



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS DE GRADO**

**Previo a la obtención del título de:**

**Ingeniero Civil**

**TEMA:**

**“Diseño del pavimento rígido para el Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme – Celica – Alamor”**

**DIRECTOR:**

**Ing. Carlos Aguilar**

**AUTOR:**

**Rubén P. Padilla**

**AÑO**

**2011**

## **CERTIFICACIÓN**

Yo RUBEN PATRICIO PADILLA TOPÓN portador de la cedula de ciudadanía N° 171273062-9, egresado de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Internacional del Ecuador, declaro que soy el autor exclusivo y único del presente trabajo así como del desarrollo y la elaboración del mismo. Todas las consecuencias tanto académicas como legales que se desprendan del presente trabajo serán de mi absoluta responsabilidad.

Quito, año 2011

**Rubén Patricio Padilla Topón**

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios, por haberme dado la posibilidad de seguir adelante, en búsqueda del conocimiento, de manera que pueda ayudar a los demás de forma eficiente y eficaz.

Agradezco a la Universidad Internacional del Ecuador, a la Escuela de Ingeniería Civil, autoridades y al contingente de excelentes maestros, quienes con sus conocimientos y experiencias me han ayudado a formarme como profesional.

De igual forma agradezco a todos mis compañeros de aula, a mis abuelitos que Dios les tenga en su gloria, padres, esposa e hijas, cuyo apoyo y colaboración desinteresada en el día a día me ayudaron hacer realidad un anhelo mutuo, que es el culminar la carrera de Ingeniería Civil

**Rubén Patricio Padilla Topón**

## **DEDICATORIA**

Hoy, al graduarme de Ingeniero Civil, se materializa una realidad, me pongo a mirar hacia atrás, para descubrir un contingente de familiares y amigos, quienes en conjunto libraban su lucha diaria a favor de mi anhelo, de este conglomerado debo destacar a personajes cuyos nombres de manera ineludible deben estar presentes en esta dedicatoria.

Dedico este trabajo a mis adorables hijas Giselle y Patricia Padilla Ponce, a mi sacrificada y comprensiva esposa Sandra Ponce, a mis abnegados padres Rafael Padilla y Luzmila Topón, a mis queridas hermanas Norma, Silvia y Ruth, mis entrañables e inolvidables abuelitos Pedro Topón, Felisa Quishpe y Sabina Llasha, parientes y amigos que con su constante lucha en la búsqueda de la superación, han logrado formar un ser humano consecuente de sus actos y agradecido de la vida.

**Rubén Patricio Padilla Topón**

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<b>Capítulo I</b>	
<b>Introducción</b>	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Formulación del problema	5
1.3 Justificación	8
1.4 Objetivos	10
1.5 Hipótesis	11
1.6 Marco teórico	12
<b>Capítulo II</b>	
<b>Información de estudios previos</b>	22
2.1 Morfología	22
2.2 Aspectos hidrológicos	23
2.2.1 Climatología y lluvias	23
2.2.1.1 Clima	23
2.2.1.2 Intensidades de lluvia	25
2.3 Geología y geotecnia	25
2.3.1 Geología	26
2.3.2 Geotecnia	28
2.4 Fuentes de materiales para la construcción de la vía	31
2.5 Resumen de materiales que pueden ser utilizados	35
<b>Capítulo III</b>	
<b>Estado actual de la vía y evaluación estructural</b>	38
3.1 Antecedentes	38
3.2 Estado actual de la vía	38
3.3 Evaluación estructural	42

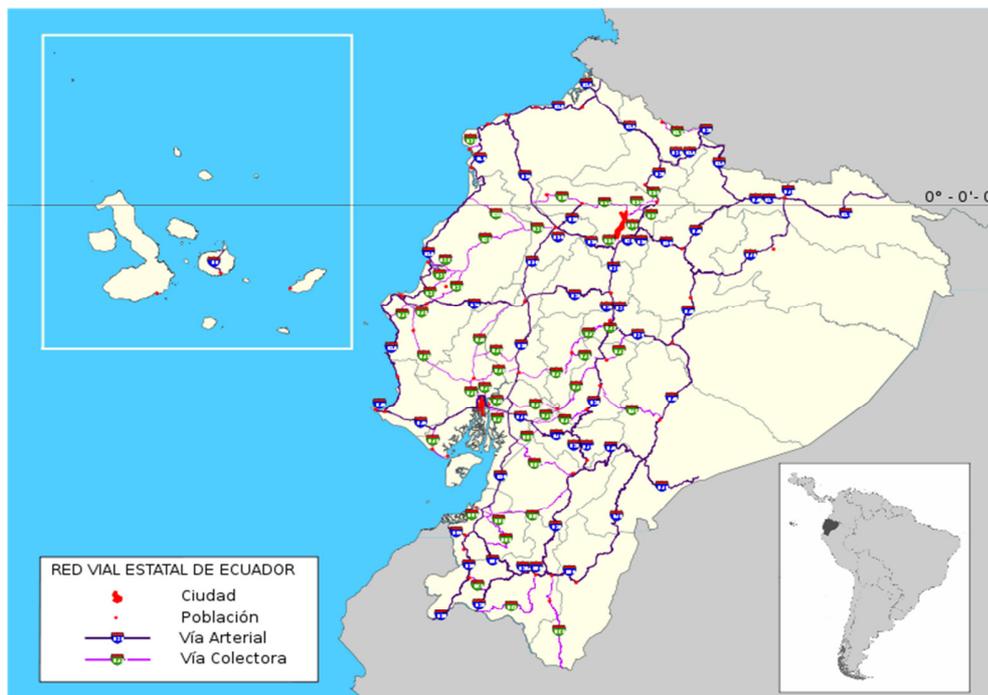


4.8	Estructura de pavimento recomendada	77
4.9	Sistema constructivo	
<b>Capítulo V</b>		83
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>		83
5.1	Conclusiones	87
5.2	Recomendaciones	
<b>Capítulo VI</b>		89
<b>Anexos</b>		
<b>Bibliografía</b>		107

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES



Fuente: red estatal MTOP

La Red Vial Estatal del Ecuador, está constituida por todas las vías administradas por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (anteriormente Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones) como única entidad responsable del manejo y control, conforme a normas del Decreto Ejecutivo 860, publicado en el Registro Oficial No. 186 del 18 de Octubre del 2000 y la Ley Especial de Descentralización del Estado y de Participación Social.

<b>Tabla 1.1. Red Estatal del Ecuador Resumen por Provincia</b>			
<b>Código de Provincia</b>	<b>Provincia</b>	<b>Longitud de Red Estatal</b>	
		<b>(Km)</b>	<b>Porcentaje</b>
1	Azuay	484,217	5,60%
2	Bolívar	146,087	1,69%
3	Cañar	230,628	2,67%
4	Carchi	184,360	2,13%
5	Cotopaxi	209,092	2,42%
6	Chimborazo	463,009	5,35%
7	El Oro	400,941	4,63%
8	Esmeraldas	492,239	5,69%
9	Guayas	983,780	11,37%
10	Imbabura	159,592	1,84%
11	Loja	757,971	8,76%
12	Los Ríos	321,148	3,71%
13	Manabí	* 1046,150	12,09%
14	Morona Santiago	534,551	6,18%
15	Napo	290,812	3,36%
16	Pastaza	139,274	1,61%
17	Pichincha	738,703	8,54%
18	Tungurahua	212,290	2,45%
19	Zamora Chinchipe	231,576	2,68%
20	Galápagos	38,000	0,44%
21	Sucumbíos	460,709	5,32%
22	Orellana	128,432	1,48%
<b>Total</b>		<b>8653,56Km</b>	<b>100%</b>
* Nueva longitud debida a la incorporación de la ruta E 39A a las vías colectoras de la Red Vial Estatal.			
<b>Nota:</b> Documento sujeto a Revisión			

Fuente: red estatal MTOP, año 2010

*La Red Vial Estatal*, está integrada por las vías primarias y secundarias. El conjunto de vías primarias y secundarias son los caminos principales que registran el mayor tráfico vehicular, intercomunican a las capitales de provincia, cabeceras de cantón, los puertos de frontera internacional (con aduana o sin ella) y los grandes y medianos centros de actividad económica. La longitud total de la Red Vial Estatal (incluyendo vías primarias y secundarias) es de aproximadamente 8653.56 km, como se puede observar en la Tabla 1.1.

*La Red Vial Provincial* es el conjunto de vías administradas por cada uno de los Consejos Provinciales y *La Red Vial Cantonal* es el conjunto de vías urbanas e interparroquiales administradas por cada uno de los Consejos Municipales. Estas redes están integradas por las vías terciarias y caminos vecinales

*Las vías primarias o corredores arteriales*, comprenden rutas que conectan cruces de frontera, puertos, y capitales de provincia formando una malla estratégica. Su tráfico proviene de las vías secundarias (vías colectoras), las cuales poseen una alta movilidad, accesibilidad controlada, y estándares geométricos adecuados. En total existen 12 vías primarias en Ecuador con aproximadamente un 66% de la longitud total de la Red Vial Estatal, que se puede observar en la Tabla 1.2.



*Las vías secundarias o vías colectoras*, incluyen rutas que tienen como función recolectar el tráfico de una zona rural o urbana para conducirlo a las vías primarias (corredores arteriales). En total existen 42 vías secundarias en Ecuador con aproximadamente un 34% de la longitud total de la Red Vial Estatal, que también se puede observar en la Tabla 1.2.



<b>Tabla 1.2</b> <b>Red Vial Estatal del Ecuador</b> <b>Resumen por corredores: Vías Arteriales y Vías Colectoras</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Longitud de Red Estatal</b>	
	<b>(Km)</b>	<b>Porcentaje</b>
Corredores de vías arteriales	5693,12	66%
Corredores de vías colectoras	2960,44	34%
<b>Total</b>	<b>8653,56Km</b>	<b>100%</b>

Fuente: red estatal MTOP, año 2010

*Las vías terciarias*, conectan cabeceras de parroquias y zonas de producción con los caminos de la Red Vial Nacional y caminos vecinales, de un reducido tráfico.

El actual Gobierno Nacional, sensible al requerimiento de los pueblos que conforman la nación, busca la integración y desarrollo a través de la comunicación efectiva, mediante la construcción y rehabilitación de la red vial estatal, en su gran mayoría con pavimentos de hormigón rígido, por su bajo costo de mantenimiento y mayor durabilidad que el pavimento flexible.

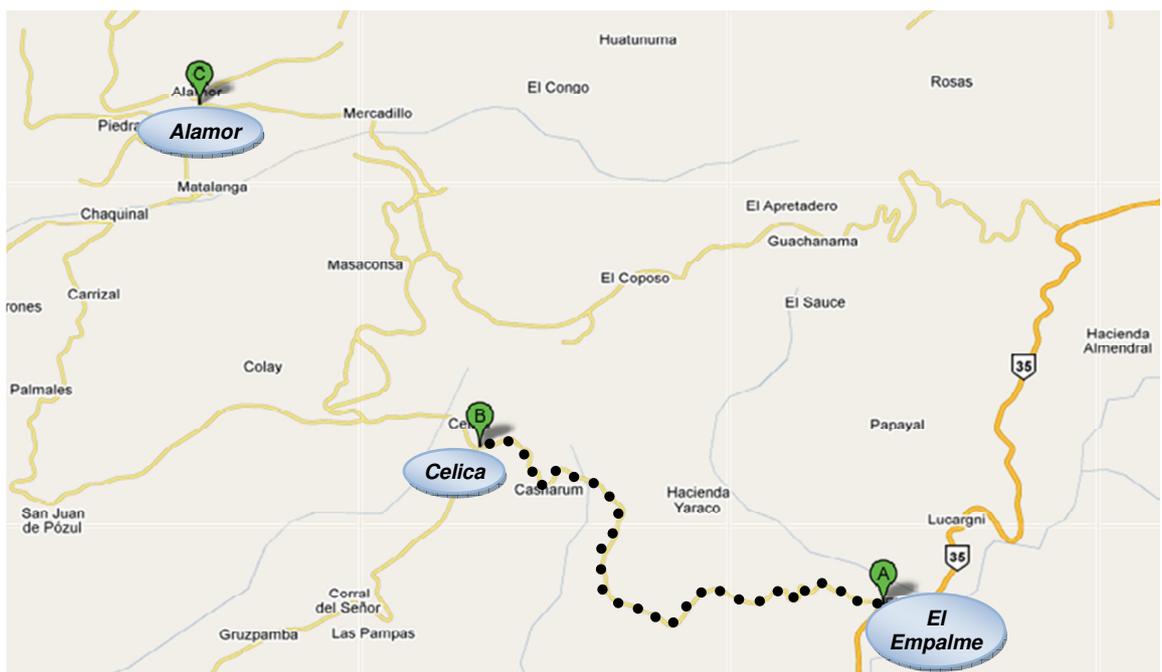
Por lo expuesto, y luego de un largo período de marginación y olvido de las provincias fronterizas de nuestro país, el actual Gobierno Nacional ha considerado la necesidad de la construcción vial en toda la dilatada y caprichosa orografía de la provincia de Loja, para incorporar al progreso y adelanto, a las poblaciones casi desconocidas por todos, incluidos los mismos lojanos, cuyos habitantes, con su trabajo especialmente agrícola y ganadero, contribuyen a la subsistencia de los habitantes de la Región Sur y del país.

Cuando se realizan carreteras, sin tener en cuenta un plan articulado para el adelanto y crecimiento de los pueblos, no tiene sentido; en razón, de que estas mejoras se convierten en medios para el éxodo masivo de la población a las grandes ciudades provocando que los pueblos se queden deshabitados, lo cual, contribuye a la marginación, desatención y olvido de los gobernantes de turno.

Por lo cual, el presente trabajo tiene por objeto diseñar del pavimento rígido para el Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme – Celica – Alamor, basado en los estudios y diseños de la vía que han sido realizados por diferentes entidades estatales y privadas.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los trabajos de rehabilitación de la vía hace aproximadamente 2 años atrás estaban siendo ejecutados por la empresa Cosurca, la cual no pudo cumplir el objeto del contrato y tuvo que abandonar los trabajos, debido a que el Ministerio de Transporte y Obras Públicas dio por terminado unilateralmente el mismo, por decreto presidencial. Cabe indicar que la obra en esta ocasión contemplaba una capa de rodadura de pavimento flexible.



Fuente: <http://maps.google.es/>

Actualmente el Cuerpo de Ingenieros del Ejército se encuentra realizando el mantenimiento de la vía, para posteriormente ejecutar la reconstrucción total de la vía El Empalme – Celica – Alamor; que de acuerdo a disposición presidencial tendrá una capa de rodadura de pavimento rígido.

La vía El Empalme – Célica – Alamor (vía colectora) se encuentra localizada al sur de la provincia de Loja, con una longitud aproximada de 50,60 Km., está constituida con DTSB (doble tratamiento superficial bituminoso) como capa de rodadura y un ancho promedio de 7.60 m, correspondiente a la red de caminos secundarios (observar Tabla 1.3), siendo una vía de no muy buenas características para el tránsito vehicular; por este motivo, el Gobierno Nacional, dispuso al MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) realice la planificación de la rehabilitación y construcción de esta vía.

<p align="center"><b>Tabla 1.3</b> <b>Vía Colectora Alamor-El Empalme</b>  <b>Ecuador</b></p>	
 Disco de Identificación	
<b>IDENTIFICADOR</b>	<b>E68</b>
<b>TIPO</b>	Carretera
<b>ORIENTACIÓN</b>	Oeste a Este
<b>INICIO</b>	 Troncal de la Costa
<b>FIN</b>	 Troncal de la Sierra
<b>PROVINCIAS:</b>	Loja

Fuente: [www.wikipedia.org/wiki/Carreteras\\_de\\_Ecuador](http://www.wikipedia.org/wiki/Carreteras_de_Ecuador)

El informe técnico No. 001-2009, indica que: “La capa de rodadura está compuesta por un tratamiento superficial bituminoso doble, oxidado y desgastado, pues exhibe en toda su longitud un apreciable porcentaje de agregado pulido, y una gran cantidad de superficie picada, esto es por el desprendimiento de material pétreo que va produciéndose al paso de los vehículos, luego hay zonas en las cuales este desprendimiento a producido la formación de baches que involucran el daño del material granular de la base y en algunos casos hasta de la sub base, aumentando su humedad natural y contaminándose con material arcilloso de arrastre de las aguas lluvias, incrementando por la realización de tareas de bacheo con material de préstamo lateral, mismo que está constituido por material fino arcilloso; en general la capa de rodadura necesita una rehabilitación completa...” (Valverde, 2009: 2)

En los gráficos 1.1 y 1.2, se pueden observar la densidad de las fallas superficiales que presenta la calzada de la vía El Empalme – Celica - Alamor.

