseño de la estructura de pavimento rígido utilizando la metodología AASHTO '93

El diseño del pavimento de concreto se analizó utilizando la metodología de AASHTO '93, y el software Winpas para pavimentos rígidos.

Se realizó el análisis con estos modelos por ser mecanicistas e incorporar el alabeo de las losas y su largo como factores importantes en el comportamiento de este tipo de pavimentos.

Se tomaron en cuenta los conteos de tránsito, practicados en abril de 2012 en la estación 1+000 tramo San Julián – Tamahú, para determinar los ejes equivalentes que circulan por este tramo.

4.5. Pavimento de concreto hidráulico

El pavimento tendrá un espesor de 0.16 m. en toda la sección de la vía. El tamaño de losas considerado es de 3.60 m. x 3.60 m. (con sobre ancho). Además de las especificaciones descritas, el concreto debe cumplir con las siguientes condiciones: resistencia a flexotracción del concreto: 45 Kg/cm^2 (650 psi) con 85% de nivel de confianza a 28 días (hacer ensayos a flexión y compresión para buscar correlación).

4.6. Diseño de pavimento

Para el pavimento se recomienda construir la siguiente estructura:

- Capa de subrasante: el diseño considera un suelo arcillo arenoso clasificado AASHTO A-2-6, el cual deberá ser tratado con cemento UGC al 3 % en peso del suelo y agregando el 40 % de un material de sub base granular por cada metro cúbico de subrasante.

Esto significa colocar 1 saco de cemento UGC de 42.5 Kgs y 0.12 m. de material de sub base granular por cada 3 metros cuadrados de capa de subrasante, este material se deberá mezclar y conformarse a una profundidad de 0.35 m. compactado con un mínimo de 95% de la densidad máxima, según AASHTO T 180, y de acuerdo con las especificaciones de capa de sub base estabilizada (sección 307) libro de especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes, de la Dirección General de Caminos, edición 2001. La capa de subrasante tratada con cemento deberá tener un espesor de 0.30 m. compactado y resistencia a la compresión de 24 kg/cm^2 (2.4 MPa).

- Capa de subbase: para esta propuesta el diseño no requiere una capa de subbase ni base.
- Carpeta de rodadura para la carpeta de rodadura el diseño determina un espesor de 0.16 m. La mezcla de concreto debe poseer una capacidad de resistencia a la flexión de 45 Kg/cm^2 (650 PSI), y a compresión de 240 kg/cm^2 (4000 psi) a los 28 días. (apéndice 6).
- Juntas de contracción: los cortes de las losas se ejecutarán de forma de generar losas de 1.80 metros en sentido longitudinal y 1.80 metros en sentido transversal, sin dovelas ni barras de amarre. Estos cortes se ejecutarán con sistema Soffcut, con sierra de 0.002 m. De ancho, o el sistema tradicional con sierra húmeda de 0.002 m. de espesor. Todos los cortes deben terminarse antes de 18 horas de colocado el concreto y siempre antes de la segunda noche. Se puede obviar el sello de juntas.

- Control de calidad
- Resistencia: cada 200' m³ (o fracción diaria menor) colocados en pista:
 - 1 ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 3 días
 - 1 ensayo (2 vigas y 2 cilindros) a los 7 días
 - 1 ensayo (2 vigas y 2 cilindros) a los 28 días
 - 1 ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 90 días
- Cuando el concreto alcance una resistencia a la flexotracción de 30 Kg/cm².
 - Resistencia: cada 200' m³ (o fracción diaria menor) colocados en pista:
 - 1 ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 3 días
 - 1 ensayo (2 vigas y 2 cilindros) a los 7 días
 - 1 ensayo (2 vigas y 2 cilindros) a los 28 días
 - 1 ensayo (1 viga y 1 cilindro) a los 90 días

4.6.1. Revenimiento

Se medirá el asentamiento del concreto en cada camión, tanto al salir de la planta como en la pista. El revenimiento en pista deberá oscilar entre 1.5" y 3", ideal 2" a 2.5". Si se coloca manualmente con regla vibratoria, el revenimiento deberá ser de 4" a 5".

4.6.2. Temperatura

Será medida al momento de llegar el concreto a la obra, la temperatura será de 20°C+/- 10°C; como excepción la temperatura máxima podrá llegar a los 32°C, por encima de esta no se permitirá la colocación del concreto; la medida diaria debe estar por debajo de los 30°C.

4.6.3. Apertura al tráfico

- Controlar la apertura al tráfico por medio de la madurez del concreto colocado el último día del tramo, a abrir al tráfico.
- Cuando el concreto alcance una resistencia a la flexotracción de 30 Kg/cm².
- Preparar correlación madurez resistencia del concreto.

Para que el espesor de las losas de concreto hidráulico de 0.16 m. obtenido del modelo matemático utilizado en el diseño de estructura de pavimento funcione correctamente durante su período de diseño, es necesario que los materiales de las capas subyacentes al mismo (tratamiento de subrasante con cemento y material granular), cumplan con lo establecido por las normas AASHTO y el libro de Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes de la Dirección General de Caminos, edición 2001; asimismo es importante garantizar que no existan cambios volumétricos en la subrasante.

Además de lo anterior debe tomarse en cuenta que el drenaje de la estructura de pavimento debe de funcionar adecuadamente.

5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO

El proyecto se encuentra ubicado en la zona montañosa comprendida entre Tucurú y San Julián, donde afloran básicamente rocas metamórficas del Pérmico (lutitas y filitas muy meteorizadas) ínterestratificadas, con calizas Cretácicas; por lo tanto los materiales obtenidos de los bancos de materiales para trituración están compuestos de materiales compatibles con los cementos, por lo cual se logró buenas mezclas o concretos. (Dirección General de Caminos).

5.1. Calidad de los agregados

Las partículas de los agregados deben ser duras y resistentes. A continuación se describen los análisis efectuados a los agregados. (<http://www.incyt.com/revista/pdgs/problemas47.pdf>).

5.1.1. Análisis granulométrico

Según (Anckermann, 1969) el análisis granulométrico de los agregados consistió en separar y clasificar por tamaños los granos que la componen. El análisis se hace en dos etapas:

- Por medio de una serie de tamices para tamaños grandes y medianos de las partículas, o sea las llamadas granulometría gruesa y fina.

- Por medio de un proceso de vía húmeda para granos finos (material que pasa el tamiz No. 200).

La graduación del agregado debe estar dentro de los límites de la tabla 551-02:

Tabla VII. **Graduación de los agregados**

TAMICES AASHTO M 92		PORCENTAJE EN MASA QUE PASA
9.500 mm	3/8"	100
4.750 mm	Núm. 4	95-100
2.360 mm	Núm. 8	80-100
1.180 mm	16	50-85
0.600 mm	30	25-60
0.300 mm	50	10-30 ⁽¹⁾
0.150 mm	100	2-10 ⁽¹⁾
0.075 mm	200	0- 5 ⁽²⁾

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos (Caminos, Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes, 2001), tabla 551-02

- Para concreto de pavimentos estos límites pueden quedar: de 5-30 para tamiz 0.300 mm (Núm. 50), y de 0-10 para tamiz 0.150 mm (Núm. 100).
- Para concreto sujeto a desgaste superficial; estos límites se reducen a 0-3.
- Las normas que rigen este método son: ASTM C 136-95^a y ASTM C 702-93 (apéndice 7).

5.1.2. Equivalente de arena

Este ensayo se efectúa con el fin de conocer el porcentaje relativo de finos-plásticos que contienen los suelos y los agregados pétreos; Se rige por la norma AASHTO T-176. Se aplica la siguiente fórmula: (Anckermann, 1969).

$$\text{Equivalente de arena} = E.A. = \frac{\text{Lectura de la arena} \times 100}{\text{Lectura de la arcilla}}$$

(Se expresa en porcentaje).

Porcentajes (%) aceptables de EA: según el instituto de asfaltos:

- Para bases: 30 % como mínimo
- Para subbases: 25 % como mínimo
- Para concreto hidráulico: 75 % como mínimo.

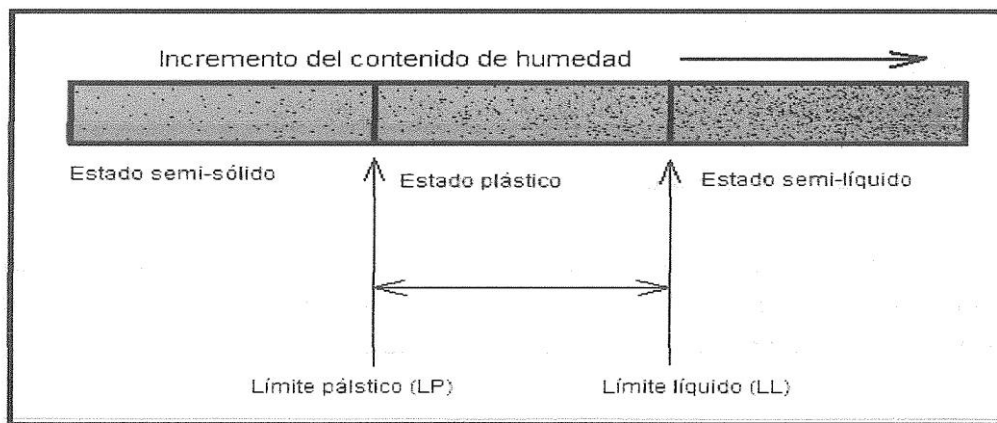
5.1.3. Límites de consistencia o de Atterberg

Las propiedades plásticas de los suelos arcillosos o limosos pueden ser estudiadas aproximadamente por medio de pruebas simples. Los más usuales se denominan límites de consistencia o de Atterberg. (Anckermann, 1969).

El material que se utiliza para estas pruebas debe ser tamizado previamente por el tamiz # 40 y pulverizado en el caso que existan demasiados grumos en la muestra.

Para fines de este trabajo se deben determinar las fronteras existentes entre uno y otro estado de consistencia, los cuales se determinan por prácticas diferentes. Los límites o fronteras que se determinarán son el límite (LL) y el límite plástico (LP), los cuales se encuentran entre los estados semilíquido, plástico y semisólido, como la muestra la siguiente figura.

Figura 6. **Estados y límites de los suelos**



Fuente: (Anckermann, 1969)(Manual para laboratoristas de suelos en construcción de carreteras)

5.1.4. Límite líquido (LL)

Es el contenido de agua o porcentaje de humedad, tal que, para un material dado, fija la división entre el estado casi líquido y el estado plástico.

Esta prueba se realiza con el método Casa grande y bajo la norma AASHTO T-89; el límite líquido representa que un determinado suelo a ese contenido de humedad resiste un esfuerzo cortante de 25 g/cm^2 .

5.1.5. Límite plástico (LP)

Es el contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semi sólido de un suelo y está normado por AASHTO T-90; el límite plástico determina cuándo se comienza a agrietar un cilindro de material de 3 mm (1/8”) de diámetro, al rodarse sobre un vidrio esmerilado.

5.1.6. Pesos unitarios

Este método es utilizado para obtener el peso unitario del agregado grueso (grava) y del agregado fino (arena), determinándose el peso unitario de la mezcla de agregado a temperatura ambiente; está normado por ASTM C 29/C29M-07.(Córdoba).

Peso unitario, es el peso de la unidad de volumen de material a granel en las condiciones de compactación y humedad en que se efectúa el ensayo, expresada en kg/m^3 .

Aunque puede realizarse el ensayo sobre los agregados fino y grueso; el valor que es empleado en la práctica como parámetro para la dosificación de hormigones, es el peso unitario compactado del agregado grueso.

5.1.7. Gravedad específica

Este método es utilizado para determinar la gravedad específica y la absorción de agua del agregado del agregado grueso y fino. Está normado por ASTM C 127-93 y ASTM C 128-93. (Sigma Constructores, julio 9,2003).

Gravedad específica (masa específica) saturada y superficialmente seca es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas, que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de la misma.

La gravedad específica (masa específica) seca es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas secas y el volumen sólido de ellas, que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran de las mismas.

5.1.8. Porcentaje de absorción

Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye la que se ha adherido a la superficie de las partículas. Se expresa como porcentaje de la masa seca y es índice de la porosidad del material. (<http://www.incyc.com/revista/pdgs/problemas47.pdf>).

El agregado se considera seco cuando se ha mantenido a una temperatura de 110 ± 5 °C durante el tiempo necesario para lograr una masa constante (ver apéndices). (Determinación de la absorción de agua).

5.1.9. Módulo de finura de la arena

El módulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz # 100 en adelante, hasta el tamaño máximo presente y dividido en 100, para este cálculo no se incluyen los tamices 1" y ½".

$$MF = \text{sumatoria \% retenido acumulado} / 100$$

Se considera que el MF de una arena adecuada para producir concreto debe estar entre 2, 3, y 3.1 o, donde un valor menor que 2.0 indica una arena fina, 2.5 una arena de finura media y más de 3.0 una arena gruesa (ver apéndices).

5.2. Abrasión por máquina de los Ángeles

Es el procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de los agregados gruesos hasta de 37.5 mm (1 ½”) por medio de la máquina de los Ángeles. (Sigma Constructores, julio 9,2003).

El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva, la cual consiste en esferas de acero o de fundición, de un diámetro entre 46.38 mm (1 13/16”) y 47.63 mm (1 7/8”) y un peso comprendido entre 390 g y 445g.(Manual de Concreto Estructural conforme con la norma covenen-1753-03-pdf).

La carga abrasiva dependerá de la granulometría de ensayo, A, B, C o D, según se indica a continuación.

Tabla VIII. **Especificaciones de carga para ensayo abrasivo**

Granulometría de ensayo	Número de esferas	Peso total en gramos
A ^æ	12	5000 +- 25
B ⁿ	11	4584 +- 25
C ^t	8	3330 +- 20
D ^e	6	2500 +- 15

Fuente: AASHTO T 96, ASTM C-131.

La muestra consistirá en agregado limpio por lavado y secado en horno a una temperatura constante comprendida entre 105 y 110°C (221 a 230°F), separada por fracciones de cada tamaño y recombinadas con una de las granulometrías indicadas en la tabla VII. Las granulometrías elegidas serán representativas del agregado, tal y como va a ser utilizado en la obra. La muestra, antes de ensayada, deberá ser pesada con aproximación de 1 g. (Infraestructura en el Perú).

Tabla IX. **Granulometrías de agregado para ensayo abrasivo**

		Retenido en tamiz		Pesos y granulometrías de la muestra para ensayo (g)			
Mm	(alt)	Mm	Alt	A	B	C	D
37.5	(1 ½")	-25.0	(1")	1250+-25			
25.0	(1")	-19.0	(¾")	1250+-25			
19.0	(¾")	-12.5	(½")	1250+-10	2500+-10		
12.5	(½")	-9.5	(⅜")	1250+-10	2500+-10		
9.5	(⅜")	-6.3	(¼")			2500+-10	

Fuente: AASHTO T 96, ASTM C-131.

5.2.1. Calidad del agua

El riego de agua para concreto se especifica para ser de calidad potable (estar libre de materia orgánica). Esto es ciertamente conservador, pero normalmente no constituye un problema puesto que la mayoría de veces se produce concreto cerca de un suministro de agua municipal, está normado por ASTM C 1602-06.(Información de concretos-Anfacal. Tema Núm. 4).

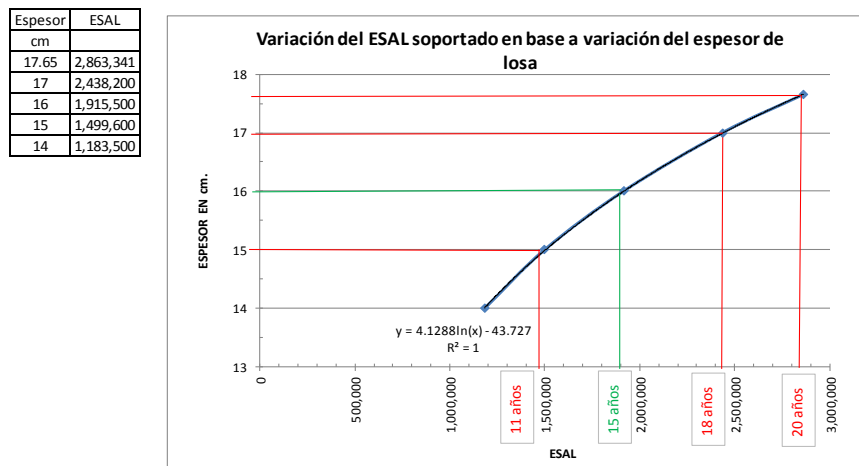
En el caso del agua que se emplea en la fabricación de concreto, se considera que puede tener dos funciones principales en el proceso: la primera como agua de mezclado y la segunda como agua de curado. Cuando el agua funciona como un ingrediente en la fabricación de concreto, es decir como agua de mezclado, se puede estimar que el agua ocupa entre el 10 y 25 % de cada metro cúbico de concreto que se fabrica.

(<http://es.scribd.com/doc/91642571/Agregados para Concretos y Morteros>).

6. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PROPUESTA DE PAVIMENTOS CON ESPESORES DE LOSA DE 0.1765; 0.170; 0.16; 0.15; 0.14 METROS Y EL RESULTADO DE LA PROPUESTA AASHTO 93

Para la realización de la gráfica variación del ESAL soportado con base a variación del espesor de losa (figura 7), se estableció el espesor de losa en función del módulo de reacción K de la subrasante, el cual también es una función del módulo resiliente de la subrasante del proyecto (CBR 85 % percentil, espesor y módulo de resiliencia de la base, profundidad de la fundación del pavimento rígido y pérdida de soporte) y el ESAL de diseño.

Figura 7. Valoración del ESAL



Fuente: elaboración propia.

6.1. Corridas con software winpas

En las siguientes figuras se presentan las características de los diversos tipos de pavimento, utilizando el software winpas.

Figura 8. **Módulo de reacción k de subrasante**

Material Type	Resilient Modulus (psi)
Cement Treated Granular Base	1,000,000 - 2,000,000
Cement Aggregate Mixture	500,000 - 1,000,000
Asphalt Treated Base	350,000 - 1,000,000
Bituminous Stabilized Mixture	40,000 - 300,000
Lime Stabilized Base	20,000 - 70,000
Unbound Granular Materials	15,000 - 45,000
Fine Graded or Natural Subgrade	3,000 - 40,000

(1MPa = 145psi)

1) Resilient Modulus of the Subgrade = psi

2) Resilient Modulus of the Base = psi (Leave blank if none)

3) Base Thickness (4 to 12 inches) = inches

4) Depth to Rigid Foundation = feet (Leave blank if > 10 feet)

5) Loss of Support (0, 1, 2, or 3) =

>> Modulus Of Subgrade Reaction, k = 686.7 psi/in

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Pavimento con 17.65 cm.

The screenshot shows the 'Rigid Pavement Design' software interface. The 'Rigid Design Inputs' section contains the following data:

Parameter	Value	Unit
PCC Thickness	6.95	inches
Design ESAL	2,863,341	
Reliability	80.00	percent
Overall Deviation	0.35	
Modulus of Rupture	650.0	psi
Modulus of Elasticity	4,387,500.0	psi
Load Transfer, J	3.10	
Mod. Subgrade Reaction, k	686.7	psi/in
Drainage Coefficient	0.90	
Initial Serviceability, Po	4.50	
Terminal Serviceability, Pt	2.50	

The 'Solve For' section indicates: **Pavement Thickness 6.95 inches**. Buttons for 'Cross Section', 'OK', and a help icon are visible on the right side.

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. Pavimento con 17 cm.

The screenshot shows the 'Rigid Pavement Design' software interface. The 'Rigid Design Inputs' section contains the following data:

Parameter	Value	Unit
PCC Thickness	6.69	inches
Design ESAL	2,438,200	
Reliability	80.00	percent
Overall Deviation	0.35	
Modulus of Rupture	650.0	psi
Modulus of Elasticity	4,387,500.0	psi
Load Transfer, J	3.10	
Mod. Subgrade Reaction, k	686.7	psi/in
Drainage Coefficient	0.90	
Initial Serviceability, Po	4.50	
Terminal Serviceability, Pt	2.50	

The 'Solve For' section indicates: **Design ESALs 2,438,200**. Buttons for 'Cross Section', 'OK', and a help icon are visible on the right side.

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. Pavimento con 16 cm.

The screenshot shows the 'Rigid Pavement Design' software interface. The 'Rigid Design Inputs' section contains the following parameters:

Parameter	Value	Unit
PCC Thickness	6.30	inches
Design ESAL	1,915,500	
Reliability	80.00	percent
Overall Deviation	0.35	
Modulus of Rupture	650.0	psi
Modulus of Elasticity	4,387,500.0	psi
Load Transfer, J	3.10	
Mod. Subgrade Reaction, k	686.7	psi/in
Drainage Coefficient	0.90	
Initial Serviceability, Po	4.50	
Terminal Serviceability, Pt	2.50	

The 'Solve For' section displays: **Design ESALs 1,915,500**. Buttons for 'Cross Section', 'OK', and a help icon are visible on the right side.