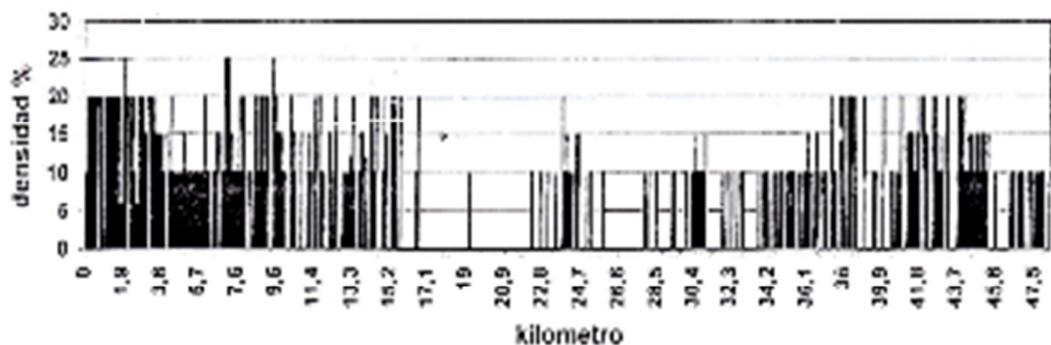
**Gráfico 1.1.**

**Sitios donde existe desgaste del material en la vía**

**El Empalme – Celica - Alamor**

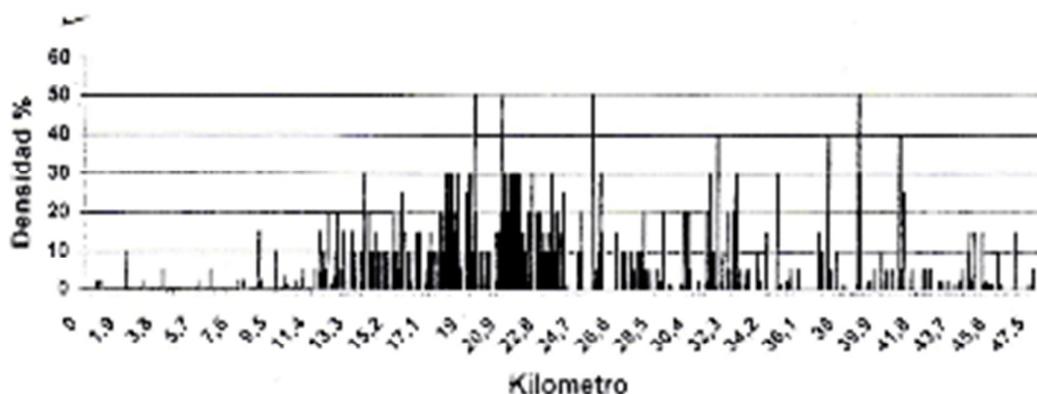
**EMPALME-CELICA-ALAMOR**

**Falla F12 agregado pulido**



Fuente: Anexo No 4 del Informe Técnico No. 001-2009

**Gráfico 1.2.**  
**Sitios donde existen baches en la vía**  
**El Empalme – Celica - Alamor**  
**EMPALME-CELICA-ALAMOR**  
**Falla F13 baches**



Fuente: Anexo No 4 del Informe Técnico No. 001-2009

Por lo anteriormente indicado, se puede concluir que la red vial del Ecuador, se encuentra en un proceso de desarrollo; motivo por el cual, para contribuir con el progreso de la red vial de nuestro país, es necesario realizar diseños de acuerdo a las normas internacionales vigentes y aplicables a nuestra situación geográfica, a fin de que se satisfagan las necesidades presentes y futuras de todos los pueblos que forman parte de la República del Ecuador, ya que de nada valdría, realizar diseños que sirvan a corto plazo y/o que no sean aplicables a nuestras necesidades, ya que con esto, se estaría ocasionando graves problemas a la vialidad y desarrollo de nuestro país.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La red vial provincial, debe ser rehabilitada para mejorar la calidad de vida de los pueblos olvidados, que se complementa, entre otros aspectos con la educación, la salud; de esta manera se facilita la posibilidad de sacar a bajo costo y con transporte motorizado la producción agropecuaria, de manufactura y artesanal, lo que, a su vez,

disminuirá la especulación en los precios de los productos vitales en beneficio de la colectividad.

Luego de haber construido aproximadamente 1.118,54 kilómetros de vías con pavimento rígido en nuestro país (Ver Tabla 1.3), se ha demostrado que el pavimento rígido es la mejor alternativa para la construcción y/o rehabilitación de la red vial del país, por su bajo costo de mantenimiento y mayor periodo de durabilidad que las vías en pavimento flexible.

Por lo expuesto anteriormente el actual Gobierno Nacional, dispuso al Ministerio de Transporte y Obras Públicas, que las rehabilitaciones y/o construcciones de vías en el país se lo realice con pavimento rígido.

<b>Tabla 1.3</b>			
<b>Red Vial Estatal del Ecuador</b>			
<b>Estado Actual de las Vías</b>			
<b>Estado actual</b>	<b>Tipo de pavimento</b>	<b>Longitud de Red Estatal (km)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Intervenidas	Flexible	3.381,24	39%
	Rígido	1.118,54	13%
	D.T.S.B.	180,78	2%
	<b>Total</b>	<b>4.680,56</b>	<b>(54%)</b>
Concesionadas		1.349,46	16%
Delegadas		562,57	7%
En mantenimiento		2.060,97	24%
<b>Total</b>		<b>8653,56 km</b>	
Nota: Documento sujeto a revisión.			

Fuente: red estatal MTOP, año 2010

Razón por la cual, para el diseño de la vía en pavimento rígido, se toma como base los parámetros establecidos en los diferentes estudios e informes.<sup>1</sup>

- El estudio elaborado para el diseño de pavimento flexible.
- La actualización de los estudios.
- Datos proporcionados por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, y
- Otros que sirvan para la elaboración del diseño.

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **Objetivo General**

Diseñar el pavimento rígido del Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme – Celica – Alamor, de acuerdo a normas vigentes, a fin de que se permita el desarrollo socio – económico de la provincia de Loja.

##### **Objetivos Específicos**

1. Realizar el diseño del pavimento rígido del Tramo El Empalme – Celica, de la vía El Empalme – Celica – Alamor con un diagnóstico de todos los estudios y documentos que se puedan conseguir.
2. Analizar los estudios del estado estructural actual del Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme – Celica – Alamor.

---

<sup>1</sup> Estudios de la Asociación Viastra – Geovial del año 1998 e Informe Técnico No. 001-2009 elaborado por el Ing. Mérriman Valverde en el año 2009, los cuales reposan en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

3. Elaborar el diseño del pavimento rígido de la vía, en base al método de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO), con la finalidad de entregar al Cuerpo de Ingenieros diseños viables de este tramo de la vía.

### **1.5. HIPÓTESIS**

El pavimento rígido es la mejor alternativa para la construcción y/o rehabilitación de la red vial del país, por su bajo costo de mantenimiento y mayor periodo de durabilidad.

### **1.6. MARCO TEÓRICO**

Se llama pavimento al conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías, además de que son los materiales

que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

### **Tipos de pavimentos**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y se construyen técnicamente con materiales apropiados.

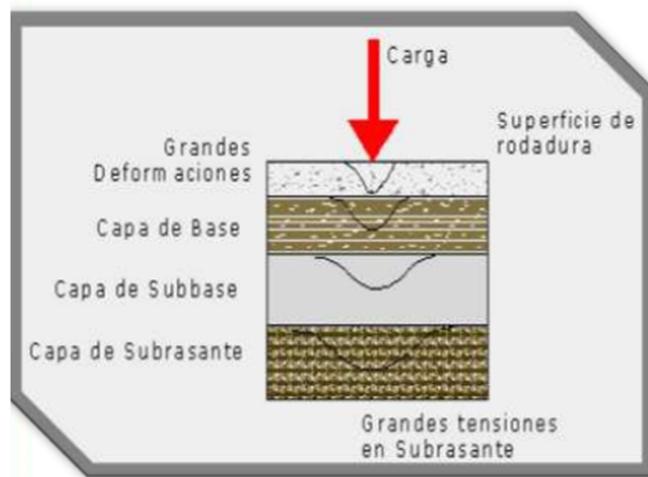
Básicamente existen dos tipos de pavimentos: flexibles y rígidos.

*El pavimento flexible*, resulta más económico en su construcción inicial, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento en nuestro medio tiene un periodo de vida que fluctúa entre 10 y 15 años, debido a que los materiales con los cuales se elaboran los productos asfálticos en nuestro país no son de buena calidad; está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, la cual es colocada generalmente sobre dos capas no rígidas como se indica en la figura 1.3.

*El pavimento rígido*, se compone de losas de hormigón hidráulico, que en algunas ocasiones, presenta un armado de acero que no necesariamente debe ser colocado en la estructura del pavimento rígido, como se puede observar en las Figura 1.4 y 1.5,

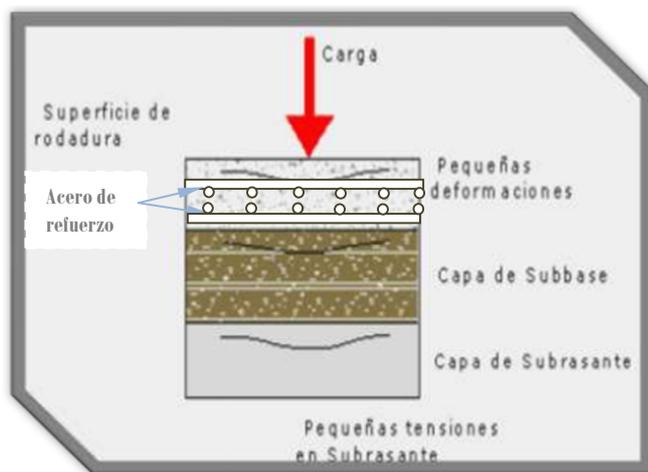
tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía de acuerdo al tipo de tráfico que circule por la vía y al crecimiento poblacional de la zona de incidencia del proyecto, por lo cual se diseña para un periodo comprendido entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

**Figura 1.3**  
**Estructura del pavimento flexible**



Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

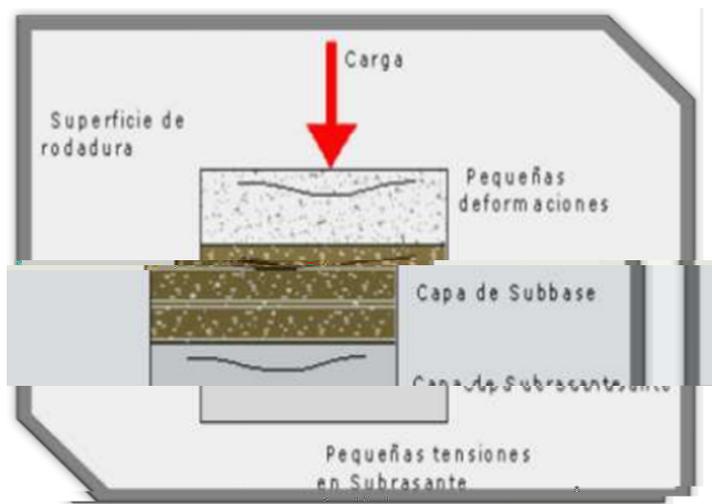
**Figura 1.4**  
**Estructura del pavimento rígido con acero de refuerzo**



Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

**Figura 1.5**

**Estructura del pavimento rígido sin acero de refuerzo**



Fuente: [www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

El uso de los pavimentos rígidos se remonta a más de 100 años. George Bartholomew, un norteamericano de Ohio, realizó las primeras pruebas en una faja experimental de 2.44 metros de ancho. Este descubrimiento dio inicio al proyecto de obras públicas más grande en la historia de la humanidad: el sistema de carreteras inter-estatal de los Estados Unidos de Norteamérica, con aproximadamente 27.500 Km de longitud.

En América del Sur, algunos países cuentan con más de 20 años de experiencia en la construcción de sus redes de carreteras con pavimento rígido. Bolivia recién hace unos años empezó a interesarse en este tipo de pavimento, comenzando con el pavimentado de extensas superficies en calles y avenidas de sus ciudades capitales, pero sin optar al mismo tiempo por este método en carreteras. La ciudad de Santa Cruz es considerada la pionero en utilizar esta técnica en gran escala, con más de dos millones de metros cuadrados hasta el año 2001; le sigue Cochabamba, con más de un millón de metros cuadrados. Otras ciudades en las que se ha dado gran impulso al pavimento rígido, son: Sucre, Potosí, Caranavi, Achacachi, San Borja y El Alto.

Dentro del pavimento rígido debemos dar la importancia que se merece el Whitetopping, el cual es un sistema de rehabilitación o reparación sobre pavimentos flexibles que han sufrido daños por diferentes causas, entre ellas el calor excesivo, cargas de sobrepeso en las vías, etc.

Como su nombre lo indica “acabado blanco” o también “blanco sobre negro”, consiste en colocar sobre una vía asfáltica en avanzado estado de deterioro superficial, una sobrecarpeta de concreto, con espesores que fluctúan entre 5 y 25 cm, cuyo primer registro de uso es en 1918 en Estados Unidos. Esta técnica asume al asfalto existente como una base y no necesita de excavaciones ni de movimiento de tierras, solamente se le debe dar un ligero tratamiento superficial al asfalto (bacheo asfáltico) y colocar la placa de concreto (Instituto del Concreto, 2008: 135).

En los pavimentos de hormigón rígido, la junta es diseñada para formar un plano de debilidad para controlar la formación de grietas transversales y la separación de las juntas se diseña para que no se formen fisuras transversales intermedias ó aleatorias.

Los métodos de diseño de pavimentos, tradicionalmente se han limitado a determinar el espesor de la estructura. En el caso de los pavimentos de concreto, estos métodos se basan exclusivamente en los conceptos de fatiga mecánica para determinar, mediante modelos matemáticos, el espesor y la calidad del concreto. Es decir, el diseño se orienta fundamentalmente a dimensionar la placa para unas condiciones de fundación generalizada y un tránsito tipificado. En un sentido estrictamente teórico es posible que todos estos métodos sean válidos tanto en sus fundamentos como en sus concepciones. La cuestión es determinar que tanto se aproximan estos métodos extranjeros a las realidades muy particulares de países y regiones en las cuales la naturaleza de los suelos o materiales térreos de fundación no pueden ser generalizados. De igual forma las técnicas de trabajo y la tecnología empleada en la construcción no son muchas veces homologables y ni decir de las políticas estatales de mantenimiento de la red vial.

## **Métodos de Diseño para el pavimento rígido**

Los métodos de la American Association of State Highways and Transportation Officials (AASHTO) y el de la Portland Cement Association (PCA) corresponden a los métodos para el diseño de espesores de pavimentos de Concreto más ampliamente usados a nivel mundial.

Las Variables de diseño de Pavimentos Rígidos consideradas por el Método AASHTO son: Espesor, Serviciabilidad (inicial y final), Tráfico (ejes equivalentes), Transferencia de carga, Propiedades del concreto (módulos de ruptura y elasticidad), Resistencia de la subrasante (módulo de reacción), Drenaje, Confiabilidad (confiabilidad y desviación estándar).

Las variables que intervienen en el diseño por el Método PCA son: Espesor Inicial del Pavimento, Módulo de Reacción K del suelo, Tráfico, Transferencia de Carga y Soporte Lateral, Propiedades del Concreto, Módulo de Ruptura (Considera una reducción del 15% por seguridad), Módulo de Elasticidad Fijo = 4'000.000 PSI, Módulo de Poisson Fijo = 0.15.

Ambos métodos de diseño son apropiados para el diseño de espesores de pavimentos rígidos en cualquier tipo de proyecto, sin embargo el método AASHTO hace intervenir un mayor número de variables que nos ayudan a modelar de mejor manera las condiciones del proyecto al momento de estar diseñando su espesor. Los resultados del método de la PCA son adecuados para cualquier tipo de proyecto a pesar de que no se puedan tomar en cuenta algunos factores importantes como lo son la serviciabilidad inicial y final. En cambio considera de una manera más real la contribución del tráfico en la formulación.

## **Ventajas del pavimento rígido**

En la construcción de pavimentos de calles y carreteras existen grandes ventajas que poseen los pavimentos de hormigón. Las principales son las siguientes:

- *Son más seguros por su Rugosidad.* Su textura rugosa requiere una menor distancia de frenado, en estado seco o húmedo. A 50 Km/h esta distancia es un 10% menor sobre la superficie de concreto, que sobre la de asfalto.
- *Costos Totales Inferiores:* Al comparar diferentes alternativas de pavimentación en valor presente neto, generalmente el pavimento rígido resulta más barato. Esto se debe principalmente a que los costos de mantenimiento del pavimento rígido son mucho menores (usualmente sólo se requiere subsanar detalles de sellado de juntas a intervalos de 5 a 10 años). Por otra parte, el pavimento de hormigón tiene una vida útil más larga que el pavimento asfáltico.
- *Costo de Operación de la Carretera:* Los pavimentos de hormigón al tener una superficie plana alargan la vida de los vehículos, evitando que se dañen y minimizando su mantenimiento. El costo de consumo de combustible se reduce hasta en un 20% para camiones tipo trailer.
- *Costo Social por el Mantenimiento:* Para el recapeo periódico de los pavimentos de asfalto, se requiere ejecutar desvíos que perjudican a vecinos y usuarios. En las construcciones con hormigón se minimizan éstos aspectos, debido a que los trabajos para el mantenimiento se realizan en menor tiempo y con menos maquinaria que para el hormigón flexible.
- *Facilidad de Construcción:* Las plantas dosificadoras – mezcladoras de hormigón junto al uso de pavimentadoras deslizantes reducen significativamente los costos de construcción. En pavimentos urbanos se puede usar equipos pequeños y encofrados fijos al alcance de cualquier contratista.