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Pavimento con 15 cm.

The screenshot shows the 'Rigid Pavement Design' software interface. The 'Rigid Design Inputs' section contains the following parameters:

Parameter	Value	Unit
PCC Thickness	5.90	inches
Design ESAL	1,499,600	
Reliability	80.00	percent
Overall Deviation	0.35	
Modulus of Rupture	650.0	psi
Modulus of Elasticity	4,387,500.0	psi
Load Transfer, J	3.10	
Mod. Subgrade Reaction, k	686.7	psi/in
Drainage Coefficient	0.90	
Initial Serviceability, Po	4.50	
Terminal Serviceability, Pt	2.50	

The 'Solve For' section displays: **Design ESALs 1,499,600**. Buttons for 'Cross Section', 'OK', and a help icon are visible on the right side.

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Pavimento con 14 cm.

The screenshot shows the 'Rigid Pavement Design' software window. It features a list of input parameters on the left, each with a text box for its value and a unit label. On the right, there are buttons for 'Cross Section', 'OK', and a help icon. At the bottom, a 'Solve For' box displays the result: 'Design ESALs 1,183,500'.

Parameter	Value	Unit
PCC Thickness	5.51	inches
Design ESAL	1,183,500	
Reliability	80.00	percent
Overall Deviation	0.35	
Modulus of Rupture	650.0	psi
Modulus of Elasticity	4,387,500.0	psi
Load Transfer, J	3.10	
Mod. Subgrade Reaction, k	686.7	psi/in
Drainage Coefficient	0.90	
Initial Serviceability, Po	4.50	
Terminal Serviceability, Pt	2.50	

Solve For: **Design ESALs 1,183,500**

Fuente: elaboración propia.

6.2. Presentación de resultados

Para construir la gráfica ESAL versus Espesor se utilizó el software Winpass, el cual debe ser alimentado con el módulo de reacción K de la subrasante este está en función del módulo resiliente de la subrasante (CBR al percentil 85 = 10 % = CBR de diseño, espesor y módulo de Resiliencia de la base, profundidad de fundación del pavimento rígido y pérdida de soporte) y el ESAL de diseño.

Al ir variando El ESAL de diseño (ver tabla IV), se fueron obteniendo diferentes espesores para la losa de concreto hidráulico.

Al hacer una correlación de espesores contra el ESAL de diseño se obtuvieron diferentes años de vida útil, de la losa de concreto hidráulico, que servirá de rodadura en este sub tramo en estudio, resultados que se presentan en la figura 7, de este capítulo.

- Al utilizar un ESAL de diseño de 1, 183,500 se obtiene un espesor de 0.14 metros, lo cual da una vida útil menor a 11 años.
- Al utilizar un ESAL de diseño de 1, 499,600 se obtiene un espesor de 0.15 metros, lo cual da una vida útil de 11 años.
- Al utilizar un ESAL de diseño de 1, 915,500 se obtiene un espesor de 0.16 metros, lo cual da una vida útil de 15 años.
- Al utilizar un ESAL de diseño de 2, 438,200 se obtiene un espesor de 0.17 metros, lo cual da una vida útil de 18 años.

- Al utilizar un ESAL de diseño de 2, 863,341 se obtiene un espesor de 0.1765 metros, lo cual da una vida útil de 20 años.

6.3. Discusión de resultados

Después de haber obtenido los resultados del software Winpas utilizado, y antes de emitir conclusiones de los mismos, se inició una revisión para considerar la veracidad y confiabilidad de estos.

Revisándose en primer lugar, el módulo de reacción K de la subrasante, esta depende directamente del CBR de diseño que para este caso se obtuvo de los ensayos hechos a los diferentes materiales obtenidos de las calicatas o pozos a cielo abierto hechos a la subrasante existente y que al plotearse en papel logarítmico en forma ascendente y correlacionarse se consigue al percentil 85 = 10 % que se tomó como CBR de diseño y que es parte fundamental de los datos que el Programa Winpas requiere para obtener resultados confiables.

Así mismo se revisa el ESAL de diseño obtenido de la tabla de ejes equivalentes y que con un espesor de 0.1765 metros el Programa Winpas determina o asigna una vida útil al pavimento de concreto hidráulico de 20 años.

También fueron objeto de revisión los diferentes ESALES de diseño que al irse variando fueron determinando los diferentes espesores de losa para determinar los diferentes años de vida útil de la losa de concreto hidráulico, que variaron desde 0.14metros hasta 0.17metros con sus respectivos valores de vida útil. Además de los diferentes valores que a manera de constantes alimentan el software, para obtener resultados confiables.

Al verificar la veracidad y confiabilidad de los resultados obtenidos, se inicia con la discusión de resultados y se determina que el percentil 85 = 10 % de CBR obtenido es el conveniente para diseñar.

La correlación de la variación de diferentes ESALES de diseño soportados con base a las variaciones de diferentes espesores de losa, es confiable, por tener un ($R^2 = 1$).

Se comprueba que al disminuirle un centímetro al espesor de losa del diseño original se pierden cinco años de vida útil, el cual refleja un 25 % de pérdida en la vida útil del pavimento.

CONCLUSIONES

1. Es de mucha utilidad hacer el análisis comparativo de los diferentes espesores de losa con métodos AASHTO '93 y el software Winpas para obtener datos de vida útil de los pavimentos, ya que los resultados obtenidos son confiables por ser AASHTO una agencia reconocida internacionalmente en el diseño de pavimentos.
2. La vida útil de un pavimento rígido depende del espesor de losa como se aprecia en la gráfica variación del ESAL soportado, con base en la variación del espesor de losa.
3. Al disminuir un centímetro al espesor de losa original no se obtiene ninguna economía en la ejecución del proyecto, al contrario se le perjudicó enormemente, debido a que pierde un 25 % de vida útil y se comprueba que con un centímetro que se le disminuya al espesor de losa diseñada originalmente, se pierden 5 años de durabilidad.
4. Con estos resultados obtenidos se puede hacer una contrapropuesta del espesor de losa a construir, para evitar pérdida en la vida útil del pavimento de concreto hidráulico, y mantenimientos prematuros que perjudican a las comunidades asentadas a lo largo del proyecto, al tránsito usuario y a la economía del país.

5. Para diseñar el espesor de losa se debe tomar en cuenta los resultados de ensayos de mecánica de suelos aplicados a los materiales a utilizar y el ESAL de diseño, para garantizar que los costos se optimicen y que el espesor de losa no estará sub diseñado o sobre diseñado.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar métodos confiables, en el diseño de estructuras de pavimentos rígidos, tales como AASHTO 93, y el software Winpas por ser mecanicistas e incorporar la geometría del tamaño de las losas y el alabeo de las mismas como factores importantes en el comportamiento de este tipo de pavimentos.
2. La metodología planteada en este trabajo es técnicamente confiable, porque utiliza el CBR al 85 percentil de los suelos de subrasante del proyecto. El ESAL calculado para el proyecto y el método matemático y factores de diseño son recomendados por la metodología AASHTO '93 para diseño de pavimentos.
3. Respetar los diseños originales, debido a que estos están basados en un estudio preliminar hecho, con el fin de alcanzar los mejores resultados, para beneficiar a la población, al tránsito usuario y principalmente a la economía del país.
4. Para obtener buenos resultados a la hora de construir una estructura para soportar pavimento de concreto hidráulico es fundamental que el aspecto geotécnico se fundamente en el cálculo del espesor de losa en función del módulo de reacción K del material de subrasante con un CBR al percentil 85 = 10 % = CBR de diseño, espesor y módulo de resiliencia del material de base, profundidad de la fundación del pavimento rígido, la pérdida de soporte y el ESAL de diseño.

5. Utilizar la gráfica variación del ESAL soportado, en función de la variación del espesor de losa, para establecer el espesor de losa en función de las necesidades del propietario del proyecto.

6. En la construcción de estructuras de pavimentos rígidos, asegurarse de que estas se desempeñen siempre sobre superficies estables, para evitar daños en las losas.

7. En cuanto a drenaje, velar por el buen funcionamiento del mismo para evitar daños en las losas por pérdida de soporte en los materiales de fundición, así evitar costos altos de mantenimiento a lo largo de la vida útil del pavimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.ACPA. Subrasantes y subbases para pavimentos de concreto.
- 2.AEPO, I. C. (2011). Cálculo de refuerzo de firmes, según el Método AASHTO. Recuperado el octubre de 2014, de cálculo de refuerzo de firmes, según el Método AASHTO. : <http://es.scribd.com/doc/49809108/CALCULO-DE-REFUERZOS-DE-FIRMES#scribd>
- 3.Agregados para concretos y morteros. (s.f.). Obtenido de agregados para concretos y morteros: [http://es.scribd.com/doc/91642571/agregados para concretos y morteros](http://es.scribd.com/doc/91642571/agregados-para-concretos-y-morteros)
- 4.Anckermann, E. (1969). Manual para laboratoristas de suelos en construcción de carreteras.
- 5.Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (1996). Guatemala: AGIES.
- 6.Bucknam, E. A. (2001). Deslizamientos de tierra inducidos por el huracán Mitch. Guatemala: USGS/INSIVUMEH.
- 7.Dirección General de Caminos, (1992) Departamento de Ingeniería de Tránsito. En D. G. Caminos. Guatemala: Dirección General de Caminos.

8. Caminos, D. G. (2001). Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes. Guatemala, Guatemala , Guatemala: Dirección General de Caminos e Ingenieros Consultores de Centro América, S.A.
9. Cancinos, D. V. Estudio hidrológico de tramo 1. En D. V. Cancinos.
10. Cemento, C. N. CENACEM. México .
11. Córdoba, Á. C. (s.f.). Peso unitario del agregado grueso y fino, www.scribd.com.
12. Determinación de la absorción de agua. (s.f.). Obtenido de determinación de la absorción de agua: [http://es.scribd.com/doc/202539212/determinación de la absorción de agua](http://es.scribd.com/doc/202539212/determinación-de-la-absorción-de-agua).
13. Dirección General de Caminos, M. d. Informe Geológico Geotécnico Tramo: San Julián - Puente Chascó Tramo 1. Guatemala: Ingeniero Francisco Alvarez, Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos.
14. Geoffrey Griffiths, N. T. (2007). Concrete Pavement Design Guidance Notes. New York: Taylor & Francis Group. <http://www.incy.com/revista/pdgs/problemas47.pdf>. (s.f.). Obtenido de <http://www.incy.com/revista/pdgs/problemas47.pdf>

- 15.Deslizamientos de tierra inducidos por el huracán Mitch en Guatemala inventario y discusin. (s.f.). Obtenido de <http://www.researchgate.net/publication/238760652> Deslizamientos de tierra inducidos por el huracán Mitch en Guatemala inventario y discusin. <http://www.researchgate.net/publication/238760652>
- 16.Iberoamérica, C. D. (2002). Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos, Colección de Documentos Volumen 12. Recuperado el noviembre de 2014, de Catálogo de Deterioros de Pavimentos Rígidos, Colección de Documentos Volumen 12: <http://dircaibea.org/documentos/vol12.pdf>
- 17.Información de concretos-Anfacal. Tema Núm. 4. (s.f.). Obtenido de Información de concretos-Anfacal. Tema Núm. 4: www.google.com.gt. Información de concretos-Anfacal. Tema Núm. 4
- 18.Infraestructura en el Perú. (s.f.). Obtenido de Infraestructura en el Perú: [http://es.scribd.com/com/262954807/Infraestructura en el Perú](http://es.scribd.com/com/262954807/Infraestructura-en-el-Peru)
- 19.Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). Obtenido de Instituto Geográfico Nacional: Instituto Geográfico Nacional
- 20.Instituto Nacional de Sismología, V. M. (s.f.). www.insivumeh.gob.gt. Obtenido de www.insivumeh.gob.gt: [www.google.com.gt/search?q=www.insivumeh.gob.gt/mapa+geológico+cuenta+rio+polochic](http://www.google.com.gt/search?q=www.insivumeh.gob.gt/mapa+geol%C3%B3gico+cuenta+rio+polochic).
- 21.Instituto Nacional de Sismología, V. y. (s.f.) Zonas Climáticas de Guatemala. Guatemala.

- 22.Iturbide, J. C. (2002). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos .
En J. C. Iturbide, Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos.
- 23.Iturbide, J. C. (2001). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos
USA: AID/SIECA.
- 24.(2001). Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento. En Acuerdo
Centroamericano sobre circulación de carreteras .
- 25.Manual de Concreto Estructural conforme con la norma covenen-1753-03-
pdf. (s.f.). Obtenido de Manual de Concreto Estructural conforme con la
norma covenen-1753-03-pdf:
<http://www.scribd.com/doc/230125873/126447501>
- 26.Officials, A. A. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures.
Washington DC: American Association of State Highway and
Transportation Officials.
- 27.Olivero, W. Olivero, William Cementos Progreso, Área técnica de
pavimentos, Centro Tecnológico. En W. Olivero. Cementos Progreso,.
- 28.Perú, A. d. (s.f.). Boletín Técnico Número 81. ASOCEM.
- 29.Perú, C. d. Departamento de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú.
Sección de Ingeniería Civil del Consejo. Departamento de Loreto del
Colegio de Ingenieros del Perú. Sección de Ingeniería Civil del Consejo.
- 30.Perú, D. d., & Consejo, S. d. Perú.

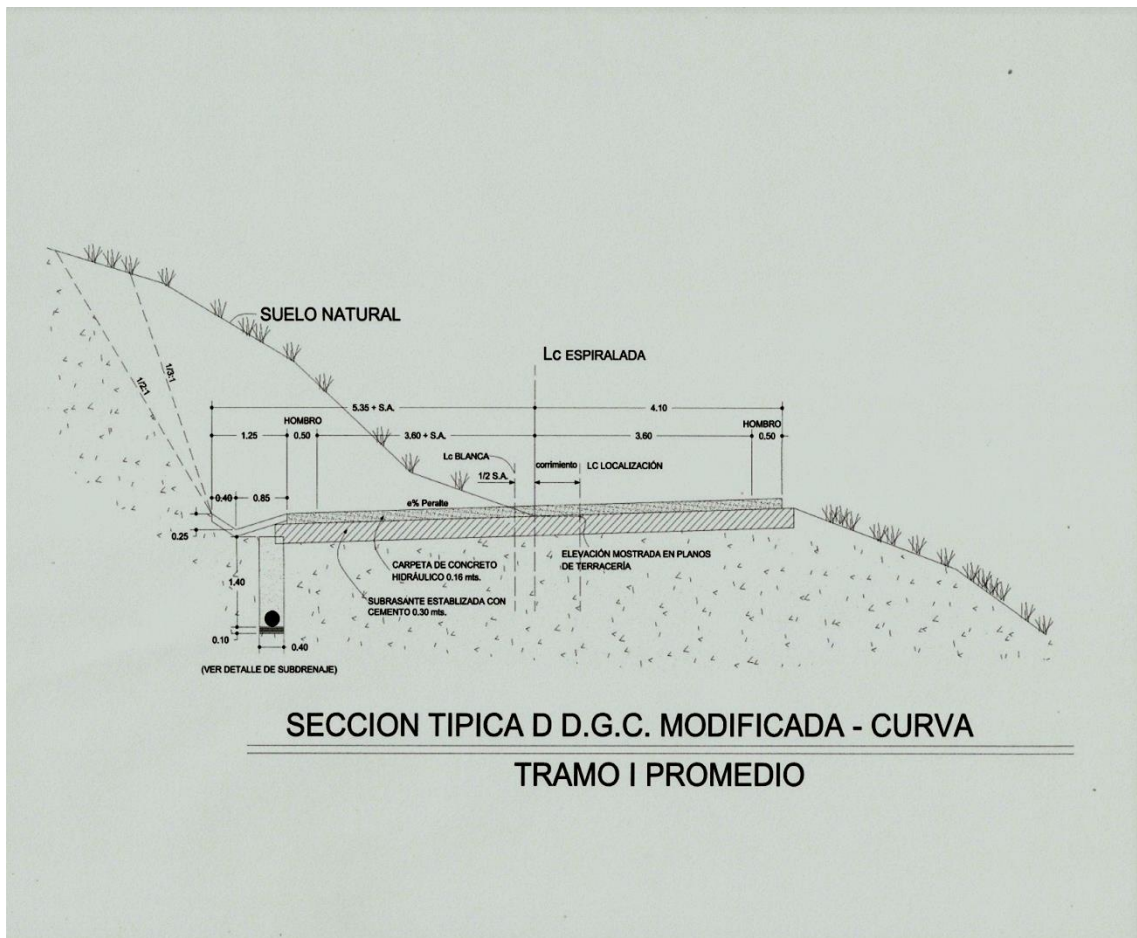
31. Porto, D. A. (1912). Evaluación y Patología de Pavimentos de Concreto, Asocreto. Recuperado el octubre de 2014, de <http://www.iccg.org.gt/component/phocadownload/category/3-noticias?download=96:pavimentos-concreto>.
32. Ricci, G. P. (2015): <https://scholar.google.com.ar/citations?user=5f2ZJKYAAAAJ&hl=es>.
33. Rodríguez, A. P. (s.f.). Mezclas Asfálticas . Recuperado el septiembre de 2014, de https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2009.1/3334/14/34065_14.pdf
34. Salesiana, U. P. Quito: Universidad Politécnica Salesiana
35. SAPROF. (2004).
36. SIECA. Manual de Normas de Diseño Geométrico . En SIECA, Manual de Normas de Diseño Geométrico.
37. Sigma Constructores, S. (julio 9, 2003). Manual de laboratorio. Guatemala : Sigma Constructores, S.A.
38. Transporte, S. d. (2002). Método de muestreo y pruebas de materiales, Materiales para Pavimentos, M-MMP-4 . Recuperado el octubre de 2014, de <http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-011-01.pdf>.

39. Vivienda, M. D. (s.f.). Reglamento para el Control de Pesos y Dimensiones de Vehículos Automotores y sus Combinaciones. Recuperado el Octubre de 2014, de Acuerdo Gubernativo 1084-92: http://www.cutrigua.org.gt/portal/cutrigua/Pesos_y_Dimensiones_2010_final.pdf.

40. Wikiguate. (s.f.). http://wikiguate.com.gt/wiki/Clima_de_Guatemala#sthash.XEEx7dQ.dpuf. Obtenido de http://wikiguate.com.gt/wiki/Clima_de_Guatemala#sthash.XEEx7dQ.dpuf