- *Durabilidad:* Las superficies de hormigón duran más. Estadísticamente se ha demostrado que las carreteras de hormigón han soportado hasta tres veces su capacidad de carga de diseño y en pavimentos de aeropuertos, el doble. El hormigón incrementa su resistencia con el tiempo.
- *Resistencia:* El hormigón resiste sin sufrir deterioros los derrames de gasolina y diesel, así como los efectos de la intemperie. Los pavimentos de hormigón transmiten bajas presiones al suelo de fundación; en razón, de que la mayor parte de los esfuerzos resiste la capa de pavimento rígido.
- *Resistencia a altas temperaturas:* El hormigón no es afectado por el calor, no se vuelve pegajoso, ni se volatilizan algunos de sus ingredientes (no es contaminante). En zonas calurosas, (especialmente en áreas urbanas) se mantiene fresco, reduciendo la temperatura del entorno. Para evitar que en el pavimento rígido falle por el abaleo (curvatura de un tablero que resulta del giro de sus bordes en direcciones opuestas) que pueden ocasionar las cargas puntuales, se construyen las juntas transversales.
- *Indeformabilidad:* En las zonas de frenado y arranque de vehículos pesados, el hormigón no se deforma.
- *Drenaje:* Las superficies de concreto proporcionan un buen drenaje superficial para el agua de lluvia.
- *Seguridad:* Por su planicidad y textura, El fenómeno del hidropneumático de vehículos (deslizamiento en superficies mojadas), tiene menores posibilidades de producirse en superficies de hormigón con buena textura.
- *Estética y seguridad peatonal:* Para dirigir el tráfico peatonal y vehicular por rutas más seguras, el estampado o color en el hormigón permite marcas duraderas.

- *Economía en capa base:* El hormigón reduce sustancialmente el espesor de la capa base, reduciendo el impacto ambiental y solicitando menores volúmenes de materiales pétreos. Esta cualidad también reduce los volúmenes de excavación.
- *Economía en Iluminación:* La superficie clara de hormigón es tres veces más reflejante que la de asfalto. Se puede ahorrar hasta un 30% de energía y se brinda mayor seguridad durante la noche, debido a que los faros de los vehículos, reflejan mejor la luz en el hormigón.
- *Rapidez de puesta en obra:* Con el hormigón se pueden alcanzar altas resistencias en cuestión de horas. La resistencia del hormigón se puede predecir con mayor facilidad.
- *Limpeza:* La superficie de hormigón es muy plana y fácil de limpiar.
- *Ahorro de energía:* No se requiere calentar ninguno de los ingredientes para elaborar el hormigón (se ahorra combustibles). En la elaboración del concreto asfáltico, los agregados y el asfalto deben calentarse a temperaturas elevadas (sobre los 100°C para obtener una mezcla con viscosidad adecuada), manteniendo altas temperaturas dependiendo del tiempo de transporte y colocado.
- *Contaminación:* La mezcla asfáltica siempre contamina al ser colocada, aunque se trata de mezclas en caliente o en frío e independientemente de una carpeta o de un bacheo rutinario. El hormigón no contamina durante su colocación.
- *Reparaciones:* El hormigón se repara fácilmente, bajo cualquier condición climática, se pueden emplear una gran cantidad de aditivos que permiten efectuar todo tipo de trabajos con gran rapidez y eficiencia; lo cual no se puede realizar en el pavimento flexible, en razón de para poder ejecutar los trabajos no debe existir la presencia de lluvias. Los materiales que se utilizan para la elaboración del hormigón flexible deben tener una humedad máxima para poder ser utilizados, lo

que no ocurre con los materiales (agregados finos y gruesos) que son utilizados para la fabricación del hormigón rígido.

- *Señalización:* Todo tipo de marcas, pinturas y señalamientos duran más cuando se colocan sobre hormigón.
- *Aeropuertos:* No existe sustituto a los pavimentos de hormigón para aeropuertos, debido a:
  - Superior capacidad de carga.
  - Resistencia de reserva para sobrecargas no previstas
  - Resistencia a la deformación.
  - No se pierden partículas que podrían ser dañinas para turbinas y partes de los aviones.
  - Excelente visibilidad para aterrizajes.
  - Textura superficial permanente para prevenir “acuaplaneo” y resbalamientos.
  - Menor acumulación de calor sobre la superficie del pavimento.
  - No se requieren repapeo periódicos ni cerrar aeropuertos para reparaciones.
  - Construcción rápida y económica.
  - Planificación de larga vida.

La posibilidad de ejecutar repapeo de hormigón sobre pavimentos de asfalto en aeropuertos se viene utilizando desde hace 60 años con excelentes resultados. Pavimentos de hormigón de endurecimiento rápido pueden ser construidos y abiertos al tráfico en 12 horas.

- *Tecnología:* Existen equipos de pavimentación con hormigón muy diversos, sencillos y económicos con uso extensivo de mano de obra y de alto rendimiento para carreteras.
- *Investigación y Desarrollo:* La investigación de temas referidos a la tecnología del hormigón constantemente obtiene nuevos resultados. El desarrollo de sobrecapas ultra delgadas de hormigón de alta resistencia, reforzado con fibras sintéticas de entre 7,5 a 10 cm de espesor, colocadas sobre asfalto deteriorado, conforma un “paquete estructural compuesto” de excelentes características y a un precio menor al de un recapeo asfáltico y por supuesto, con mayor durabilidad.

La construcción de las carreteras se las deberían realizar en pavimento rígido, en razón de que son más durables, más versátiles, más económicos y por tanto más convenientes para el desarrollo social y nacional, motivo por el cual se recomienda su estudio y divulgación.

## **CAPÍTULO II**

### **INFORMACIÓN DE ESTUDIOS PREVIOS**

#### **2.1. MORFOLOGÍA**

La unidad fisiográfica que ocupa la mayor parte del área de influencia del proyecto es la de montaña colinada, entre los 800 y 2.700 metros de altitud, en la zona en la cual la cordillera de los Andes Ecuatorianos tiene un descenso de elevación y desaparece la Cordillera Occidental. Existen pocos y pequeños valles y mesetas.

El sistema hidrográfico ha formado encañonados estrechos y profundos. Las laderas de las montañas tienen fuertes pendientes; en el pie del monte el relieve es ondulado con pendientes entre 8 a 16 % (colinado) y de 17 a 30 % (fuertemente ondulado).

La topografía se caracteriza por la presencia de laderas de fuerte pendiente transversal y un pequeño valle estrecho y profundo modelado por el cauce encañonado del río Laramine.

De acuerdo a la topografía de la vía atraviesa en general un terreno tipo ondulado montañoso.

## **2.2. ASPECTOS HIDROLÓGICOS**

El sistema hidrológico de la región pertenece a la macro cuenca del río Catamayo, entre el Km 0+000 y Km 26+000 (MOP, 1999: 50)

### **2.2.1 Climatología y lluvias**

El Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones<sup>2</sup>, en el Estudio Hidrológico e Hidrológico indica:

#### **2.2.1.1. Clima**

El Informe Final de Ingeniería, señala que el clima de la región presenta características de subtropical – húmedo, la temperatura es relativamente constante durante el año y oscila entre los 10°C de media anual en las partes altas y 20°C de media anual en los valles tropicales siendo la temperatura media del orden de 20°C y una humedad relativa del 90% (MOP, 1999: 51).

Adicionalmente, indica que la evapotranspiración a lo largo del año presenta valores mensuales que oscilan entre 70 mm y 80 mm. La velocidad del viento es de 1,8 m/s. El invierno se inicia en Diciembre y termina en Mayo, caracterizándose por lluvias de mediana a alta intensidad y el verano de Junio a Noviembre con lluvias más bien moderadas, los meses más secos son Julio y Agosto, como se puede observar en las figuras 2.1 y 2.2

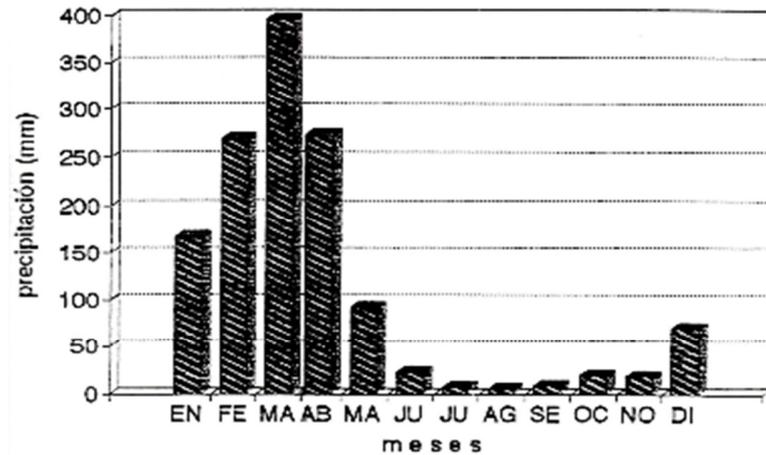
Se indica además, que los valores que han sido tomados de la estación de la Perla de INECEL que se le consideró como representativa del área de influencia del proyecto.

---

<sup>2</sup> Actualmente Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

**Figura 2.1**

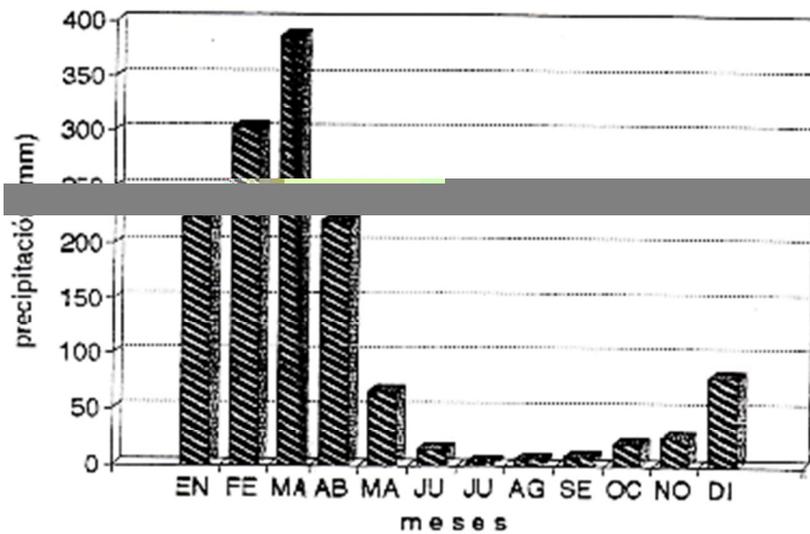
**Variación de la Precipitación Estación Alamor**



Fuente: Anexo # 2 del Informe Final de Ingeniería

**Figura 2.2**

**Variación de la Precipitación Estación Celica**



Fuente: Anexo # 2 del Informe Final de Ingeniería

En resumen el informe señala que el clima de la micro región en estudio, está influenciado por el cinturón de bajas presiones ecuatoriales de la zona de convergencia intertropical caracterizado por el contacto de masas de aire de

ambos hemisferios con frecuentes perturbaciones atmosféricas y tormentas que puedan incidir en los caudales importantes de la zona.

#### **2.2.1.2. Intensidades de lluvia**

El Informe Final de Ingeniería, indica que los valores de intensidades de lluvia obtenidos para diferentes períodos de retorno y duración de 44 estaciones pluviográficas a nivel nacional y como un período de registro de 22 años (1.964 – 1.986) han servido para determinar ecuaciones de intensidad de lluvia, desarrolladas por el INAMHI, para diferentes zonas del país. Las ecuaciones utilizadas para el presente proyecto, corresponden a la zona 10 (MOP, 1999: 51).

Adicionalmente, señala que la intensidad diaria se ha obtenido de gráficos del INAMHI. En el caso de las alcantarillas grandes se ha tomado como período de retorno 50 años y para los diferentes elementos de drenaje; cunetas, zanjas laterales, bordillos y alcantarillas menores se ha adoptado un período de retorno de 25 años.

En resumen, indica que el cálculo de intensidad de precipitación es muy importante, puesto que, éste valor, se utiliza para estimar los caudales máximos correspondientes a cuencas de drenaje objetas de estudio, para los diseños viales.

### **2.3 GEOLOGÍA Y GEOTÉCNIA**

En relación a los Estudios de Geología y Geotécnica, el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones<sup>3</sup> en el Informe Final de Ingeniería indica lo siguiente:

---

<sup>3</sup> Actualmente Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

### **2.3.1. Geología**

La zona de influencia del proyecto está constituida de las siguientes formaciones geológicas (MOP, 52:1999)

#### **a. Geomorfología**

El Informe Final de Ingeniería indica que tiene un relieve volcánico – sedimentario del cretáceo<sup>4</sup> de la gran vertiente externa occidental de la Cordillera de los Andes, con presencia del relieve formado por rocas.

#### **b. Litoestratigrafía**

El Informe Final de Ingeniería señala que las unidades geológicas aflorantes en el área del estudio son:

##### **a. Formación Célica (Kc).**

Indica que en más de la mitad de la vía El Empalme – Celica – Alamor está constituida por acumulación de lavas andesíticas<sup>5</sup> homogéneas y masivas de color verde.

##### **b. Intrusivo (Gd).-**

Señala que el tramo El Empalme – Celica se encuentra intercalando con las andesitas de la formación Célica. Es el tipo granodiorita<sup>6</sup>.

##### **c. Coluviales (C).-**

Menciona que son depósitos superficiales formados por la acción de gravedad en las laderas bajas, que están constituidas por fragmentos de andesitas en matriz arcillosa.

---

<sup>4</sup> Cretáceo es el periodo geológico que es el tercero y último de la era mesozoica o secundaria y sigue al periodo jurásico; se extiende desde hace unos 136 millones de años hasta hace unos 65 millones de años.

<sup>5</sup> Andesitas son Rocas de origen volcánico

<sup>6</sup> Granodiorita es roca intrusiva que contiene cuarzo, ortosa, plagioclasas sódicas, biotita y anfíboles

### **c. Suelos**

En lo referente a los suelos el Informe Final de Ingeniería, indica que el tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor, corresponde al área erosionada de la zona seca, se encuentra suelos minerales sobre los afloramientos rocosos: granodioritas y andesitas.

Además menciona que a medida que la vía El Empalme – Celica – Alamor se desarrolla hacia el norte, el clima se vuelve más húmedo lo que sumado a temperaturas altas favorecen a la alteración profunda de los minerales de las rocas, provocando la presencia de los suelos arcillosos con caolinita<sup>7</sup>.

### **d. Estructura Geológica**

Con respecto a la estructura geológica, indica que en la zona no existen fallas geológicas importantes, que controlen estructuralmente el área de influencia de la vía El Empalme – Celica - Alamor. A unos 50 Km más al norte de la población de Alamor se encuentra la falla geológica de Alamor con dirección SW-NE, la que puede influir indirectamente en la zona de influencia de la vía en el caso de una posible reactivación.

### **e. Sísmica**

Como es de conocimiento público, todo el territorio del país es sísmicamente muy activo. La zona del estudio se halla afectada por los movimientos telúricos provocados por el acomodo de las placas tectónicas a través de la falla geológica de Alamor. El informe en mención indica que la zona se caracteriza por algunos sismos de magnitud grado 5,0.

---

<sup>7</sup> Caolinita es un mineral formado por la meteorización de feldespatos (silicato compuesto de aluminio con sodio, potasio o calcio, y cantidades pequeñas de óxidos de magnesio y hierro)

### 2.3.2. GEOTÉCNIA

La información geotécnica que se obtiene en los estudios previos a la construcción de una vía o cualquier construcción de ingeniería, se constituye una parte importante, para la elaboración de los diseños y procesos constructivos a emplearse.

Los cambios de las condiciones geotécnicas del terreno determinan categorías en la zonificación geotécnica.

El Ministerio Obras Públicas<sup>8</sup> en sus especificaciones para estudios geológicos tiene dividido por categorías o zonas, las cuales son:

.Zona I: muy favorable

Zona II : favorable

Zona III : aceptable

Zona IV : problemática

Zona V : muy problemática

Para la identificación de las zonas el Ministerio de Obras Públicas, emplea el análisis de los parámetros que se enumeran a continuación:

- a) Relieve.
- b) Erosión.
- c) Litología<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Actualmente Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

- d) Suelos.
- e) Procesos geodinámicos<sup>10</sup>.
- f) Aspectos hidrogeológicos.
- g) Capacidad portante.
- h) Excavación
- i) Meteorización
- j) Fuentes de materiales.

**a. Descripción geotécnica de la zona en estudio**

De acuerdo a la clasificación anteriormente indica, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas categoriza a esta vía en la zona IV, por las condiciones geotécnicas y morfológicas (relieve bastante montañosos y abrupto) en las cuales se desarrollará el proyecto. (MOP, 1999: 54)

El Informe Final de Ingeniería menciona que la zona que se caracteriza por una erosión superficial y fluvial de alto grado, provocando el crecimiento de múltiples quebradas. El grado de meteorización es bastante alto, lo que produce la alteración de los materiales originales, tales como el intrusivo<sup>11</sup>, las andesitas y lutitas<sup>12</sup> de las formaciones Célicas; aunque al inicio de la vía El Empalme – Celica – Alamor el grado de meteorización es bajo, por situarse en una zona con clima más seco.

---

<sup>9</sup> Litología trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características físicas y químicas

<sup>10</sup> Procesos geodinámicos es parte de la geología que estudia las alteraciones en la corteza terrestre y las fuerzas y procesos que los producen

<sup>11</sup> Intrusivo es un material o roca que penetra o atraviesa otros, rompiéndolos o deformándolos

<sup>12</sup> Lutita es una roca sedimentaria de grano muy fino

Adicionalmente, menciona que las laderas de la zona donde se desarrollará el proyecto, son muy inestables y propensas a deslizamientos y caídas de piedras, derrumbes sobre todo en épocas de invierno, y que la capacidad portante de los suelos de ésta zona se considera baja en estado húmedo media en estado seco, y alta en roca.

Finalmente, indica que la escorrentía de los terrenos del sector es alta por tener pendientes muy fuertes, que la permeabilidad cambia de grado alto a bajo, de donde se concluye que el drenaje es alto en las partes altas de las montañas y medio a bajo en las partes bajas.

**b. Taludes**

En tabla 2.1 se puede observar el resultado del diseño de los taludes, que se realiza luego de un proceso de análisis y observaciones (Asociación Viastra, 1999: 7)

<b>Tabla 2.1</b>		
<b>Cuadro Resumen de Taludes</b>		
<b>ABSCISAS</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>TALUD DE CORTE</b>
0+000 - 6+000	Andesitas y granodioritas diaclasadas y fracturados en bloques	1H: 2V
6+000 – 20+300	Suelos areno arcillosos y arcillosos.	3H: 4V

Fuente: Diseño de Taludes; 1999

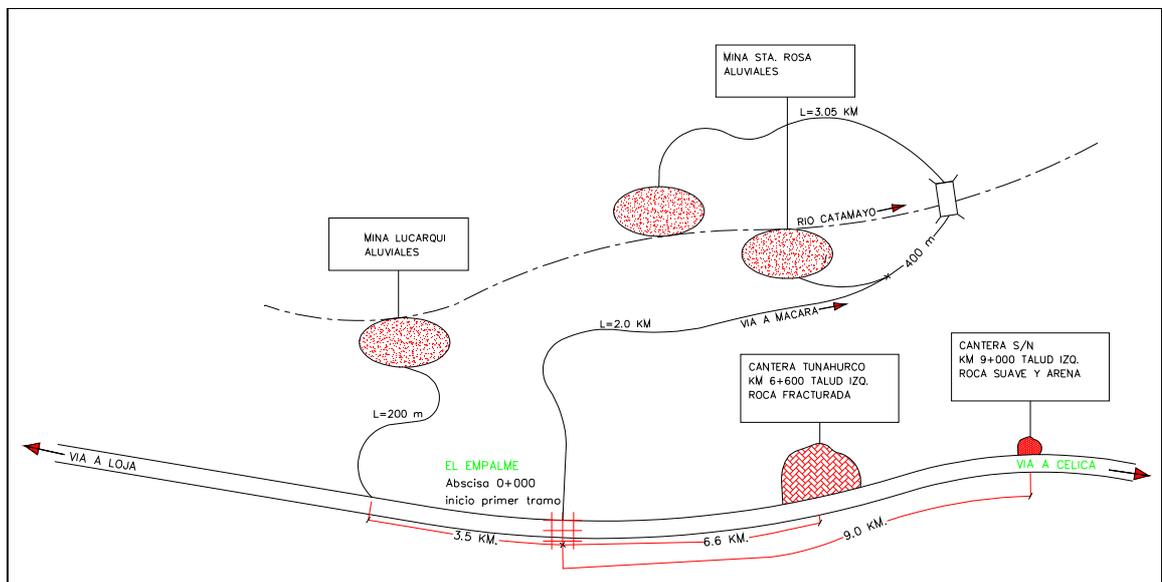
De lo cual, se puede determinar que el tramo comprendido entre la abscisa 0+000 – 6+000 es más estable que el tramo del abscisado 6+000 – 20+300, debido a que

el material es más consolidado, es decir es de mejores características geológicas que el segundo tramo.

## 2.4 FUENTES DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA

Figura 2.3

Ubicación de Fuentes de materiales



Fuente: Cuerpo de Ingenieros del Ejército; 2010

Después de las observaciones de campo, y tomando como referencia lo establecido en los informes, se determinan las fuentes de material que se detallan a continuación (Ver figura 2.3):

- Mina Santa Rosa.
- Mina Lucarqui.
- Cantera Tunahurco
- Cantera km 9+000

### 2.4.1. Mina Santa Rosa.

En la Figura 2.4 se puede observar que esta mina tiene un material aluvial renovable de muy buenas características físico mecánicas representados por cantos rodados y gravas de origen andesítico, intrusivo, basáltico que se presenta en el río Catamayo, a 2,1 Km. del Empalme ó 0+000 del proyecto a unos 200 m aguas arriba del Puente Santa Rosa. Su volumen estimado actual es de  $\pm 100.000 \text{ m}^3$ .

La explotación del material de esta mina y debidamente triturado se puede utilizar como agregados para la fabricación de hormigón hidráulico que servirá para el pavimento rígido y para la fabricación de hormigón para la construcción de obras necesarias en la vía.

**Figura 2.4**  
**Ubicación de la Mina Santa Rosa**



Fuente: Cuerpo de Ingenieros del Ejército; 2010

#### 2.4.2. Mina Lucarqui.

Ubicada a 800 m del Km 5+300, de la carretera: El Empalme – Catacocha, es decir a 6,1 Km. del 0+000 del proyecto, cuenta con material aluvial del río Catamayo, con agregados de tamaño máximo nominal de 30 cm. con grava arena en más de un 70 %, apto para todo uso en la construcción vial, cuya potencia se estima alrededor de  $\pm 40.000 \text{ m}^3$ , como se puede observar en la Figura 2.5.

Una vez que se agote el material de la mina Santa Rosa se podría utilizar esta mina para la obtención de agregados para la fabricación de hormigón hidráulico, que servirá para el pavimento rígido. Un porcentaje menor del volumen de esta mina puede ser utilizado como material para confección de muros de gaviones y subdrenes.

**Figura 2.5**

#### **Ubicación de la Mina Lucarqui**



**Fuente:** Cuerpo de Ingenieros del Ejército; 2010

### **2.4.3. Cantera Tunahurco km. 6+600 de la carretera El Empalme – Celica Alamor.**

En las Figuras 2.6 y 2.7, se observa la cantera Tunahurco en la abscisa 6+600 de la vía El Empalme – Celica – Alamor se encuentra en explotación, la cual está constituida por andesitas, basaltos y roca granodiorítica compuesta principalmente por cuarzo y feldespatos, es un material apto para mejoramiento, sub base y base granulares, este material se debe necesariamente triturar, el volumen de aprovechamiento se estima en  $\pm 200.000$  m<sup>3</sup>. Además se puede utilizar para la fabricación de hormigón de estructuras de arte menores (cunetas, alcantarillas, bordillos, etc.).

**Figura 2.6**  
**Cantera km 6+600**



**Fuente:** Cuerpo de Ingenieros del Ejército; 2010

**Figura 2.6**

**Plataforma donde se procesa los agregados**



**Fuente:** Cuerpo de Ingenieros del Ejército; 2010

**2.4.4. Cantera km. 9+000 de la carretera El Empalme – Celica – Alamor.**

Esta cantera contiene material suelto, que es producto de la disgregación del material que aflora, se puede obtener de esta mina agregado fino (arena) para la fabricación de hormigones de estructuras de arte menores, la potencia aprovechable se determina en  $\pm 50.000 \text{ m}^3$ ; cantera que todavía no se encuentra en producción.

**2.5 RESUMEN DE MATERIALES QUE PUEDEN SER UTILIZADOS.**

El volumen aproximado de agregados que se necesita para la elaboración de hormigón para el pavimento rígido se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_H = (l_1 * a_1 + l_2 * a_2) * A * e * f$$

$$V_A = V_H * f_1$$

**Fuente:** Ministerio de Transporte y Obras Públicas; 2010

Donde:

$V_H$  : Volumen de hormigón necesario

$l_1$  : Longitud de la vía tramo I (abscisa 0+000 – 8+500)

$a_1$  : ancho de la vía tramo I

$l_2$  : longitud de la vía tramo II (abscisa 8+500 – 20+300)

$a_2$  : ancho de la vía tramo II

$A$  : espesor del pavimento rígido (valor provisional)

$e$  : factor de compactación del hormigón

$f$  : factor por sobre ancho de vía (vía de relieve montañoso)

$V_A$  : Volumen de agregados necesarios

$f_1$  : factor de agregados en el hormigón

$$V_H = (8500 \times 7,30 + 11800 \times 8,70) \times 0,25 \times 1,03 \times 1,3 = \mathbf{55.705,75 \text{ m}^3}$$

$$V_A = V_H \times 0,75 = \mathbf{\underline{\underline{41.779,31 \text{ m}^3}}}$$

De acuerdo a las fuentes de materiales, la utilización de las mismas para la construcción del Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme – Celica – Alamor de 50.60 km, debería ser la Tabla 2.2.

<b>Tabla 2.2.</b>	
<b>Utilización de las fuentes de materiales</b>	
<b>Descripción</b>	<b>Mina y/o Cantera</b>
Material para gaviones	Lucarqui
Material filtrante para subdrenes	Lucarqui
Hormigón ciclópeo	Tunahurco
Hormigón de obras de arte menor	Tunahurco y cantera km 9+000
Material de mejoramiento	Tunahurco
Material de sub-base clase III	Tunahurco
Material base clase I	Tunahurco
Hormigón para pavimento rígido	Santa rosa y Lucarqui

Fuente: Rubén Padilla; 2010

Junto a la mina de Santa Rosa existe un Stock de material granular entre piedra bola, triturado, zarandeado y arena en un volumen medido en sitio de 23.998 m<sup>3</sup>, que pertenece a la empresa COSURCA, material que puede ser utilizado en los rubros de hormigón para pavimento rígido, piedra para gaviones, y material filtrante para subdrenes, con lo que se facilitaría la demanda de material granular para la vía a rehabilitar.

Los datos obtenidos de los informes y estudios que reposan en el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Asociación Viastra – Geovial y el Cuerpo de Ingenieros del Ejército, serán tomados en cuenta y utilizados para el diseño del pavimento rígido del Tramo El Empalme (abscisa 0+000) – Celica (abscisa 20+300) de la vía El Empalme – Celica – Alamor de 50.60 km.

## **CAPÍTULO III**

### **ESTADO ACTUAL DE LA VIA**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Para el diseño de la estructura de pavimento rígido a colocarse en la rehabilitación y mejoramiento del tramo El Empalme – Celica, de la vía El Empalme – Celica – Alamor de 20,30 Km; se asumen los datos del ensayo de CBR de la subrasante de la vía, informes y estudios que fueron realizados para el diseño de la estructura del pavimento flexible de la vía El Empalme – Celica – Alamor.<sup>13</sup>

#### **3.2. ESTADO ACTUAL DE LA VÍA**

El informe técnico No. 001-2009, el Ingeniero Mérriman Valverde indica que: “La capa de rodadura está compuesta por un tratamiento superficial bituminoso doble, oxidado y desgastado, pues exhibe en toda su longitud un apreciable porcentaje de agregado pulido, y una gran cantidad de superficie picada, esto es por el

---

<sup>13</sup> Datos que se encuentran en los estudios de la Consultora Viastra – Geovial e Informe Técnico No. 001-2009 del Ing. Mérriman Valverde, que fueron utilizados para el diseño del pavimento flexible.

desprendimiento de material pétreo que va produciéndose al paso de los vehículos, luego hay zonas en las cuales este desprendimiento a producido la formación de baches que involucran el daño del material granular de la base y en algunos casos hasta de la sub base, aumentando su humedad natural y contaminándose con material arcilloso de arrastre de las aguas lluvias, incrementando por la realización de tareas de bacheo con material de préstamo lateral, mismo que está constituido por material fino arcilloso; en general la capa de rodadura necesita una rehabilitación completa...” (Valverde, 2009: 2)

Criterio que es compartido por los técnicos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército en la evaluación realizada en marzo del 2.010; cabe indicar, que el tramo comprendido entre la abscisa 0+000 a la 8+500 (inicio del proyecto) es un sector montañoso con taludes casi verticales, en el cual no existe la presencia de derrumbes en la vía, el D.T.S.B. se encuentra en buenas condiciones y para rehabilitarlo este tramo se considera que se debe colocar sobre esta capa el pavimento rígido. <sup>14</sup>

**Figura3.1.**

**Derrumbes en la vía El Empalme – Celica - Alamor**



**Fuente:** Cuerpo de Ingenieros del Ejército; 2010

---

<sup>14</sup> Informe Técnico del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, sobre la evaluación de la vía El Empalme – Celica – Alamor, elaborado en junio del 2010

La paralización de los trabajos de la compañía Cosurca en el tramo El Empalme – Celica – Alamor, ocasiono que la vía se vuelva intransitable durante el invierno (enero a abril), debido a que la compañía en varios tramos de la vía realizó remoción de tierras, trabajos que quedaron inconclusos, lo cual ocasiono serías dificultades en el aspecto vial, en vista que los constantes deslizamientos de tierra, provocaron interrupción del paso vehicular hacia la capital de la provincia, como se puede observar en la figura 3.1.

Sin embargo, actualmente el Cuerpo de Ingenieros del Ejército se encuentra realizando el mantenimiento de la vía tanto en el tramo El Empalme – Celica como en el Celica – Alamor, lo que ayuda al tránsito vehicular de este sector que se conecta con la ciudad de Loja, como se puede observar en las figuras 3.2, 3.3 y 3.4.

**Figura 3.2**

**Trabajos de limpieza de derrumbes en el km 15+101**



**Fuente:** Cuerpo de Ingenieros del Ejército

**Figura 3.3**

**Trabajos de limpieza de derrumbes en el km 20+080**



Fuente: Cuerpo de Ingenieros del Ejército

**Figura 3.4**

**Trabajos de limpieza de derrumbes en el km 20+100**

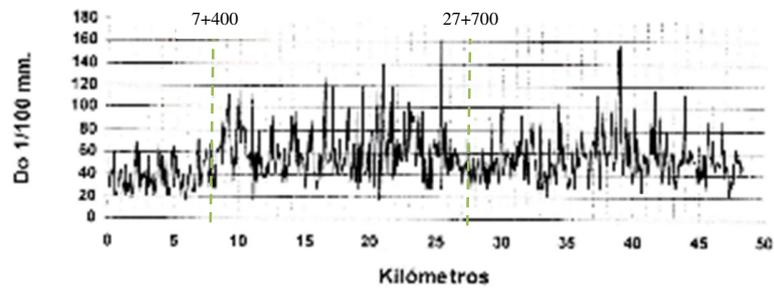


Fuente: Cuerpo de Ingenieros del Ejército

### 3.3. EVALUACION ESTRUCTURAL

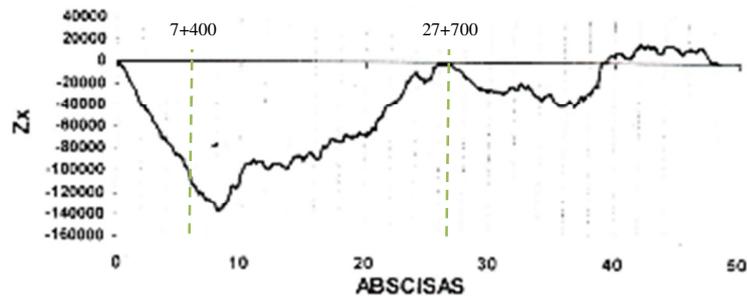
El Informe Técnico, indica que la evaluación de la estructura del pavimento existente y de la sub rasante de la vía El Empalme – Celica - Alamor, se realizó en base a sectores con características homogéneas, utilizando la metodología AASHTO, con valores de deflexiones máximas en el origen (Do), como parámetros de intervalos, lo que se puede observar en el gráfico 3.5 y 3.6 (Merriman, 3:2009).