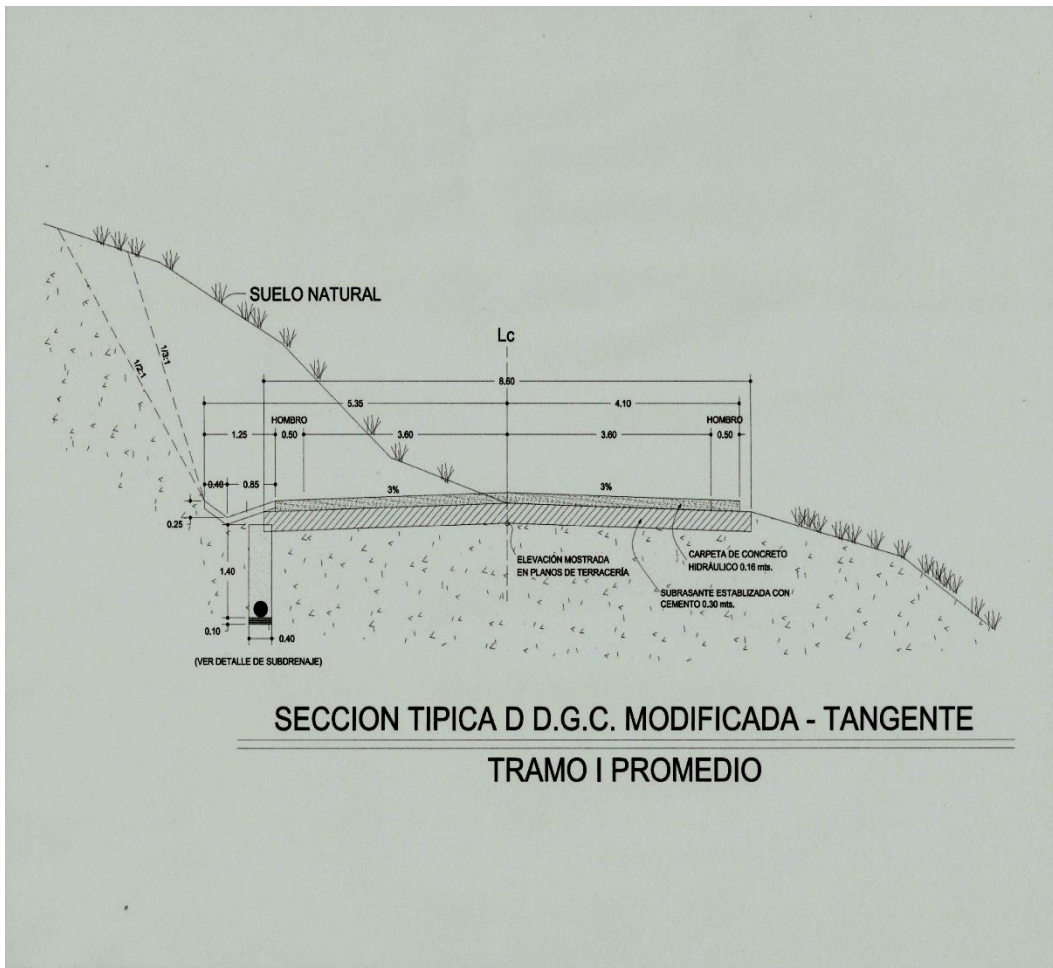
APÉNDICES

Apéndice 1. Curva tramo I promedio



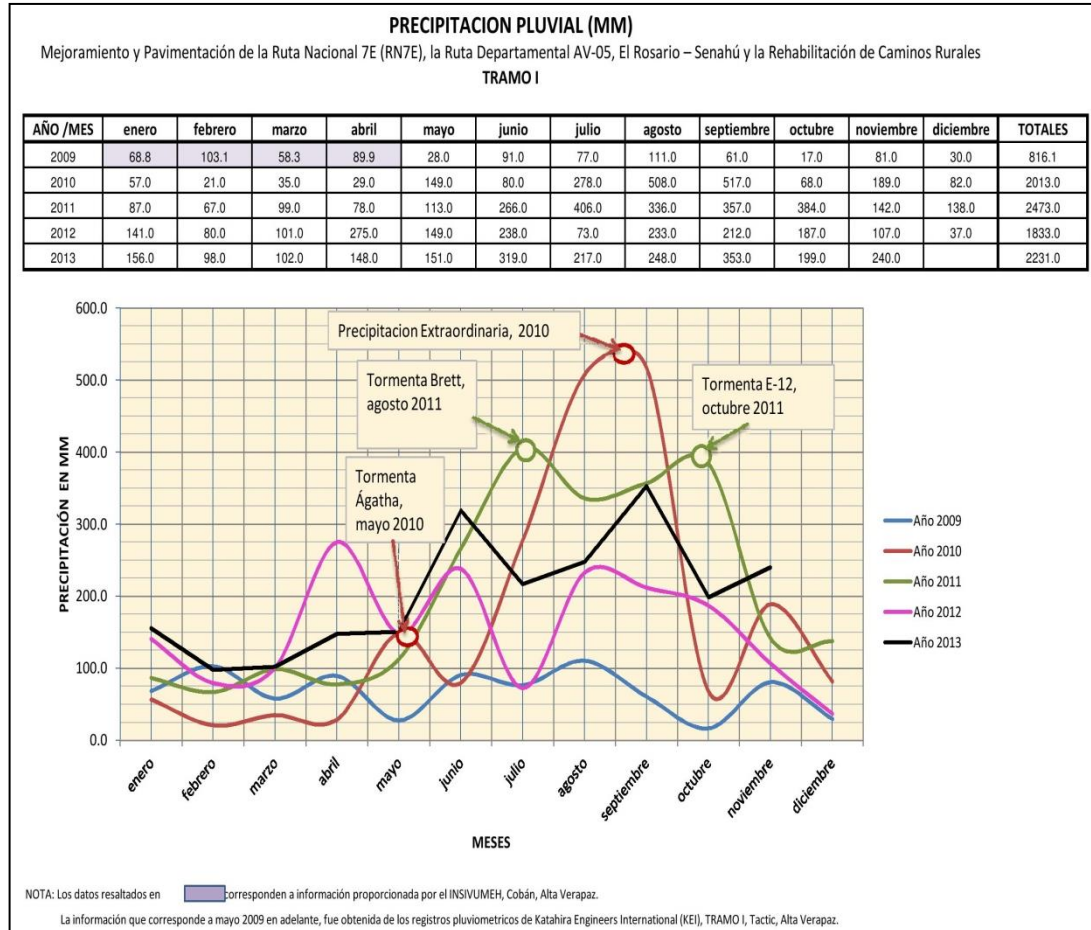
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en la Dirección General de Caminos.

Apéndice 2. Tangente tramo I promedio



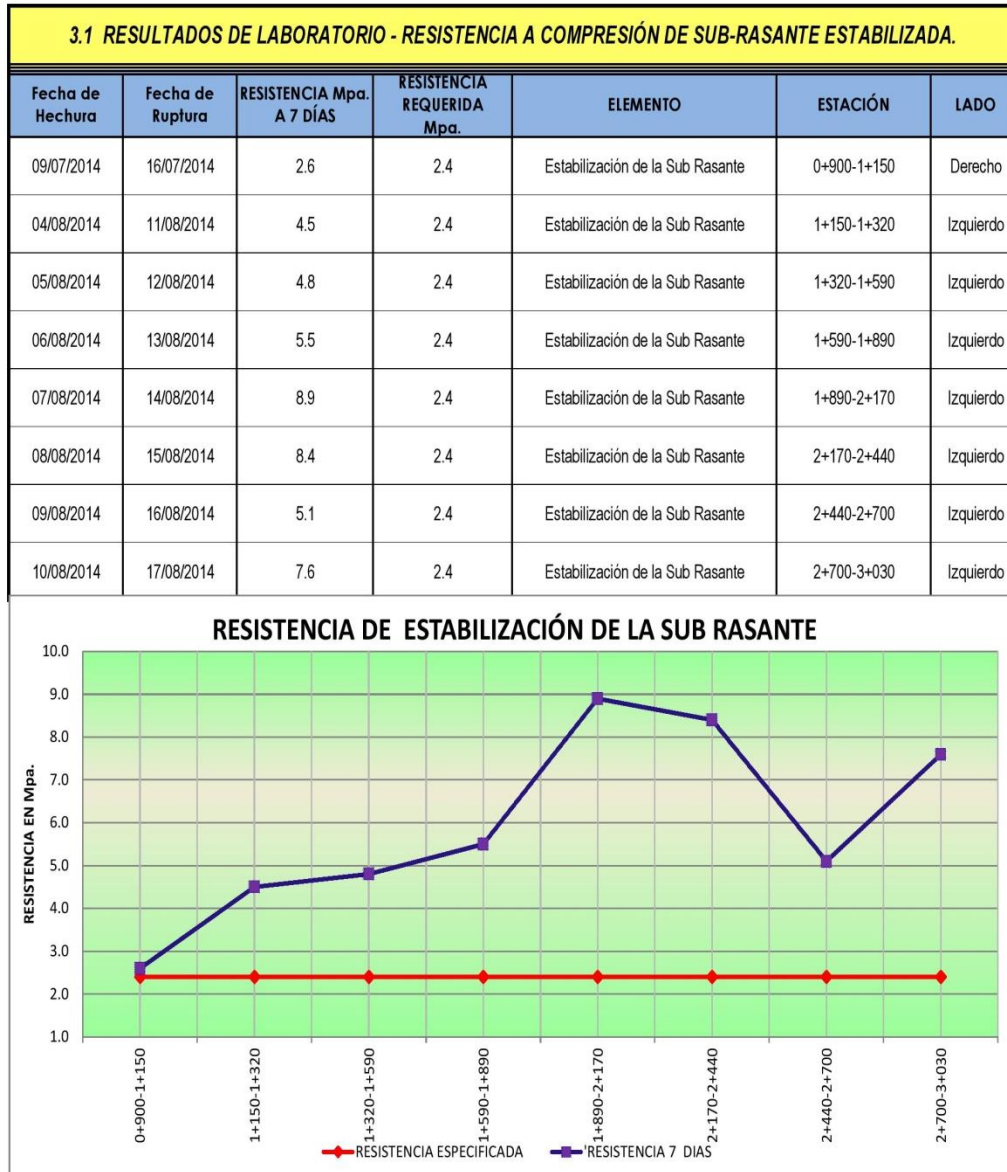
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en la Dirección General de Caminos.

Apéndice 3. Precipitación pluvial



Fuente: elaboración propia.

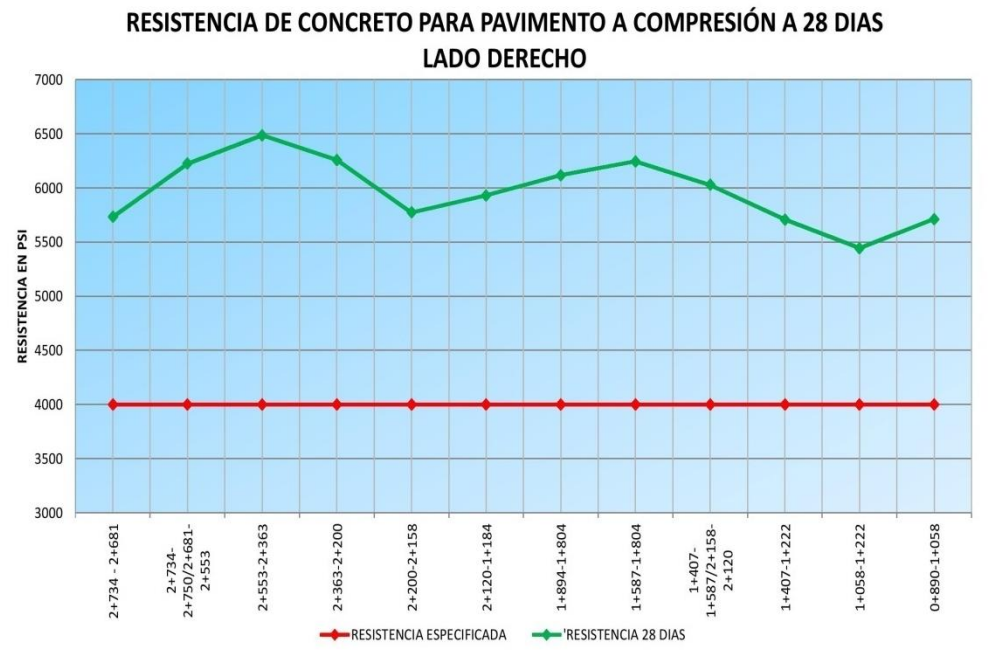
Apéndice 4. Resistencia a la compresión de subrasante estabilizada