**Figura 3.6**  
**Deflexiones Máximas**



Fuente: Informe Técnico No. 001-2009

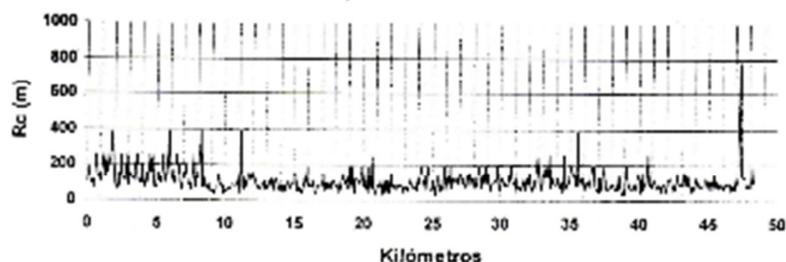
**Figura 3.5**  
**Secciones Homogéneas**



Fuente: Informe Técnico No. 001-2009

Adicionalmente, muestra el gráfico 3.7, en los que se puede observar los radios de curvatura (Rc)

**Figura 3.7**  
**Radios de Curvatura**



Fuente: Informe Técnico No. 001-2009

Los valores de los gráficos de las deflexiones máximas y radios de curvatura se utilizan como parámetros para la evaluación estructural, evaluación que se la realiza mediante el programa ALIZE III <sup>15</sup>

<b>Tabla 3.1</b>		
<b>Espesores promedios</b>		
<b>para los sectores del Tramo El Empalme – Celica</b>		
<b>Abscisa</b>		<b>ESPEJOR (cm)</b>
<b>DESDE</b>	<b>HASTA</b>	
0 + 000	8 + 500	43.20
8 + 500	20 + 300	45.17

Fuente: Autor; 2010

Adicionalmente indica el informe, que en base a la evaluación realizada del material granular, se determina que el material de la sub-base es de muy buena calidad, con características granulométricas a una base “Clase 4” <sup>16</sup>.

<sup>15</sup> Programa ALIZE III (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) utiliza el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para el cálculo de Do y Rc

En base a la información del Informe Técnico, se asumen, espesores promedios de acuerdo a las características homogéneas que presentan los sectores del tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor, como se puede observar en la tabla 3.1 (Merriman, 3:2009).

### **3.4. DESCRIPCIÓN DE LA SUBRASANTE**

En los estudios e informes elaborados para el diseño de la estructura de pavimento flexible, se ha dividido la vía en dos tramos, en razón al tipo de terreno y topografía, los cuales serán adoptados para el análisis y diseño del pavimento rígido.<sup>17</sup>

#### **3.4.1. Tramo N° I**

Inicia en la abscisa 0+000 en el sector denominado el Empalme, hasta el Km 8+500 representado por roca medianamente alterada y, areniscas que de acuerdo a la carta de plasticidad se clasifican como SC o A-2 respectivamente con densidad máxima que varía desde 1.576 a 1.719 Ton/m<sup>3</sup> humedad óptima desde 13.82 a 19.66 %, índice de plasticidad (IP) de 14 a 33 % y CBR que varía de 7 a 8 % (MOP, 1999: 145).

Valores que son ratificados en el informe técnico para la rehabilitación y reforzamiento del pavimento de la vía El Empalme – Celica – Alamor (Balarezo; 2010: 8); y, que al igual que en el primer estudio, no existen datos del índice de plasticidad de la sub-base y base de la estructura existente de la vía.

Cabe indicar que este tramo, actualmente tiene un ancho de vía de 7,30 m que tiene una capa de rodadura de DTSB en regulares condiciones.

---

<sup>16</sup> Bases constituidas por agregados obtenidos por trituración o cribado de piedras fragmentadas naturalmente o de gravas, y graduadas uniformemente dentro de los límites granulométricos, indicados en las Especificaciones Técnicas para Caminos y Puentes MOP-001-F2002

<sup>17</sup> Información que se detalla en el Final de Ingeniería MTOP-1999 e Informe Técnico No. 001-2009 del Ing. Merriman Valverde

### 3.4.2.- Tramo N° II

Inicia en la abscisa 8+500 hasta la 20+300 en Celica, que se caracteriza por suelos limo – arcillosos de plasticidad mediana, que de acuerdo al sistema de clasificación SUCS corresponden a CH, CL y mediante el sistema AASHTO pertenecen A-6 Y A-7. Densidad máxima que varía desde 1.474 a 1.671 Ton/m<sup>3</sup>, humedad óptima de 16,77 a 20,57, C.B.R. de 4,2 a 5,3 %; y, que al igual que en el tramo I, no existen datos del índice de plasticidad de la sub-base y base de la estructura existente de la vía (Balarezo; 2010: 8)

Además, se puede indicar que en este tramo tiene un ancho de vía igual a 8,70 m y que la calzada esta también a nivel de DTSB, pero en condiciones muy deterioradas.

### 3.5. RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE Y DETERMINACION DEL CBR DE DISEÑO

<b>Tabla 3.2</b>				
<b>Números estructurales y espesor de refuerzo del pavimento</b>				
<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>TRAMOS</b>			
	<b>0+000 - 7+400</b>	<b>7+400 - 27+700</b>	<b>27+700 - 48+350</b>	<b>0+000 - 1+900 Ac</b>
Z <sub>R</sub>	-1.282			
S <sub>o</sub>	0.45			
P <sub>t</sub>	2.50			
ΔPSI	1.7			
C <sub>d</sub>	0.90			
MR (psi)	11286	6414	7900	6329
N <sub>j8.2</sub>	864.704			
SN diseño	2.90	3.60	3.30	3.50
SN efectivo	2.23	2.03	1.80	1.90
ΔN	0.67	1.57	1.50	1.60
A	0.173	0.173	0.173	0.173
hca(cm)	3.9	9.1	8.7	9.2

Fuente: Merrimán Valverde; 2009

**DONDE:**

$Z_R$  : Confiabilidad

$S_o$  : Desvío estándar de las variables

$P_t$  : Serviciabilidad Final

$\Delta PSI$  : Perdida de serviciabilidad

$C_d$  : Drenaje

$MR(\text{psi})$ : Módulo resiliente

$N_{j8.2}$  : Proyección de tráfico y cálculo de ejes equivalentes

En base a los datos del MR (Módulo Resiliente) del informe técnico No. 001-2009 (Tabla 3.2) obtenidos en varios tramos de la vía El Empalme – Celica – Alamor, para el diseño del pavimento flexible, se calculan los CBR a ser utilizados en el diseño del pavimento rígido del Tramo El Empalme – Celica). (Merriman: 2009:7)

De acuerdo al análisis realizado para los tramos a diseñar el pavimento rígido (Anexo 1), se obtienen los valores de CBR que se indican en la tabla 3.3, para el diseño del pavimento rígido.

<b>Tabla 3.3</b>		
<b>Cálculo de CBR</b>		
<b>DESDE</b>	<b>TRAMOS</b>	
	<b>0+000</b>	<b>8+500</b>
<b>HASTA</b>	<b>8+500</b>	<b>20+300</b>
<b>MR (psi)</b>	11 286	6 414
<b>CBR (%)</b>	<b>7.68</b>	<b>4.28</b>
<b>CALCULADO para DISEÑO</b>		

Fuente: Valverde Merriman; 2009

De acuerdo a la tabla 3.3 se obtiene un CBR de 7,68 % para realizar el diseño de pavimento rígido, en el primer tramo entre las abscisas 0+000 (El Empalme) hasta la 8+500.

Así mismo, para el diseño de pavimento entre el abscisado 8+500 hasta 20+300 (el final tramo ubicado en Celica) de la vía El Empalme – Celica - Alamor, se obtiene un valor de CBR de 4,28 %, tramo en el cual, no existe una variación significativa en el valor del MR, como se puede observar en la tabla 3.2.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE PAVIMENTO**

#### **4.1.- GENERALIDADES**

El pavimento es una estructura lineal, conformada por un sistema laminar heterogéneo y anisotrópico, sometido a un gran número de aplicaciones de cargas transitorias y dinámicas, que convive con el ambiente, diseñada para responder al requerimiento de los esfuerzos inducidos por las cargas vehiculares y de los usuarios.

El pavimento rígido es una capa de alta resistencia mecánica (resistencia media a la tracción por flexión superior a 5 MPa<sup>18</sup>) y la elasticidad es del orden de 40.000 MPa. Su monolitismo le garantiza una cierta indeformabilidad bajo las cargas y asegura una buena repartición de las presiones, permitiéndole acomodarse a los suelos de baja capacidad de soporte.

La deformación permanente del hormigón bajo carga es débil, y cuando está endurecido, no corre ningún riesgo de romperse por el tráfico concentrado, pesado, lento y aún por cambios bruscos de temperatura.

---

<sup>18</sup> 1 MPa = 145 psi

Por lo contrario, se constituye una capa sólida que resiste las cargas para las cuales es diseñado, pero que no soporta las sobrecargas, se quiebra sin deformación plástica apreciable; su alargamiento antes de la rotura es muy pequeño, del orden de una diezmilésima parte.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas, por lo tanto, el apoyo de las capas inferiores (sub-base y base) ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento, debido a que toda la carga ejercida en el pavimento es absorbida por el hormigón.

Con estas premisas, se realizarán la determinación de las diferentes variables que servirán para el diseño del Tramo I (abscisa 0+000 al 8+500) y del Tramo II (abscisa 8+500 al 20+300), en razón que existen condiciones de la vía y CBR diferentes.

#### **4.2.- CONSIDERACIONES BÁSICAS DE DISEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

El diseño del pavimento sigue los procedimientos y metodologías recomendados por la AASHTO en su Guía de Diseño de Pavimentos, edición 1.993, en el cual se determina el espesor del pavimento de concreto mediante la ecuación 4.1.

Diseño que está definido por dos consideraciones fundamentales:

- Carácter funcional, y
- Carácter estructural.

En el carácter funcional se engloban aspectos como:

- La importancia del proyecto,

- La velocidad de operación,
- La seguridad,
- El mantenimiento, y
- Los costos de inversión.

En el carácter estructural se le da mucha importancia a los conceptos de:

- Resistencia,
- Durabilidad,
- Estabilidad volumétrica
- Compresibilidad,
- Resistencia a la fatiga,
- Capacidad portante,
- Relación esfuerzo – deformación,
- Comportamiento frente a la dimensión ambiental,
- Sistema constructivo,
- Mecanismo, y
- Estrategia de rehabilitación.

Con estas premisas se procede a definir lo siguiente:

- Definición de Secciones Homogéneas para diseño.
- Determinación de los parámetros resistentes de la Subrasante.
- Definición de las demás variables necesarias, incluyendo el tráfico que utilizará la vía durante el período de diseño.

Estas consideraciones están íntimamente involucradas, de tal manera que se interrelacionan para dar como resultado una estructura durable que brinde seguridad a los usuarios.

Por las recomendaciones de los profesionales del Ministerio de Transporte de Obras Públicas y Técnicos del Cuerpo de Ingenieros del Ejército, el pavimento rígido, para esta vía de tercer orden no es necesario colocar la capa de base, únicamente se debe colocar una capa de sub-base, y diseñar para un periodo de 30 años.

#### Ecuación 4.1

#### Para el cálculo del espesor del pavimento

$$\log_{10} W18 = Z1 * So + 7.35 * \log_{10}(D + 21) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t)$$

$$* \log_{10} \left[ \frac{S'c * Cd * [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J * \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{Ec}{k}\right)^{0.25}} \right]} \right]$$

**Fuente:** Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO; 1993

Donde:

$Z_r$  : Desviación estándar normal

$S_o$  : Error estándar combinado de la predicción del tránsito y de la predicción del comportamiento

$D$  : espesor del pavimento de concreto

$\Delta PSI$  : Diferencia entre el índice de servicio inicial ( $P_o$ ) y el final ( $p_t$ )

$p_t$  : Índice de servicio final

$S'_c$  : Módulo de rotura del hormigón

$C_d$  : Coeficiente de drenaje

$J$  : Coeficiente de transmisión de cargas

$E_c$  : Módulo de elasticidad del hormigón en MPa

$K$  : Módulo efectivo de la subrasante (aplicado el factor  $L_s$ ) en el que apoya el pavimento de concreto en MPa/m

Para determinar el espesor  $D$  de un pavimento de hormigón que pueda soportar el paso de un número W18 de ejes equivalentes de 18.000 libras (8.2 T) sin que se produzca una disminución en el índice de servicio – PSI superior a un cierto valor, se utiliza la ecuación 4.1 del método indicado en la AASHTO, cuya fórmula que relaciona una serie de medidas en el pavimento

### **4.3. VARIABLES DE DISEÑO**

#### **4.3.1. Periodo de diseño**

Tomando en cuenta el uso que se le dará a esta vía, por ser el enlace con el vecino país del Perú, y que el tráfico vehicular generará la integración fronteriza, se considerará un período de diseño de 30 años, por ser un tipo de carreteras que servirá para un desarrollo socio económico.

#### **4.3.2. Tránsito**

Para el cálculo de las dimensiones de la estructura del pavimento, es fundamental conocer:

- Las cargas más pesadas esperadas en el carril de diseño, durante el periodo de diseño que se adopta.
- La repetición de las cargas y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga).

Además, se debe tener muy en cuenta:

- Las máximas presiones de contacto,
- Las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.),
- Las velocidades de operación de los vehículos

- La canalización del tránsito, etc.

Con estos antecedentes, y de acuerdo a lo que dispone el Ministerio de Transporte y Obras Públicas para el diseño de pavimentos, se utiliza el método de diseño que se basa, en el número de ejes simples equivalentes a 18 Kips en el carril de diseño (W18).

Para el diseño de pavimento rígido, se considera el TPDA<sup>19</sup> determinado en los estudios de tráfico de la carretera Empalme – Celica - Alamor y que se puede observar en la tabla 4.1

<b>Tabla 4.1</b>						
<b>TPDA de la vía El Empalme – Celica - Alamor</b>						
<b>TRAMO</b>	<b>T.P.D.A</b>	<b>LIVIANO</b>	<b>BUS</b>	<b>CAMION 2 EJES</b>	<b>CAMION 3 EJES</b>	<b>CAMION +3 EJES</b>
Empalme – Celica (año 2010)	582	485	28	66	1	2
Celica – Alamor (año 2010)	779	609	66	96	5	3

Fuente: Estudios de Tráfico MOTP; 2010

Del estudio de tráfico realizado se obtiene en que para el Tramo El Empalme – Celica el TPDA es de 582 entre livianos, buses, camiones de 2 ejes camiones de 3 ejes y camiones de más de 3 ejes.

### **4.3.3. Selección del tipo de tráfico**

El proceso de asignación y selección del TPDA se lo realiza en base al estudio de tráfico vehicular existente y sus características. La información del tráfico actual es la

<sup>19</sup> El TPDA es el tráfico promedio diario anual que se utiliza para el diseño del pavimento

base principal para la proyección y asignación del tráfico futuro que va a circular por el proyecto.

**a. Cargas de diseño.**

Para el diseño se utiliza únicamente las cargas de los vehículos pesados de acuerdo a la metodología empleada.

En primer lugar se determina el número de vehículos pesados que circularán por el carril de diseño por día, considerando los factores de distribución de tráfico para el tipo de vía analizado de acuerdo con las recomendaciones de la AASHTO.

**b. Determinación de los ejes equivalentes**

Para la determinación de los ejes equivalentes a ser utilizados en el diseño del pavimento rígido, se realiza en base a la información obtenida del análisis del estudio de tráfico del Tramo El Empalme – Celica de la a vía El Empalme – Celica – Alamor (tabla 4.1), obteniéndose el resultado que se observa en la tabla 4.2.

<b>Tabla 4.2</b>						
<b>Clasificación vehicular</b>						
<b>TRAMO</b>	<b>T.P.D.A</b>	<b>LIVIANO</b>	<b>BUS</b>	<b>CAMION 2 EJES</b>	<b>CAMION 3 EJES</b>	<b>CAMION +3 EJES</b>
Empalme – Celica (año 1998)	131	65	32	30	4	0
Porcentaje (%)		49,62	24,43	22,90	3,05	0,00

Fuente: Viastra-Vial; 1999

Como se puede observar la incidencia de camiones es mínima ( $\leq 3\%$ ), lo que no se observa en el estudio de tráfico realizado en el año 1998 (Tabla 4.3), donde existe un número considerable de camiones. Para la determinación de ejes equivalentes del

tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor, se toma los valores del TPDA de la tabla 4.1.

Para efectos de determinación de ejes equivalentes para los tramos I y II, comprendido entre las abscisas 0+000 al 8 + 500 y 8+500 al 20+300 se utilizará el TPDA de la vía Empalme – Celica de la tabla 4.1.

En el análisis que se puede observar en el Anexo 2, se determina que la verdadera influencia en el número de ejes equivalentes radica en el porcentaje de vehículos pesados, el cual será adoptado para los dos tramos con un valor de 1'485.157,57.

**c. Tasa de crecimiento de tráfico**

En la Tabla 4.3 se observa, la tasa de crecimiento de tráfico determinada para la provincia de Loja y que fue calculada para periodos de 5 y 15 años hasta el año 2.040.

Como se puede observar en la Tabla 4.3., la tasa de crecimiento para los años comprendidos entre el 2.025 y 2040, se toma la tasa igual.

<b>Tabla 4.3</b>			
<b>Tasa de crecimiento anual (%)</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>LIVIANO</b>	<b>BUS</b>	<b>CAMION</b>
2010-2015	4,47	2,22	2,18
2015-2020	3,97	1,97	1,94
2020-2025	3,57	1,78	1,74
2025-2040	3,25	1,62	1,58

**Fuente:** Estudios de Tráfico MOTP; 2010

## 4.4. CRITERIOS DE DISEÑO

### 4.4.1. Confiabilidad.

Se define como la probabilidad de que una sección de pavimento, diseñada de acuerdo con el método, se comporte satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y medio ambiente previstas durante el período de diseño.

A la vez, la confiabilidad pretende incorporar algún grado de certeza al procedimiento de diseño, para asegurar que las diferentes alternativas de éste, se mantengan para el periodo de análisis, lo cual podemos observar en la Tabla 4.4

De acuerdo a la tabla 4.4, y en vista de que es una vía colectora interurbana, se adopta un valor de 90%, factor que agrupa las posibles variaciones que se puedan dar durante la etapa constructiva, la calidad de los materiales, variaciones en la subrasante de tal manera que la durabilidad y comportamiento del pavimento esté garantizado.

Tipo de carretera	Niveles de confiabilidad	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO;

Luego de adoptar un valor de confiabilidad del 90%, se obtiene un  $Z_r = -1.282$  (Tabla 4.5), que es el recomendado por la ASSHTO para el diseño en este tipo de vías.

<b>Tabla 4.5</b>	
<b>Niveles de confiabilidad a adoptar en función del tipo de carretera</b>	
<b>Confiabilidad R, %</b>	<b>Desviación normal estándar</b>
50	0,000
60	-0,253
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,841
85	-1,037
90	-1,282
91	-1,340
92	-1,405
93	-1,476
94	-1,555
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,054
99	-2,327
99,9	-3,090
99,99	-3,750

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO; 1986

#### **4.4.2. Desviación Estándar (So).**

Esta íntimamente relacionada a la confiabilidad, que obedece a una distribución normal. La guía AASHTO recomienda adoptar para el caso de pavimentos rígidos valores entre 0.30 y 0.40 de acuerdo al siguiente detalle:

Para construcción nueva valores menores a 0.35

Para construcción sobrecapas valores menores a 0.40

Con estas premisas, para el presente diseño se adoptara un valor de la desviación estándar igual a 0.35.

#### **4.4.3. Serviciabilidad.**

Se define como la idoneidad que tiene el pavimento para servir a la clase de tránsito que lo va a utilizar. La mejor forma de evaluarla es a través del índice de servicio presente (PSI), el cual varía de 0 (carretera imposible) hasta 5 (carretera perfecta)

La escogencia de un índice más bajo que puede tolerarse antes de que sea necesario un refuerzo o una rehabilitación, la AASHTO sugiere un valor de 2.5 para las autopistas y vías principales y de 2.0 para las demás carreteras. (Montejo, 2008:473)

Para el caso de este diseño, se ha tomado un valor inicial de 4.5, que es recomendada para pavimento rígido por la ASSHTO y un valor final de 2.0 en función del tipo de vía, tráfico y de la tecnología constructiva disponible.

$$\Delta\text{PSI} = P_o - P_t$$

$$\Delta\text{PSI} = 4.5 - 2.0$$

$$\Delta\text{PSI} = 2.5$$

#### **4.4.4. Resistencia del suelo de fundación.**

La propiedad del suelo de la subrasante que utiliza el método para el diseño del pavimento, es el módulo resiliente (MR). Este módulo se determina con un equipo que no es de fácil adquisición y por tal motivo se han establecido correlaciones en

base a ensayos realizados durante varios años. Se ha encontrado una relación entre el MR medido en el campo y el CBR de laboratorio para la misma densidad, para lo cual se utilizan las siguientes formulas:

$$\text{MR}(\text{psi}) = 1.500 \times \text{CBR} \quad \text{para } \text{CBR} \leq 7,2$$

$$\text{MR}(\text{psi}) = 3.000 \times \text{CBR}^{0,65} \quad \text{para } 7.2 < \text{CBR} \leq 20$$

$$\text{MR}(\text{psi}) = 4.326 \times \text{LN}(\text{CBR})+241 \quad \text{para } \text{CBR} \leq 7,2$$

Para el Tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor, se toman los MR de la tabla 3.2 y se obtienen los valores de CBR que se observan en el anexo 1.

#### **4.4.5. Módulo de Reacción k.**

Es un factor de la superficie en la que se apoya el pavimento (módulo efectivo de la subrasante).- Este valor depende de varios factores, tales como:

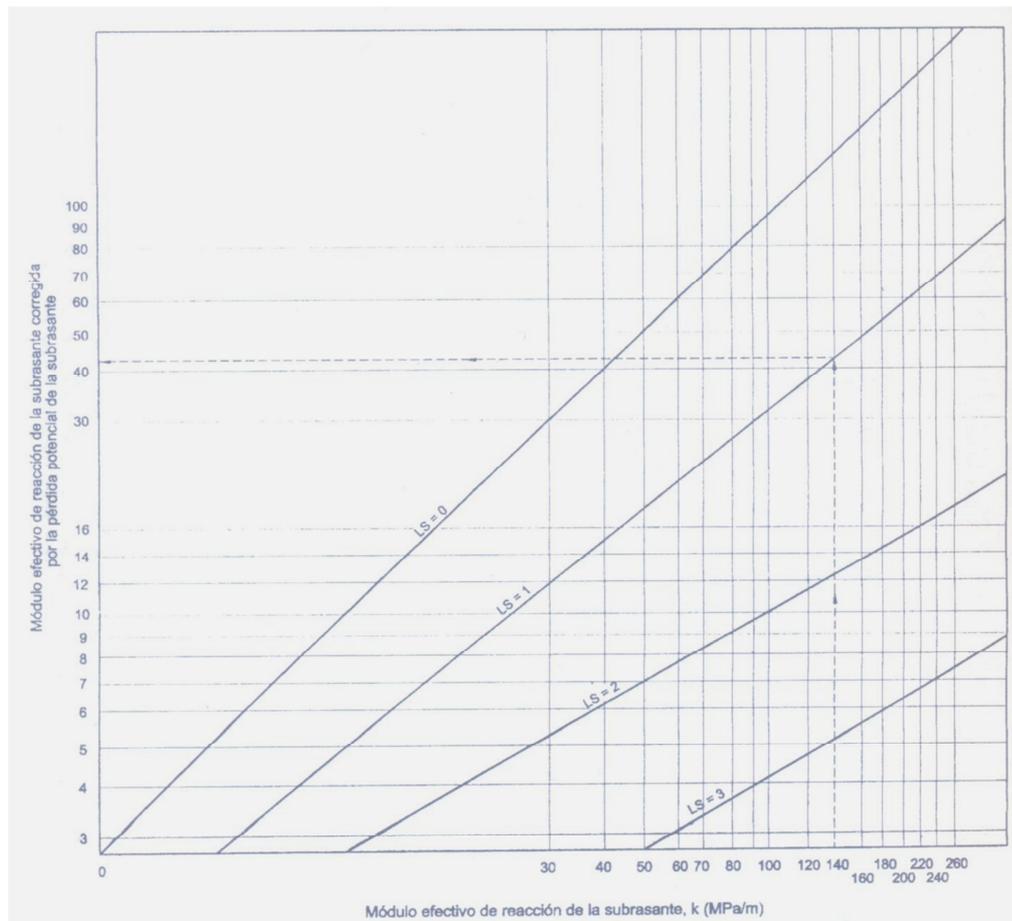
- El módulo resiliente de la subrasante.
- El módulo de sub-base
- El módulo de elasticidad de la sub-base

El valor de K se estima generalmente por correlación del valor de CBR. El procedimiento para la determinación del valor K es válido, ya que no es muy necesario el conocimiento exacto del módulo K, porque variaciones no muy grandes de este valor, no afectan los espesores necesarios de pavimento.

Para el caso de Pavimentos rígidos, el Módulo de Reacción (K) a emplear es un valor compuesto, que considera el material de la capa de base y la variación de la resistencia de la subrasante a lo largo del año.

Una vez determinado el valor de k corregido (Anexo 3 y Anexo 4), el mismo que se corrige en función de la pérdida de soporte  $L_s$  de la sub-base con la ayuda de la gráfica 4.1.

**Gráfica 4.1**  
**Nomograma para corregir el módulo de reacción efectivo por**  
**perdida potencial de soporte de la sub-base**



Fuente: Montejo Alfonso; 2008

#### 4.4.6. Factor de pérdida de soporte (Ls).

Indica la pérdida de apoyo potencial de las losas, ya sea por la erosionabilidad de la sub-base<sup>20</sup> o por asentamientos diferenciales de la subrasante; y aunque no aparece explícita en la fórmula de diseño para la obtención del espesor si interviene de forma directa a través de una reducción del módulo de reacción efectivo de la superficie en la que se apoyan las losas.

<b>Tabla 4.6</b> <b>Valores del factor de pérdida de soporte Ls</b> <b>en función del tipo de base o sub-base</b>	
<b>Tipo de base o sub base</b>	<b>Factor de pérdida de soporte Ls</b>
Bases granulares tratadas con cemento (E:7.000 a 14.000 Mpa)	0,0 a 1,0
Sub Bases granulares tratadas con cemento (E:3.500 a 7.000 Mpa)	0,0 a 1,0
Bases asfálticas (E: 2.500 a 7.000 Mpa)	0,0 a 1,0
Sub bases estabilizadas con asfalto (E:300 a 2.000 Mpa)	0,0 a 1,0
Estabilización con cal (E:150 a 1.000 Mpa)	1,0 a 3,0
Materiales granulares sin tratar (E:100 a 300 Mpa)	1,0 a 3,0
Suelos finos y subrasantes naturales (E: 20 a 300 Mpa)	2,0 a 3,0

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO

<sup>20</sup> Sub-base es la primera capa de materiales seleccionados que se construye sobre la subrasante, tanto en pavimentos rígidos como en flexibles

En la tabla 4.6 se indica los valores de Ls recomendados para distintos tipos de base y sub-base. Para efectos del diseño se adopta un valor de Ls de 1, en vista que de la sub-base es un material granular sin tratar y se espera que durante el periodo de diseño no sufra alternaciones muy grandes.

#### 4.4.7. Coeficiente de Drenaje Cd.

Se refleja en la presencia de los factores, que modifican los coeficientes de las capas en la ecuación del número estructural, cuyos valores constan en el cálculo de espesores del pavimento. El método deja en libertad del diseñador para la identificación de cual nivel o calidad de drenaje, tendrá el pavimento, como se puede observar en las tablas 4.7 y 4.8.

<b>Tabla 4.7 Calidad de drenaje</b>	
<b>Calidad de drenaje</b>	<b>Tiempo que tarda el agua en ser evacuada</b>
Excelente	2 Horas
Bueno	1 Día
Mediano	1 Semana
Malo	1 Mes
Muy malo	El agua no se evacua

**Fuente:** Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO

<b>Tabla 4.8</b> <b>Valores del coeficiente de drenaje Cd</b>				
<b>Calidad de drenaje</b>	<b>Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación</b>			
	<b>Menos al 1%</b>	<b>1% - 5%</b>	<b>5% - 25%</b>	<b>Más del 25%</b>
Excelente	1,25 - 1,20	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10
Bueno	1,20 - 1,15	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00
Mediano	1,15 - 1,10	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90
Malo	1,10 - 1,00	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80
Muy malo	1,00 - 0,90	0,90 - 0,80	0,80 - 0,70	0,70

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO

El proyecto por estar ubicado en una zona lluviosa, con drenaje regular (mediano) y considerando que más del 25 % de tiempo, el pavimento estará expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, se adopta un valor de 0,9.

#### **4.4.8. Coeficiente de transmisión de cargas (J).**

Este factor se introduce para tener en cuenta la capacidad del pavimento de hormigón para transmitir las cargas a través de las discontinuidades (juntas o grietas).

La existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas (pasadores en los pavimentos con juntas, acero en los armados con refuerzos continuos), como se indica en el tabla 4.9

<b>Tabla 4.9</b>				
<b>Valores del coeficiente de transmisión de cargas, J</b>				
<b>Berma</b>	<b>De asfalto</b>		<b>De hormigón</b>	
	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>Dispositivo de transmisión de cargas</b>				
Tipo de pavimento				
1.- No reforzado o reforzado con juntas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
2.- Reforzado continuo	2,9 – 3,2		2,3 – 2,9	

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO

Tomando en cuenta estas consideraciones, para efectos del diseño se asumirá un valor 2.6, el cual está entre los valores de 2.5 y 3.1, en razón de que para el caso de carreteras de poco tráfico, soportando un número reducido de camiones, puede irse a los valores más bajos de J, puesto que habrá menor pérdida del efecto de la trabazón entre los agregados.

#### **4.4.9. Módulo de Elasticidad $E_c$ del Hormigón.**

Se recomienda determinarlo de acuerdo con el procedimiento descrito en la norma ASTM C469, o en su defecto, correlacionarlo con otras características del material, como puede ser su resistencia a compresión.

Para el diseño el módulo de elasticidad de acuerdo a la fórmula de la tabla 4.10 y considerando un valor de  $f'c = 380 \text{ kg/cm}^2$  es de  $341.137,80 \text{ kg/cm}^2$  ( $4'847.567,97 \text{ PSI}$ ), en razón de el material con el cual se fabricará el hormigón es de origen ígneo.

<b>Tabla 4.10</b>		
<b>Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad</b>		
<b>Tipo de agregado y origen</b>	<b>Módulo de elasticidad <math>E_c</math></b>	
	<b>Mpa</b>	<b>Kg/cm2</b>
Grueso - Ígneo	$E_c = 5.500 \sqrt{f'c}$	$E_c = 17.500 \sqrt{f'c}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4.700 \sqrt{f'c}$	$E_c = 15.500 \sqrt{f'c}$
Grueso - Sedimentario	$E_c = 3.600 \sqrt{f'c}$	$E_c = 11.500 \sqrt{f'c}$
Sin formación	$E_c = 3.900 \sqrt{f'c}$	$E_c = 12.500 \sqrt{f'c}$

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO

#### **4.4.10. Resumen de las variables de entrada para el diseño de pavimento**

En la tabla 4.11, podemos observar el resumen de los valores obtenidos en base a las recomendaciones de la ASASTHO que serán utilizados para el diseño del espesor del pavimento rígido.

<b>Tabla 4.11</b>		
<b>Variables para el diseño del pavimento rígido</b>		
<b>Denominación</b>	<b>Tramos</b>	
	<b>0 + 000 8 + 500</b>	<b>8 + 500 20 + 300</b>
CBR de diseño (%)	7,68	4,28
Confiabilidad (r %)	90	
Desviación Normal Estándar (Zr)	-1,282	
Error estándar combinado (So)	0,35	
Serviciabilidad Inicial	4,5	
Serviciabilidad final	2,0	
Perdida de Serviciosabilidad	2,5	
Periodo de diseño (años)	30	
Coefficiente de Drenaje (Cd)	0,9	
Módulo de reacción de la superficie en la que se apoya el pavimento (k)	161 195 205 220 247	123 152 160 173 196
Coefficiente de transmisión de carga (J)	2,6	
Módulo de Elasticidad del hormigón (psi)	1'352.320,30	
Módulo de rotura del hormigón (MR en psi)	609,1585	
Carga de Tráfico (W <sub>18</sub> )	1'485.157,57	
Factor de pérdida de soporte Ls	1	

Fuente: Autor

## **4.5. ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

Con todos los parámetros obtenidos para el diseño del espesor del pavimento rígido se procede a realizar los cálculos para diferentes espesores de sub-base y de acuerdo a los CBR calculados.

### **4.5.1. Método de la AASTHO**

El diseño de los espesores por el método de la AASTHO, de acuerdo a las variables obtenidas se las puede observar en el Anexo 5 y 6.

### **4.5.2. Análisis de las alternativas de diseño**

Del anexo 4 se realiza la mejor alternativa para el tramo 0+000 al 8+500 y para el tramo 8+500 al 20+300 obteniéndose que el espesor de la losa debe ser de 20 cm.

## **4.6. TIPO DE HORMIGON Y DE REFUERZO**

La presencia de vehículos cada vez más pesados y las proyecciones de uso de la vía hacen recomendable emplear una losa muy rígida, razón por la que se ha seleccionado un hormigón con resistencia al módulo de rotura de 42 Kg/cm<sup>2</sup> (4,2 Mpa). Estas resistencias se obtienen con agregados de buena calidad que cumplan las exigencias granulométricas y de calidad establecidas en las normas INEN.