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Resistencia de concreto para pavimento a compresión, a 28 días, lado derecho

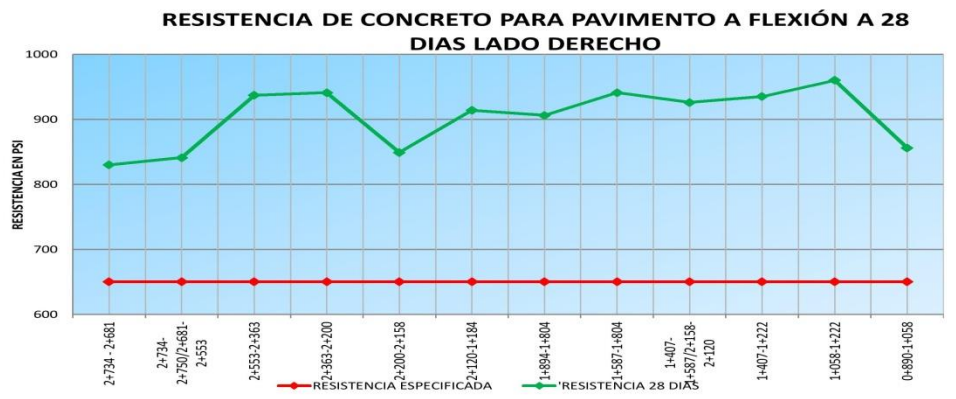
RESISTENCIA A 28 DIAS A COMPRESIÓN						
Fecha de Hechura	Fecha de Ruptura	RESISTENCIA LBS/PLG2	RESISTENCIA REQUERIDA LBS/PLG2	ELEMENTO	ESTACIÓN	LADO
		28				
08/03/2013	15/03/2013	5732	4000	Pavimento	2+734 - 2+681	Derecho
09/03/2013	16/03/2013	6223	4000	Pavimento	2+734-2+750/2+681-2+553	Derecho
10/03/2013	17/03/2013	6485	4000	Pavimento	2+553-2+363	Derecho
11/03/2013	18/03/2013	6257	4000	Pavimento	2+363-2+200	Derecho
12/03/2013	19/03/2013	5774	4000	Pavimento	2+200-2+158	Derecho
13/03/2013	20/03/2013	5929	4000	Pavimento	2+120-1+184	Derecho
14/03/2013	21/03/2013	6116	4000	Pavimento	1+894-1+804	Derecho
15/03/2013	22/03/2013	6245	4000	Pavimento	1+587-1+804	Derecho
16/03/2013	23/03/2013	6028	4000	Pavimento	1+407-1+587/2+158-2+120	Derecho
17/03/2013	24/03/2013	5706	4000	Pavimento	1+407-1+222	Derecho
18/03/2013	15/04/2013	5443	4000	Pavimento	1+058-1+222	Derecho
19/03/2013	16/04/2013	5711	4000	Pavimento	0+890-1+058	Derecho



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Resistencia de concreto para pavimento a flexión a 28 días
lado derecho

RESISTENCIA A 28 DIAS A FLEXIÓN						
Fecha de Hechura	Fecha de Ruptura	RESISTENCIA LBS/PLG2	RESISTENCIA REQUERIDA LBS/PLG2	ELEMENTO	ESTACIÓN	LADO
		28				
08/03/2013	15/03/2013	830	650	Pavimento	2+734 - 2+681	Derecho
09/03/2013	16/03/2013	841	650	Pavimento	2+734-2+750/2+681-2+553	Derecho
10/03/2013	17/03/2013	937	650	Pavimento	2+553-2+363	Derecho
11/03/2013	18/03/2013	941	650	Pavimento	2+363-2+200	Derecho
12/03/2013	19/03/2013	849	650	Pavimento	2+200-2+158	Derecho
13/03/2013	20/03/2013	914	650	Pavimento	2+120-1+184	Derecho
14/03/2013	21/03/2013	906	650	Pavimento	1+894-1+804	Derecho
15/03/2013	22/03/2013	941	650	Pavimento	1+587-1+804	Derecho
16/03/2013	23/03/2013	926	650	Pavimento	1+407-1+587/2+158-2+120	Derecho
17/03/2013	24/03/2013	935	650	Pavimento	1+407-1+222	Derecho
18/03/2013	15/04/2013	960	650	Pavimento	1+058-1+222	Derecho
19/03/2013	16/04/2013	856	650	Pavimento	0+890-1+058	Derecho



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Determinación del equivalente de arena

PROYECTO																										
REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA NACIONAL 7E, TRAMO I "SAN JULIÁN - PUENTE CHASCO"																										
DETERMINACIÓN DEL EQUIVALENTE DE ARENA (AASHTO T-176)																										
LOCALIZACIÓN DEL MATERIAL DE ANÁLISIS:	RIO POLOCHIC																									
SITIO:	Río Polochic Trituradora 032+300 L.I.																									
OBRA:	REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN RN-7E, TRAMO I																									
No. MUESTRA:	480																									
DESCRIPCIÓN:	ARENA-																									
FECHA:	2 de agosto de 2012																									
DESTINO O USO DEL MATERIAL:	CONCRETO HIDRÁULICO-																									
LABORATORIO:	480																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PRUEBA No</th> <th colspan="2">1</th> <th colspan="2">2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TIEMPO</td> <td>9:28</td> <td>9:38</td> <td>9:33</td> <td>9:43</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">TOTAL</td> <td colspan="2">0:10</td> <td colspan="2">0:10</td> </tr> <tr> <td>TIEMPO</td> <td>9:40</td> <td>10:00</td> <td>9:45</td> <td>10:05</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">TOTAL</td> <td colspan="2">0:20</td> <td colspan="2">0:20</td> </tr> </tbody> </table>		PRUEBA No	1		2		TIEMPO	9:28	9:38	9:33	9:43	TOTAL	0:10		0:10		TIEMPO	9:40	10:00	9:45	10:05	TOTAL	0:20		0:20	
PRUEBA No	1		2																							
TIEMPO	9:28	9:38	9:33	9:43																						
TOTAL	0:10		0:10																							
TIEMPO	9:40	10:00	9:45	10:05																						
TOTAL	0:20		0:20																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>PRUEBA No.</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> <tr> <th>PROBETA</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LECTURA DE ARENA (a) mm</td> <td>2.6</td> <td>2.7</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LECTURA DE ARCILLA (b) mm</td> <td>3.1</td> <td>3.2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>EQUIVALENTE DE ARENA (a / b) x 100</td> <td>83.9</td> <td>84.4</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		PRUEBA No.	1	2	3	PROBETA	A	B	C	LECTURA DE ARENA (a) mm	2.6	2.7		LECTURA DE ARCILLA (b) mm	3.1	3.2		EQUIVALENTE DE ARENA (a / b) x 100	83.9	84.4						
PRUEBA No.	1	2	3																							
PROBETA	A	B	C																							
LECTURA DE ARENA (a) mm	2.6	2.7																								
LECTURA DE ARCILLA (b) mm	3.1	3.2																								
EQUIVALENTE DE ARENA (a / b) x 100	83.9	84.4																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>PROMEDIO</td> <td>%</td> <td>84.1</td> </tr> </tbody> </table>		PROMEDIO	%	84.1																						
PROMEDIO	%	84.1																								
<p>REGLÓN DE TRABAJO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>SUB BASE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>BASE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CONCRETO HIDRÁULICO</td> <td style="background-color: #00b0f0; color: white;">XXX</td> </tr> <tr> <td>CONCRETO ASFÁLTICO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>OTRO</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		SUB BASE		BASE		CONCRETO HIDRÁULICO	XXX	CONCRETO ASFÁLTICO		OTRO																
SUB BASE																										
BASE																										
CONCRETO HIDRÁULICO	XXX																									
CONCRETO ASFÁLTICO																										
OTRO																										
<p>ESPECIFICACIONES:</p> <p>Los tiempos de saturación serán de 10 minutos</p> <p>Los tiempos de agitado serán de 90 ciclos.</p> <p>Los tiempos de reposo serán de 20 minutos.</p> <p>Todos los tiempos deberán ser exactos.</p>																										
<p>OBSERVACIONES:</p> <p style="text-align: center;">AGREGADO FINO (ARENA) RIO POLOCHIC (TRITURADORA 032+300 L.I.)</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>																										

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Pesos unitarios (AASHTO T-19)

PROYECTO						
REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA NACIONAL 7E, TRAMO I			"SAN JULIÁN - PUENTE CHASCO"			
PESOS UNITARIOS (AASHTO T-19)						
PROYECTO: REHABILITACION Y PAVIMENTACION RN-7E, TRAMO I			SUPERVISORA: _____			
MATERIAL: AGREGADO GRUESO		ESTACIÓN: LABORATORIO				
FASE DE TRABAJO: CONCRETO HIDRAULICO		No.MUESTRA: 481				
FECHA: jueves, 02 de agosto de 2012		LABORATORIO No. 481				
	PESOS SUELTOS			PESOS VARILLADOS		
PESO BRUTO	15839	16054	15638	16515	16600	16650
TARA	4902	4902	4902	4902	4902	4902
PESO NETO	10937	11152	10736	11613	11698	11748
VOLUMEN DE CILINDRO	7.400	7.400	7.400	7.400	7.400	7.400
PESO UNITARIO	1478	1507	1451	1569.3	1580.8	1587.6
PROMEDIO.		1479			1579	
OBSERVACIONES. AGREGADO GRUESO PROCEDENTE DE RIO POLOCHIC (TRITURADORA 032+300 L.I.)						

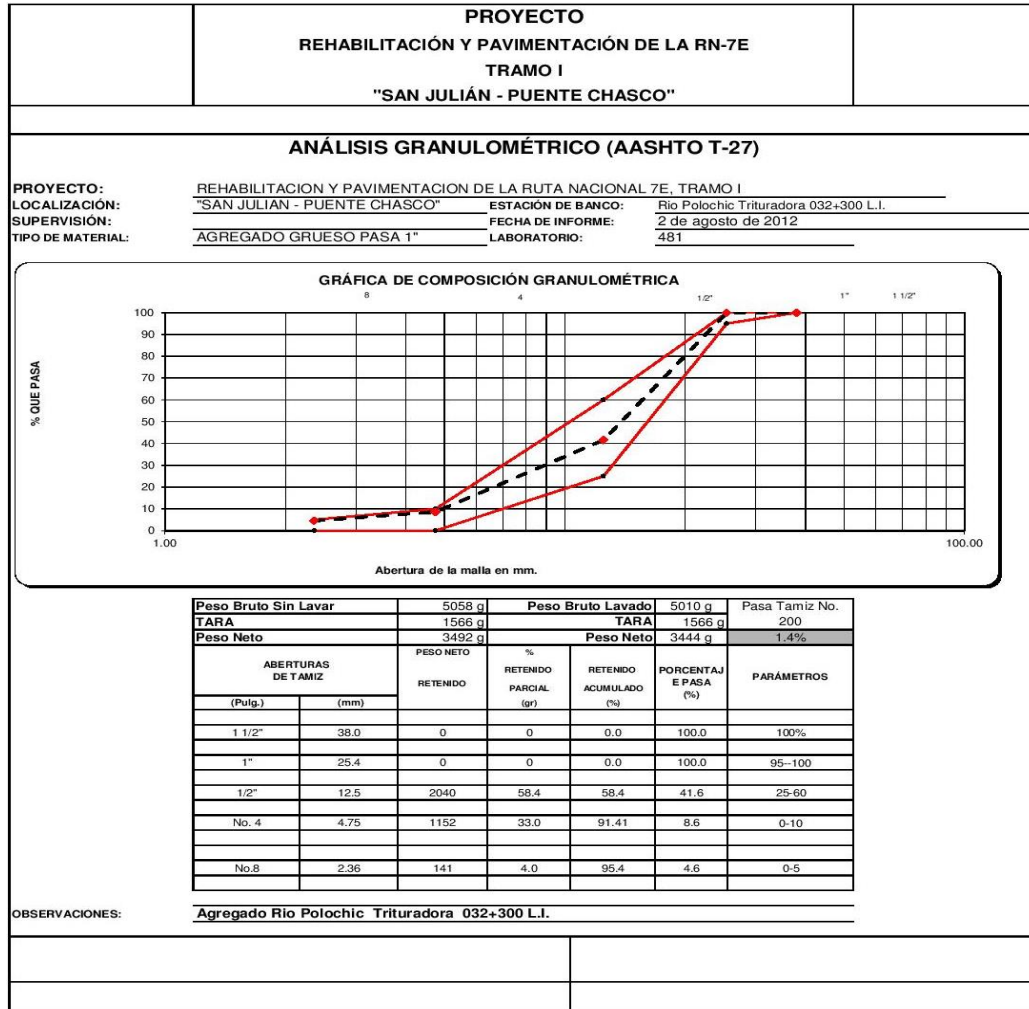
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Desintegración al sulfato de sodio

PROYECTO						
REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA NACIONAL 7E TRAMO I, "SAN JULIÁN - PUENTE CHASCO"						
DESINTEGRACIÓN AL SULFATO DE SODIO (AASHTO T-104)						
PROYECTO:		REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA RN-7E		FECHA:		20 de julio de 2010
SUPERVISORA:				ESTACIÓN:		Trituradora 032+300 L.I.
MATERIAL		ARENA		LABORATORIO		480
PROCEDENCIA:		Río Polochic Trituradora 032+300 L.I.				
SOLU. UTILIZADA:		SULFATO DE SODIO				
TAMAÑOS		GRADUACIÓN POR FRACCIÓN	PESOS		% DE DESGASTE	DESGASTE REFERIDO POR GRAD.
PASA	RETENIDO		ANTES DEL ENSAYO	DESPUÉS ENSAYO		
3/8"	No.4	3.4	0	0		
Nº.4	Nº.8	19.7	110	107.6	2.2	0.4
Nº.8	Nº16	21.6	110	108.0	1.8	0.4
Nº16	Nº30	19.9	110	109.1	0.8	0.2
Nº30	Nº50	35.5	110	108.7	1.2	0.4
TOTALES		100				1.4
OBSERVACIONES:		AGREGADO FINO (ARENA) RIO POLOCHIC (TRITURADORA 032+300 L.I.)				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Análisis granulométrico AASHTO T-27



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. Ensayo de abrasión en máquina de Los Ángeles

PROYECTO						
REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN DE LA RUTA NACIONAL 7E, TRAMO I: "SAN JULIÁN - PUENTE CHASCO"						
ENSAYO DE ABRASIÓN EN MAQUINA DE LOS ÁNGELES (AASHTO T-96) DESGASTE FÍSICO						
LOCALIZACIÓN DEL MATERIAL DE ANÁLISIS :						
RIO POLOCHIC	SITIO: Trituradora 032+300 L.L.					
OBRA : REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN RN-7E	MUESTRA : 481					
DESCRIPCIÓN: AGREGADO GRUESO	FECHA: Jueves 29 de julio de 2010					
DESTINO O USO DEL MATERIAL: CONCRETO HIDRÁULICO	LAB. No. 481					
LUGAR DE PROCEDENCIA: Rio Polochic Trituradora 032+300 L.L.						
TIPO DE ENSAYO:	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">A</td> <td style="width: 20px; text-align: center; background-color: yellow;">B</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">C</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">D</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">E</td> </tr> </table>	A	B	C	D	E
A	B	C	D	E		
PESO DE LA MUESTRA ANTES DEL ENSAYO:	5,000 Gramos.					
PESO DE LA MUESTRA DESPUÉS DEL ENSAYO: (RETENIDO TAMIZ No. 12)	3,964 Gramos					
DIFERENCIA (DESGASTE)	1,036 Gramos					
CALCULO:						
DIFERENCIA (DESGASTE)	1,036					
PESO NETO ANTES DEL ENSAYO:	5,000					
PORCENTAJE DE DESGASTE:	20.72 %					
OBSERVACIONES:	<u>MATERIAL AGREGADO GRUESO RIO POLOCHIC (TRITURADORA 032+300 L.L.)</u> _____ _____ _____					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. Control de ruptura de suelo cemento.

CONTROL DE RUPTURAS DE SUELO CEMENTO																	
Fecha de Prueba		Número de Probeta	ELEMENTO	LADO	Edad	Contenido de Cemento %	Diámetro Probeta Cms.	Altura Probeta Cms.	Área Probeta Cms ²	Peso Probeta Kgs.	Volumen Probeta cms ³	Densidad Probeta Kgs/m ³	Carga de Ruptura Kgs.	Resistencia en Kgs/cms ²	Factor de Conversión	Resistencia en Mpa.	Promedio en Mpa.
Hechura	Ruptura																
1																	
0+900-1+150 LADO DER.																	
9-jul-11	16-jul-11	4	Suelo Cemento	Derecho	7	3	10.20	11.80	81.71	2254	964.2	2.338	2127	26.03	0.006895	2.55	2.60
9-jul-11	16-jul-11	5	Suelo Cemento	Derecho	7	3	10.20	11.70	81.71	2273	956.0	2.378	2158	26.41	0.006895	2.59	
9-jul-11	16-jul-11	6	Suelo Cemento	Derecho	7	3	10.20	11.66	81.71	2283	952.8	2.396	2450	29.98	0.006895	2.94	
9-jul-11	16-jul-11	8	Suelo Cemento	Derecho	7	3	10.20	11.65	81.71	2243	952.0	2.356	1900	23.62	0.006895	2.32	
2																	
1+150-1+320 LADO IQZ.																	
4-ago-11	11-ago-11	16	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.68	81.71	2276	954.4	2.385	2980	36.47	0.006895	3.58	4.46
4-ago-11	11-ago-11	17	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.19	11.70	81.55	2291	954.2	2.401	4160	51.01	0.006895	5.00	
4-ago-11	11-ago-11	18	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.67	81.71	2282	953.6	2.393	4350	53.24	0.006895	5.22	
4-ago-11	11-ago-11	19	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.18	11.67	81.39	2279	949.9	2.399	3340	41.04	0.006895	4.02	
3																	
1+320-1+590 LADO IQZ.																	
5-ago-11	12-ago-11	28	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.18	11.76	81.39	2272	957.2	2.374	4120	50.62	0.006895	4.96	4.77
5-ago-11	12-ago-11	29	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.74	81.71	2260	959.3	2.356	3270	40.02	0.006895	3.92	
5-ago-11	12-ago-11	30	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.17	11.73	81.23	2294	952.9	2.407	3940	48.50	0.006895	4.76	
5-ago-11	12-ago-11	31	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.17	11.77	81.23	2296	956.1	2.401	4510	55.52	0.006895	5.44	
4																	
1+590-1+890 LADO IQZ.																	
6-ago-11	13-ago-11	40	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.73	81.71	2274	958.5	2.372	4290	52.50	0.006895	5.15	5.50
6-ago-11	13-ago-11	41	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.17	11.75	81.23	2280	954.5	2.389	4580	56.38	0.006895	5.53	
6-ago-11	13-ago-11	42	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.73	81.71	2288	958.5	2.387	4690	57.40	0.006895	5.63	
6-ago-11	13-ago-11	43	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.18	11.75	81.39	2290	956.4	2.394	4720	57.99	0.006895	5.69	
5																	
1+890-2+170 LADO IQZ.																	
7-ago-11	14-ago-11	52	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.17	11.76	81.23	2322	955.3	2.431	7340	90.36	0.006895	8.86	8.88
7-ago-11	14-ago-11	53	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.17	11.75	81.23	2284	954.5	2.393	7560	93.07	0.006895	9.13	
7-ago-11	14-ago-11	54	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.18	11.76	81.39	2298	957.2	2.401	7130	87.60	0.006895	8.59	
7-ago-11	14-ago-11	55	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.19	11.74	81.55	2292	957.4	2.394	7450	91.35	0.006895	8.96	
6																	
2+170-2+440 LADO IQZ.																	
8-ago-11	15-ago-11	64	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.91	81.71	2340	973.2	2.404	7210	88.24	0.006895	8.65	8.36
8-ago-11	15-ago-11	65	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.21	11.88	81.87	2340	972.7	2.406	6670	81.47	0.006895	7.99	
8-ago-11	15-ago-11	66	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.21	11.76	81.87	2340	962.8	2.430	6790	82.93	0.006895	8.13	
8-ago-11	15-ago-11	67	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.22	11.75	82.03	2332	963.9	2.419	7240	88.26	0.006895	8.65	
7																	
2+440-2+700 LADO IQZ.																	
9-ago-11	16-ago-11	76	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.14	11.74	80.75	2262	948.1	2.386	4570	56.59	0.006895	5.55	5.07
9-ago-11	16-ago-11	77	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.16	11.77	81.07	2256	954.2	2.364	4070	50.20	0.006895	4.92	
9-ago-11	16-ago-11	78	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.18	11.75	81.39	2276	956.4	2.380	4030	49.51	0.006895	4.86	
9-ago-11	16-ago-11	79	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.14	11.75	80.75	2256	948.9	2.378	4070	50.40	0.006895	4.94	
8																	
2+700-3+030 LADO IQZ.																	
10-ago-11	17-ago-11	88	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.16	11.67	81.07	2316	946.1	2.448	7010	86.46	0.006895	8.48	7.61
10-ago-11	17-ago-11	89	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.18	11.70	81.39	2282	952.3	2.396	4900	60.20	0.006895	5.90	
10-ago-11	17-ago-11	90	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.17	11.70	81.23	2312	950.4	2.433	6590	81.12	0.006895	7.96	
10-ago-11	17-ago-11	91	Suelo Cemento	Izquierdo	7	3	10.20	11.69	81.71	2306	955.2	2.414	6760	82.73	0.006895	8.11	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. Control de vigas de concreto hidráulico.