Para este diseño en la capa de rodadura de hormigón simple se contempla utilizar (barras lisas) en las juntas de dilatación y dispositivos de transferencia de carga (barras corrugadas) en las juntas longitudinales y en las juntas de contracción. Se

pretende en este estudio que la separación entre juntas sea lo más corta para controlar el agrietamiento.

#### **4.7. JUNTAS**

En las losas de un pavimento rígido se presenta diversas clases de esfuerzos. Los más elevados son los generados por la circulación de los vehículos sobre ellas, las cuales se controlan con el correcto diseño del espesor de las losas, con la selección adecuada de la resistencia del concreto.

Los esfuerzos producidos por movimientos de contracción, expansión del hormigón, diferencia de temperatura, la humedad entre la superficie y el apoyo, y la circulación de vehículos pesados, pueden ser controlados con dimensionamiento de juntas y la construcción de paños adecuados.

Las juntas transversales y longitudinales, se construyen principalmente para impedir que se presente fisuración en el hormigón del pavimento rígido.

Las juntas en los pavimentos de concreto son necesarias por las siguientes razones:

- *Por requisitos constructivos.* Se construyen pavimentos rígidos por carriles (juntas longitudinales) y por suspensión de labores de colocado del concreto (juntas longitudinales).
- *Retracción del concreto.* Cuando el concreto se endurece, ocupa menos volumen que cuando está fresco.
- *Dilatación térmica.* Cuando no tiene restricciones el concreto y existe un aumento de temperatura en el mismo, se produce un aumento de volúmenes. Si

existe confinamiento, se introducen esfuerzos de compresión, los cuales ocasionan efectos secundarios perjudiciales (alabeo en las placas).

- *La aparición de fisuras.* Cuando el concreto se ha endurecido y se somete a los cambios diarios de las condiciones climáticas, se introducen esfuerzos a los gradientes de humedad y temperatura.

Las principales funciones que debe cumplir una junta son las que se detallan a continuación:

- Contralar eficazmente el agrietamiento.
- Evitar fallas por deformaciones excesivas o perdidas en la calidad del rodamiento.
- Proteger a la subrasante de la presencia del agua (debe ser impermeable).

#### **4.7.1. Juntas transversales**

El diseño de este tipo de juntas se realiza con el fin de controlar la fisuración del concreto por contracción y alabeo, por lo tanto la separación entre juntas debe ser menor a 6.00 metros y mayor a 4.50 metros. De acuerdo a recomendaciones realizadas en las especificaciones AASHTO, las juntas transversales en pies, se las construirá a no más de dos veces el espesor de la losa en pulgadas.

Espesor de la losa es 20 cm. (7,87 plg)

Máxima longitud de losa =  $2 * 7,87 = 15,74$  pies = 4,8 metros.

Según recomendaciones de la AASHTO y tabla 4.12, para un espesor de 190 a 200 mm, se recomienda que las juntas transversales que deben tener pasadores de las siguientes características:

Ø pasadores	25 mm (1")
Longitud	35 cm
Espaciamiento	30 cm

<b>Tabla 4.12</b>				
<b>Recomendación para selección de los pasadores</b>				
<b>Espesor del pavimento</b>	<b>Diámetro del pasador</b>		<b>Longitud total</b>	<b>Separación entre centros</b>
<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(pulg)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>
0 – 100	13	½	250	300
110 – 130	16	5/8	300	300
140 – 150	19	¾	350	300
160 – 180	22	7/8	350	300
190 – 200	25	1	350	300
210 – 230	29	1 1/8	400	300
240 – 250	32	1 ¼	450	300
260 – 280	35	1 3/8	450	300
290 – 300	38	1 ½	500	300

Fuente: Guide for Design of Pavements Structures.- AASHTO

#### 4.7.2. Juntas longitudinales

La principal función de las juntas longitudinales es controlar las fisuras cuando se construyen pavimentos de anchos superiores a 5,00 metros. En nuestro medio, en el cual se construyen los pavimentos por carriles, con un ancho aproximado de 3,60 metros, las juntas longitudinales son normalmente de construcción.

En el primer tramo del proyecto, como el ancho desde el eje es de 3,65 metros se toma una longitud del panel de 4,00 m de tal forma que la esbeltez de las placas es 1,1 que es menor a 1,25 y el área es menor a 20 m<sup>2</sup>.

En el segundo tramo del proyecto, como el ancho desde el eje es de 4,35 m. se toma una longitud de 4,6 m de tal forma que la esbeltez de las placas es 1,06 que es menor a 1,25 y el área es menor o igual a 20 m<sup>2</sup>.

Las barras de anclaje para cualquier tipo de junta longitudinal que las requiera, se diseñan para resistir la fuerza de tracción generada por la fricción entre la losa del pavimento y la subrasante. La sección transversal de acero por unidad de longitud de junta se puede calcular en base a la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{b * f * w}{f_s}$$

**A<sub>s</sub>** = Área de acero por unidad de longitud de junta (cm<sup>2</sup>/m).

**b** = Distancia entre junta en consideración y el borde libre del pavimento (m)

**f** = Coeficiente de fricción entre losa y suelo (se toma generalmente como 1,5)

**w** = Peso de la losa por unidad de área (Kg/m<sup>2</sup>)

**$f_s$**  = Esfuerzo de trabajo del acero ( $\text{Kg/cm}^2$ ); normalmente se toma igual a  $0,67 f_y$ , siendo  $f_y$  el esfuerzo de fluencia del acero.

Así mismo, la longitud de las varillas de anclaje debe ser tal, que el esfuerzo de adherencia a cada lado de la junta sea igual al esfuerzo de trabajo del acero

$$L = \frac{2 * A * f_s}{a * p} + 7.5$$

**L** = Longitud total de la barra de anclaje (cm)

**A** = Área transversal de una barra de anclaje ( $\text{cm}^2$ ).

**$f_s$**  = Esfuerzo de trabajo del acero ( $\text{Kg/cm}^2$ ); normalmente se toma igual a  $0,67 f_y$ , siendo  $f_y$  el esfuerzo de fluencia del acero.

**a** = Esfuerzo de trabajo por adherencia. Para acero corrugado, se permite usar el 10% de la resistencia a compresión del concreto, sin embargo no debe exceder de  $24,6 \text{ Kg/cm}^2$ .

**p** = Perímetro de una varilla (cm)

Con estos parámetros se proceda al calcular la junta longitudinal para los dos tramos, cuyos resultados se pueden observar en la tabla 4.13 y 4.14

<b>Tabla 4.13</b>	
<b>Cálculo del refuerzo longitudinal</b>	
<b>TRAMO I (ABSCISAS 0+000 A LA 8+500)</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Separación juntas longitudinales b (m)	3,65
f	1,5
w (Kg/m <sup>2</sup> )	480
f <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	2814
As (cm <sup>2</sup> /m)	0,93 = 1 Ø 12 mm @ 1,20 m.
A (cm <sup>2</sup> ) Ø 12 mm	1,13
a (Kg/cm <sup>2</sup> )	24,5
p (cm)	3,769
L <sub>calculado</sub> (cm)	76,10
L <sub>adoptado</sub> (cm)	80,00

Fuente: Autor

La distribución está representada en el Anexo 7

<p align="center"><b>Tabla 4.14</b>  <b>Cálculo del refuerzo longitudinal</b>  <b>TRAMO II (ABSCISAS 8+500 A LA 20+300)</b></p>	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Separación juntas longitudinales b (m)	4,35
f	1,5
w (Kg/m <sup>2</sup> )	480
f <sub>s</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	2814
As (cm <sup>2</sup> /m)	1,11 = 1 Ø 12 mm @ 1,00 m.
A (cm <sup>2</sup> ) Ø 12 mm	1,13
a (Kg/cm <sup>2</sup> )	24,6
p (cm)	3,769
L <sub>calculado</sub> (cm)	76,09
L <sub>adoptado</sub> (cm)	80,00

Fuente: Autor

La distribución del acero de las juntas, está representada en el Anexo 8

#### 4.8. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RECOMENDADA

Basados en los ensayos, CBR, obtenidos, y luego de las consideraciones anotadas se debería utilizar la siguiente estructura de pavimento:

##### 4.8.1. Tramo I (abscisas 0+000 a la 8+500)

De acuerdo a las variables obtenidas y características de la vía se obtiene los valores que se detallan en la tabla 4.15.

<b>Tabla 4.15</b>		
<b>Estructura de pavimento para el tramo 0+000 al 8+500</b>		
<b>CAPAS DE PAVIMENTO</b>	<b>ESPEORES RECOMENDADOS PARA 30 AÑOS (cm)</b>	<b>ESPEORES EXISTENTES (cm)</b>
PAVIMENTO DE HORMIGON SIMPLE	20	
BASE GRANULAR CLASE IA	15	
SUB BASE CLASE III		20
MATERIAL GRANULAR		25

Fuente: Autor

#### 4.8.2 Tramo II (abscisas 8+500 a la 20+300)

De acuerdo a las variables obtenidas y características de la vía, para este tramo se obtienen los valores que se detallan en la tabla 4.16

<b>Tabla 4.16</b>		
<b>Estructura de pavimento para el tramo 8+500 al 20+300</b>		
<b>CAPAS DE PAVIMENTO</b>	<b>ESPESORES RECOMENDADOS PARA 30 AÑOS (cm)</b>	<b>ESPESORES EXISTENTES (cm)</b>
PAVIMENTO DE HORMIGON SIMPLE	20	
BASE GRANULAR CLASE IA	15	
SUB BASE CLASE III	15	20
MATERIAL GRANULAR	30	20

Fuente: Autor

### 4.9. SISTEMA CONSTRUCTIVO

#### 4.9.1. Tramo 0+000 a la 8+500

Al encontrarse la estructura de pavimento conformado con materiales granulares tipo sub-base clase III<sup>21</sup>, consolidados y compactados, con un terminado en DTSB y en

<sup>21</sup> Estas son sub-bases construidas con material obtenido de la excavación para la plataforma o de fuentes de préstamo

condiciones aceptables, se debe aplicar una losa de hormigón de 20 cm (pavimento rígido).

Previamente a la colocación del hormigón se deberá realizar el arreglo y preparación de la capa de rodadura deteriorada, cubriendo los baches y ahuellamientos con asfalto en frío debidamente compactado, hasta obtener una superficie uniforme que garantice un apoyo continuo de la capa de hormigón.

La construcción se deberá iniciar por el carril que da a la ladera de la vía, procediendo a realizar el retiro de partículas sueltas utilizando la escoba mecánica, para permitir una buena adherencia entre el doble tratamiento y la capa de hormigón.

Se deberá colocar una capa de 20 cm de hormigón a lo largo de los 8,5 Km, facilitando el tráfico vehicular por el carril que queda libre que se encuentra junto al talud (restricción en un solo sentido a la vez), con control de tráfico por parte de personal provistos de radios motorolas y señalización preventiva, colocados al inicio del tramo y al final del avance del hormigón (más 500 m de holgura para facilitar las maniobras de colocación de hormigón) a fin de coordinar el paso vehicular en un sentido. Se deberá colocar señalización de aviso de vía en construcción y peligro al inicio y al final del tramo en construcción.

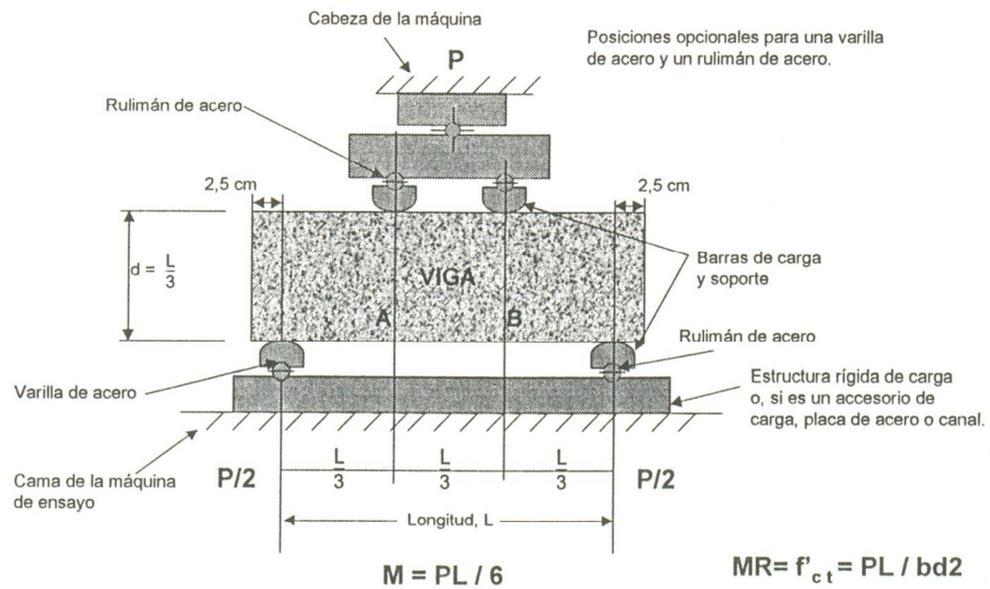
Una vez fundido los paneles del pavimento rígido, se tendrá que protegerlo, colocando a lo largo del carril cintas de seguridad y obstáculos, a fin de evitar el ingreso de los vehículos al área fundida (hormigón fresco), mientras cumpla su resistencia y se de apertura al tráfico por ese carril.

Inmediatamente a la colocación del pavimento rígido se deberá proceder a la construir las cunetas laterales, debiendo realizar los cortes con disco, en un máximo de 24 horas después del fundido, siguiendo la modulación y detalle de los vanos.

Se deberá abrir el tráfico en el carril que se está hormigonando por lo menos cada 2 kilómetros o la distancia que apruebe la fiscalización, una vez que el hormigón haya superado por lo menos el 90% del valor del Módulo de Rotura (4,2 Mpa) que se obtiene de los ensayos a la flexotracción de las vigas de 15x15x50cm (muestras que se consiguen del hormigón que se colocará en la vía), especificado en el diseño de pavimento y debidamente aprobado por la fiscalización. (Ver figura 4.1)

**Figura 4.1**

**Esquema de la máquina para ensayos a la flexión de vigas de hormigón usando el método de carga en el tercio medio**



**Fuente:** Portland Cement Association

Luego de haber terminado el hormigonado de los 8,5 Km del primer carril se deberá proceder a fundir el carril que se encuentra junto al talud, desde el Km. 0+000 hasta el Km 8+500, aplicando las mismas consideraciones de avance de colocación del hormigón empleado para el primer carril.

Se deberá facilitar el tráfico vehicular por el carril que ya se encuentra colocado pavimento rígido (restricción en un solo sentido a la vez), hasta la abscisa que se encuentra abierto al tráfico debidamente aprobado por Fiscalización, y con el debido control de tráfico, similar a lo establecido en el carril terminado.

Una vez colocada la losa de hormigón del pavimento rígido, se deberá realizar el relleno de la cuneta existente con hormigón ciclópeo, dándole la pendiente necesaria para que pueda servir como replantillo, para luego construir la cuneta de hormigón simple determinada en este diseño.

Durante todo el proceso de construcción del pavimento rígido se debe cumplir, con todos los requerimientos para el vaciado, vibrado, compactado y curado del hormigón; así como para el aserrado y sellado de juntas, incluyendo la construcción de las cunetas laterales.

#### **4.9.2. Tramo 8+500 – 20+300 (Hasta el final del Tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor).**

Los trabajos deberán iniciarse con la limpieza y desbroce del talud que da hacia la zona de corte, inmediatamente se procederá a la conformación del talud en base a las laterales hasta llegar a nivel de la rasante existente, paralelamente a este trabajo se deberá realizar la remoción de la cuneta lateral, cuidando que todo el material producto de la excavación sea transportado y desalojado a los sitios de botaderos correspondientes.

A fin de no interrumpir el tráfico del carril que da hacia ladera, el movimiento de tierras, corte y desalojo se deberá realizar utilizando tractor y/o excavadora, este trabajo se debe ser en tramos cortos y cuidando de no contaminar la estructura de pavimento existente, contando siempre con la ayuda de personal de control de tráfico.

La excavación de la cajonera de ampliación de la vía, se debe realizar hasta llegar a nivel de la subrasante existente, procediendo luego a la colocación de material de mejoramiento y sub-base debidamente compactado con los espesores correspondientes, hasta llegar a nivel de la estructura de pavimento existente. En caso de existir cajoneras a los dos lados de la vía, la ejecución de los trabajos se realizará en forma independiente.

Junto al talud se debe realizar la excavación y colocación de los materiales para el subdren longitudinal.

Una vez completado el ancho requerido con las cajoneras, se debe realizar la terminación o acabado de la obra básica existente, incluyendo las generadas por la construcción de las cajoneras conforme a los procedimientos correspondientes de escarificación, conformación y compactación de acuerdo con las especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Posteriormente se debe colocar la base granular en los dos carriles cuidando de mantener las alineaciones y pendientes respectivas.