CONTROL DE VIGAS DE CONCRETO HIDRAULICO																	
No.	Fecha		Edad en días	Slump	Estructura	Estacionamiento	Lado	Carga en Kilos	Carga en Libras	Ancho Cms	Altura Cms	Área Cms2	Área Pulg2	Resistencia		Prom. Psi	% Resis. Alcanzado.
	Elaboración	Ensayo												Kilos/Cm2	Psi		
1	08-mar-13	05-abr-13	28		Pavimento	2+734 - 2+681	Der.	4180	9215	15.24	15.24	3540	216.0	54	768	830	118%
2	08-mar-13	05-abr-13	28		Pavimento	2+734 - 2+681	Der.	4910	10825	15.24	15.24	3540	216.0	64	902	830	139%
3	08-mar-13	05-abr-13	28		Pavimento	2+734 - 2+681	Der.	4470	9855	15.24	15.24	3540	216.0	58	821	830	126%
4	09-mar-13	06-abr-13	28		Pavimento	2+734-2+750/2+681-2+553	Der.	4310	9502	15.24	15.24	3540	216.0	56	792	841	122%
5	09-mar-13	06-abr-13	28		Pavimento	2+734-2+750/2+681-2+553	Der.	4540	10009	15.24	15.24	3540	216.0	59	834	841	128%
6	09-mar-13	06-abr-13	28		Pavimento	2+734-2+750/2+681-2+553	Der.	4880	10758	15.24	15.24	3540	216.0	63	897	841	138%
7	10-mar-13	07-abr-13	28		Pavimento	2+553-2+363	Der.	5420	11949	15.24	15.24	3540	216.0	70	996	937	153%
8	10-mar-13	07-abr-13	28		Pavimento	2+553-2+363	Der.	4990	11001	15.24	15.24	3540	216.0	65	917	937	141%
9	10-mar-13	07-abr-13	28		Pavimento	2+553-2+363	Der.	4890	10780	15.24	15.24	3540	216.0	64	898	937	138%
10	11-mar-13	08-abr-13	28		Pavimento	2+363-2+200	Der.	4620	10185	15.24	15.24	3540	216.0	60	849	941	131%
11	11-mar-13	08-abr-13	28		Pavimento	2+363-2+200	Der.	5640	12434	15.24	15.24	3540	216.0	73	1036	941	159%
12	11-mar-13	08-abr-13	28		Pavimento	2+363-2+200	Der.	5100	11243	15.24	15.24	3540	216.0	66	937	941	144%
13	12-mar-13	09-abr-13	28		Pavimento	2+200-2+158	Der.	4280	9436	15.24	15.24	3540	216.0	56	786	849	121%
14	12-mar-13	09-abr-13	28		Pavimento	2+200-2+158	Der.	4570	10075	15.24	15.24	3540	216.0	59	840	849	129%
15	12-mar-13	09-abr-13	28		Pavimento	2+200-2+158	Der.	5010	11045	15.24	15.24	3540	216.0	65	920	849	142%
16	13-mar-13	10-abr-13	28		Pavimento	2+120-1+894	Der.	4560	10053	15.24	15.24	3540	216.0	59	838	914	129%
17	13-mar-13	10-abr-13	28		Pavimento	2+120-1+894	Der.	5440	11993	15.24	15.24	3540	216.0	71	999	914	154%
18	13-mar-13	10-abr-13	28		Pavimento	2+120-1+894	Der.	4930	10869	15.24	15.24	3540	216.0	64	906	914	139%
19	14-mar-13	11-abr-13	28		Pavimento	1+894-1+804	Der.	4870	10736	15.24	15.24	3540	216.0	63	895	906	138%
20	14-mar-13	11-abr-13	28		Pavimento	1+894-1+804	Der.	4990	11001	15.24	15.24	3540	216.0	65	917	906	141%
21	15-mar-13	12-abr-13	28		Pavimento	1+587-1+804	Der.	4820	10626	15.24	15.24	3540	216.0	63	886	941	136%
22	15-mar-13	12-abr-13	28		Pavimento	1+587-1+804	Der.	5160	11376	15.24	15.24	3540	216.0	67	948	941	146%
23	15-mar-13	12-abr-13	28		Pavimento	1+587-1+804	Der.	5390	11883	15.24	15.24	3540	216.0	70	990	941	152%
24	16-mar-13	13-abr-13	28		Pavimento	1+407-1+587/2+158-2+120	Der.	5340	11773	15.24	15.24	3540	216.0	69	981	926	151%
25	16-mar-13	13-abr-13	28		Pavimento	1+407-1+587/2+158-2+120	Der.	4980	10979	15.24	15.24	3540	216.0	65	915	926	141%
26	16-mar-13	13-abr-13	28		Pavimento	1+407-1+587/2+158-2+120	Der.	4800	10582	15.24	15.24	3540	216.0	62	882	926	136%
27	17-mar-13	14-abr-13	28		Pavimento	1+222-1+407	Der.	5060	11155	15.24	15.24	3540	216.0	66	930	935	143%
28	17-mar-13	14-abr-13	28		Pavimento	1+222-1+407	Der.	4890	10780	15.24	15.24	3540	216.0	64	898	935	138%
29	17-mar-13	14-abr-13	28		Pavimento	1+222-1+407	Der.	5320	11728	15.24	15.24	3540	216.0	69	977	935	150%
30	18-mar-13	15-abr-13	28		Pavimento	1+058-1+222	Der.	5190	11442	15.24	15.24	3540	216.0	67	953	960	147%
31	18-mar-13	15-abr-13	28		Pavimento	1+058-1+222	Der.	5070	11177	15.24	15.24	3540	216.0	66	931	960	143%
32	18-mar-13	15-abr-13	28		Pavimento	1+058-1+222	Der.	5420	11949	15.24	15.24	3540	216.0	70	996	960	153%
33	19-mar-13	16-abr-13	28		Pavimento	0+890-1+058	Der.	4810	10604	15.24	15.24	3540	216.0	63	884	856	136%
34	19-mar-13	16-abr-13	28		Pavimento	0+890-1+058	Der.	4650	10251	15.24	15.24	3540	216.0	60	854	856	131%
35	19-mar-13	16-abr-13	28		Pavimento	0+890-1+058	Der.	4510	9943	15.24	15.24	3540	216.0	59	829	856	127%

Fuente: elaboración propia.

Apéndice16. Proporcionamiento de materiales para concreto.

DATOS PARA EL PROYECTO							CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES				
PROYECTO:	REHABILITACIÓN Y PAVIMENTACIÓN RN-7E, TRAMO I				CONSTRUCTORA:						
UBICACIÓN	SAN JULIÁN - TAMAHU, TUCURU - PUENTE CHASCO.				MUESTREADA EN:		Trituradora 032+300 L.I.				
No. MUESTRA:	2						RIO POLOCHIC				
PROPORCIONAMIENTO DE MATERIALES PARA CONCRETO No. 2							ENSAYE No. 2				
PARA USAR EN: PAVIMENTO							FECHA DE RECIBO:				
SOLICITADO POR: PAVIMENTO							FECHA DE INFORME: 28 de agosto de 2012				
Resistencia de Proyecto	4000 Lbs./plg ²	CONCEPTO		CEMENTO	ARENA	ARENA	GRAVA	GRAVA			
Resistencia requerida	4000 Lbs./plg ²	Peso Vol. Varillado, kg/m ³		1501		1748	----	1579			
Revenimiento	7-10 cm.	Densidad		3.15	----	2.519	----	2.599			
Relación agua/cemento	0.60	Absorción, %		----	----	3.09	----	1.111			
Litros de agua/m ³	191.2	Módulo finura		----	----	3.0	----	----			
Condiciones de trabajo	NORMAL	Tamaño máximo, mm.		----	----	4.75	----	38.1			
Volumen Agregado Grueso	0.62										
TABLA DE PROPORCIONAMIENTOS											
MATERIALES	Proporción por botes de 19 lts.	Material medido en kg (1 saco)	Proporciones en peso	Mat. medidos en Vol. lts. (1 saco)	Proporciones en volumen P ³	Volúmenes absolutos de material	Cantidad por m ³ de concreto (kg)				
CEMENTO	1.49	42.5	1.00	28.31	1.00	0.10116	318.67				
AGUA	1.34	25.50	0.60	25.50	0.90	0.1912	191.20				
ARENA	3.15	104.45	2.46	59.76	2.11	0.31091	783.18				
GRAVA	4.35	130.58	3.07	82.69	2.92	0.3767	979.13				
AIRE						0.0200					
SUMA		303.04					2,272.18				
Contenido práctico de cemento s/m ³ de concreto:				7.50	Peso Volumétrico del concreto fresco kg/m ³ :			2,272.18			
PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES EMPLEADOS											
CEMENTO	PROGRESO ESTRUCTURAL 5800 PSI				GRAVA	Rio Polochic (Trituradora 032+300 L.I.)					
ARENA	Rio Polochic (Trituradora 032+300 L.I.)				GRAVA	Rio Polochic (Trituradora 032+300 L.I.)					
ARENA	Rio Polochic (Trituradora 032+300 L.I.)				AGUA	Entubada					
ADITIVO USADO											
OBSERVACIONES	DISEÑO DE CONCRETO HIDRÁULICO CLASE 4000 PSI (280 KG/CM ²) CEMENTO PROGRESO ESTRUCTURAL 5800 PSI SE REALIZO CON LOS AGREGADOS DE RIO POLOCHIC (TRITURADORA 032+300 L.I.)										

Fuente: elaboración propia.