La colocación del pavimento rígido se deberá iniciar preferentemente para el carril que está junto al talud en tramos de 6 Km, facilitando el tráfico vehicular por el carril que queda libre (restricción en un solo sentido a la vez), con control de tráfico por parte de personal provistos de radios motorolas, y señalización preventiva, colocados al inicio del tramo y al final del avance del hormigón (más 500 m de holgura para facilitar las maniobras de colocación de hormigón) a fin de coordinar el paso vehicular en un sentido. Es necesaria las señales preventivas de aviso para la vía en construcción, y de peligro al inicio y al final del tramo en construcción.

Inmediatamente a la colocación del pavimento rígido se debe construir la cuneta longitudinal cuidando de realizar los cortes con disco y sellado de juntas, siguiendo la modulación y detalle de los vanos.

Se deberá abrir el tráfico en el carril que se está hormigonando por lo menos cada 3 kilómetros o la distancia que apruebe la fiscalización, una vez que el hormigón haya superado por lo menos el 90% del valor del Módulo de Rotura (4,2 Mpa), que se obtiene de los ensayos a la flexotracción de las vigas de 15x15x50cm (muestras que se consiguen del hormigón que se colocará en la vía), especificado en el diseño de pavimento y debidamente aprobado por la fiscalización. (Ver figura 4.1)

Luego de haber terminado el hormigonado de los 6 Km del carril que se encuentra junto al talud se deberá proceder al hormigonado del carril que se encuentra al lado de la ladera, aplicando las mismas consideraciones de avance de colocación del hormigón empleado para el primer carril. Siguiendo este procedimiento se continuará su ejecución en tramos de 6 Km aproximadamente, hasta la conclusión de los trabajos.

Se debe facilitar el tráfico vehicular por el carril que ya se encuentra colocado pavimento rígido (restricción en un solo sentido a la vez), hasta la abscisa que se encuentra abierto al tráfico debidamente aprobado por Fiscalización, y con el debido control de tráfico, similar a lo establecido en el carril terminado.

Una vez concluido el hormigonado del pavimento rígido en el tramo de este carril se deberá proceder inmediatamente a la construcción de la cuneta lateral, se tiene que cumplir con todos los requerimientos para el terminado, curado, aserrado y sellado de juntas de acuerdo con la modulación y detalles respectivos.

En los sitios en donde se ejecutarán los trabajos de excavación, colocación de alcantarillas y rellenos, se debe realizar el control adecuado de la compactación a fin de que no se produzcan asentamientos posteriores. Luego se deberá realizar la colocación, conformación y compactación de la base granular, para a continuación colocar las losas de hormigón armado (con armadura superior e inferior) de acuerdo a la modulación correspondiente, con lo que se evitará el fisuramiento de las losas, debiendo ejecutar en una longitud correspondiente por lo menos a cuatro paneles.

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- En el pavimento rígido la transmisión de cargas no se realiza hacia todas las capas de la estructura del pavimento con la misma intensidad que en el pavimento flexible (ver figuras 1.3 y 1.4 del capítulo I), razón por la cual el pavimento rígido no necesita tener una estructura tan esbelta como el pavimento flexible.
- El pavimento rígido absorbe los mayores esfuerzos, razón por la cual, a la subrasante se transmiten pequeñas tensiones, lo que no sucede con el pavimento flexible, en donde la subrasante tiene que absorber grandes tensiones.
- Los pavimentos de hormigón son más durables, más versátiles, más económicos y por tanto más convenientes para el desarrollo nacional, motivo por el cual se halla abocado su estudio y divulgación.

- Hasta el año 2010, en el país se ha construido 1.118,54 km (13%) de vías en pavimento rígido, valor que para el año 2011 aumentará sustancialmente, en razón de que el Gobierno Nacional actual, ha dispuesto al Ministerio de Transporte y Obras Públicas que la rehabilitación y construcción de gran parte de la red vial del país se realice en pavimento rígido.
- Los métodos utilizados para el diseño del pavimento rígido son el AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials) y el PCA (Portland Cement Association), los cuales sirven para determinar el espesor de los pavimentos de concreto.
- El método que se acopla a las condiciones de la zona geográfica en estudio del tramo El Empalme – Celica de 20,30 km de la vía El Empalme – Celica – Alamor, y se utiliza para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles es el AASHTO.
- El área de influencia del proyecto, que tiene una altitud que varía entre 800 y 2700 metros, temperaturas que fluctúan entre 10°C y 20°C, las laderas tienen fuertes pendientes, por lo que, si se desestabiliza los taludes, se provocarían derrumbes en la vía durante el periodo invernal
- El Ministerio de Transporte y Obras Públicas, ha definido cinco categorías para clasificar las vías de acuerdo a las condiciones geotécnicas y morfológicas (relieve bastante montañoso y abrupto) de las zonas donde se desarrollan los proyectos, siendo la categoría I muy favorable, II favorable, III aceptable, IV problemática y V muy problemática. En base a estos parámetros, a esta vía se le categorizó en la zona IV, en vista de que el área de influencia del proyecto se halla afectada por los movimientos telúricos provocados por el acomodo de las placas tectónicas, que se ocasionan, por la falla geológica Alamor.

- El tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor, se le ha dividido en dos tramos para su análisis y diseño, debido a que el abscisado 0+000 - 8+500 (Tramo I) está constituido por materiales granulares A-2 (suelos buenos a regulares) y el abscisado 8+500 – 20+300 (Tramo II) está conformado por materiales arcillo – limosos A-6 y A-7 (suelos regulares, malos a muy malos).
- Actualmente, el tramo I tiene un ancho de vía de 7,30 m, una capa de rodadura de DTSB (Doble Tratamiento Superficial Bituminoso) de condiciones regulares y un CBR de 7,68 %; y, el Tramo II tiene un ancho de vía de 8,70 m, con capa de rodadura de DTSB que se encuentra en condiciones muy deterioradas y un CBR de 4,28 %.
- El periodo de retorno, para el diseño del Tramo El Empalme – Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor es de 30 años; debido a que al comparar el resultado del TPDA del año 1996, con el cual se realizó el diseño del pavimento flexible de la vía en mención, se observa, que es diferente al TPDA del año 2010 con el cual es diseñado el pavimento rígido; se obtienen porcentajes diferentes de los tipos de vehículos que circulan por esta vía, motivo por el cual no se puede obtener una proyección apegada a la realidad del tipo de vehículos que circularan durante los próximos años.
- Por ser la vía El Empalme – Celica – Alamor una vía colectora interurbana, y por su geología y morfología, se adopta un valor de confiabilidad (R) del 90%, desviación normal estándar (Zr) de -1,282, desviación estándar (So) de 0,35, serviciabilidad ( $\Delta$ PSI) de 2,5, coeficiente de drenaje (Cd) de 0,9, coeficiente de transmisión de carga (J) de 2,6, módulo de elasticidad de hormigón (psi) 1'352.320,30, módulo de rotura del hormigón (MR) 609,1585, carga de tráfico ( $W_{18}$ ) de 1'485.157,57, factor de pérdida de soporte (Ls) de 1 y módulos de reacción de la superficie en la que se apoya el pavimento (k) para el Tramo I desde 161 a 247 y para el Tramo II desde 123 a 196.

- Se ha determinado, el espesor de 20 cm de hormigón rígido para el Tramo I y Tramo II, a pesar de que el cálculo arroja valores que fluctúan entre 18.50 y 19.00 cm (Anexos 5 y 6), en razón de que los factores y coeficientes utilizados para el cálculo son valores tomados de las recomendaciones de la AASHTO.
- Como medida previa, En el tramo I (abscisa 0+000 – 8 + 500), se debe realizar el arreglo y preparación de la capa de rodadura de DTSB (doble tratamiento superficial bituminoso), cubriendo los baches y ahuellamientos con asfalto en frío debidamente compactado, hasta obtener una superficie uniforme que garantice un apoyo continuo de la capa de hormigón, para posteriormente colocar sobre la estructura existente una losa de hormigón de 20 cm (pavimento rígido).
- En el tramo II (abscisa 8 + 500 – 20 + 300), en donde los taludes no son mayores de 10 m en altura, la composición geológica y geotécnica (suelos finos del tipo SM y CL) de la zona es diferente al primer tramo y que la topografía del terreno no tiene desnivel muy pronunciados, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas ha considerado que se realice la ampliación de la vía. Tomando en cuenta que la vía existente en este tramo, está a nivel de DTSB (doble tratamiento superficial bituminoso) y que se encuentra deteriorada, se debe colocar Base Clase 1 – A, sobre la capa de rodadura existente y realizar la ampliación del ancho de la vía, construyendo cajoneras de acuerdo a las especificaciones MOP-001-F-2002.
- Las fuentes de material que servirán para la rehabilitación del Tramo El Empalme - Celica de la vía El Empalme – Celica – Alamor son: La mina de Santa Rosa, Mina Lucarqui, Cantera Tunahurco y la Cantera del km 9+000; las cuales cumplen con las Especificaciones Técnicas MOP-001-F-2002, en calidad y cantidad para la rehabilitación de esta vía.
- Para la fabricación de hormigón, el agregado grueso debe tener una granulometría que se encuentre entre  $\frac{3}{4}$ ” a  $1\frac{1}{2}$ ”, de acuerdo a la dosificación

del hormigón y de acuerdo a lo que establece las especificaciones MOP-001-F-2002.

- El hormigón que se debe utilizar en el pavimento rígido debe cumplir con las especificaciones de diseño, 4,2 Mpa de módulo de rotura a los 28 días.
- Para evitar la retracción del concreto y apareamiento de fisuras, es necesario realizar juntas transversales y longitudinales en toda el Tramo El Empalme – Celica – Alamor de 20,30 km de la vía El Empalme – Celica – Alamor. Las juntas longitudinales deben realizarse en el eje de la vía; y, las juntas transversales cada 4.00m en el Tramo I y a 4.60 m. en el tramo II.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Debido a la topografía del sector y las precipitaciones en la estación lluviosa, se debe completar el diseño, con obras complementarias de cunetas y subdrenes, que ayudaran al mantenimiento de la vía.
- El espesor para el pavimento rígido debe ser de 20 cm, con una base granular de 15 cm construida con agregados gruesos y agregados finos triturados en una 100 % y mezclados necesariamente en una planta central (base clase 1A), por las consideraciones expuestas en el estudio.
- El acero que se debe utilizar para las juntas, no se las fabrique en situ, sino se adquieran en el mercado nacional, lo que reducirá tiempos en la ejecución y por ende abaratará costos, debido a que se reduce mano de obra y se minimiza el desperdicio del acero de refuerzo.
- El hormigón debe elaborarse en una planta hormigonera, para garantizar la resistencia requerida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, a fin de

que cumpla con las normas establecidas en las especificaciones MOP-001-F-2002 y evitar problemas, cuando la vía entre en funcionamiento.

- Los agregados (gruesos y finos) que se utilicen para la elaboración del hormigón deben ser 100% triturados, a fin de que cumplan con las normas establecidas en las especificaciones MOP-001-F-2002.
- Hay que tener muy en cuenta el periodo invernal (diciembre –mayo), para que se tomen las medidas de seguridad, tanto para el personal y maquinaria que ejecutara los trabajos, como para el tránsito vehicular, a fin de evitar interrupciones en la circulación vial en el Tramo El Empalme – Celica de 20,30 km de la vía El Empalme – Celica – Alamor.

## **CAPITULO VI**

### **ANEXOS**

A continuación se presentan los anexos del diseño de pavimento rígido.

Anexo # 1

CÁLCULO DE CBR DE DISEÑO

DENOMINACIÓN	TRAMOS	
	0+000 - 7+400	7+400 - 27+700
MR (psi)	11286	6414
CBR	7.678	4.276

Elaborado por: Autor

**DONDE:**

Si $0 < \text{CBR} \leq 7.2$	el MR = $1500 \times \text{CBR}$	entonces CBR = $\text{MR}/1500$
Si $7.2 < \text{CBR} < 20$	el MR = $3000 \times \text{CBR}^{0.65}$	entonces CBR = $(\text{MR}/3000)^{(1/0.65)}$
Si $\text{CBR} \geq 20$	el MR = $4326 \times \text{LN}(\text{CBR}) + 241$	entonces CBR = $e^{(\text{MR} - 241)/4326}$

**NOTA:** Calculado en base a los datos del MR del Informe Técnico No. 001-2009

## Anexo # 2

### Volumen de Tráfico y Clasificación Vehicular

	Autos	Bus		Camion Dos Ejes		Camion Pesado		Tracto. Camión					TPDA
	Livianos	L.2 Ejes	P. 3 Ejes	L 2DA	P (2DB)	3 E(3A)	4E -4C	2S1	2S2	3S1	3S2	3S3	
Vehiculos	485	8	20	30	36	1	0	0	0	1	0	1	582
%	83.33	1.37	3.44	5.15	6.19	0.17	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.17	100.00

### Tasas de Crecimiento (calculada por el MTOP)

Tasas	Liv	Bus	Camion
1	4.47	2.22	2.18
10	3.97	1.97	1.94
20	3.25	1.62	1.58
30	3.25	1.62	1.58

### Proyecciones de Tráfico

Año	Autos	Bus	Camion Dos Ejes		Camion Pesado		Tracto. Camión					TPDA	
	Livianos	L.2 Ejes	P. 3 Ejes	L 2DA	P (2DB)	3 E(3A)	4E -4C	2S1	2S2	3S1	3S2		3S3
1	485	8	20	30	36	1	0	0	0	1	0	1	582
10	716	10	24	36	44	1	0	0	0	1	0	1	833
20	919	11	28	41	49	1	0	0	0	1	0	1	1051
30	1266	13	32	48	58	2	0	0	0	2	0	2	1423

### Número Acumulado de ESALS en el carril de D. y en el Periodo de D.

Año	Autos	Bus		Camion Dos Ejes		Camion Pesado		Tracto. Camión					TPDA
	Livianos	L.2 Ejes	P. 3 Ejes	L 2DA	P (2DB)	3 E(3A)	4E -4C	2S1	2S2	3S1	3S2	3S3	
F. Equiv	0.0092	3.4740	0.8810	0.5006	3.4740	5.3252	4.2254	6.6940	8.5452	8.5452	10.3964	8.6993	60.7695
1	816.97	5,072.04	3,215.65	2,740.79	22,824.18	971.85	-	-	-	1,559.50	-	1,587.62	38,788.60
10	9,795.00	55,461.31	351.62	29,928.64	249,233.95	10,612.33	-	-	-	17,029.31	-	17,336.41	389,748.57
20	22,519.17	118,680.12	75,242.65	63,878.67	531,956.44	22,650.60	-	-	-	36,346.78	-	37,002.24	908,276.67
30	40,480.72	193,952.45	122,964.96	104,161.15	867,413.13	36,934.28	-	-	-	59,267.40	-	60,336.20	1,485,510.30

Elaborado por: Autor

## Factores Equivalencia de Carga

P.T.=  
 ESPESOR =

2.5  
 225 mm

Tipos de Vehiculos	Tipo de Eje	Carga por Eje	Porcentaje %	Factor de Equi. Carga	Factor Camion Tf
Livianos	Simple	1.7	83.33	0.0017	0.0014
	Simple	2.5		0.0075	0.0063
				<b>0.0092</b>	<b>0.0077</b>
Buses	Simple	6	1.37	0.2540	0.0035
Mediano dos ejes	Simple	11		3.2200	0.0443
				<b>3.4740</b>	<b>0.0478</b>
Buses	Simple	6	3.44	0.2540	0.0087
Pesados tres ejes	Tandem	12		0.6270	0.0215
				<b>0.8810</b>	<b>0.0303</b>
Camiones	Simple	3	5.15	0.0151	0.0008
Livianos 2 ejes 2DA	Simple	7		0.4855	0.0250
				<b>0.5006</b>	<b>0.0258</b>
Camiones	Simple	6	6.19	0.2540	0.0157
Medianos 2 ejes (2DB)	Simple	11		3.2200	0.1992
				<b>3.4740</b>	<b>0.2149</b>
Camiones	Simple	6	0.17	0.2540	0.0004
Tres ejes (3A)	Tandem	20		5.0712	0.0087
				<b>5.3252</b>	<b>0.0091</b>
Camiones 4 ejes	Simple	8	0.00	0.8513	0.0000
4C	Tridem	24		3.3741	0.0000
				<b>4.2254</b>	<b>0.0000</b>
Tracto camion 2 ejes y	Simple	6	0.00	0.2540	0.0000
SR 1 eje - 2S1	Simple	11		3.2200	0.0000
	Simple	11		3.2200	0.0000
				<b>6.6940</b>	<b>0.0000</b>
Tracto camion 2 ejes y	Simple	6	0.00	0.2540	0.0000
SR 2 ejes - 2S2	Simple	12		3.2200	0.0000
	Tandem	20		5.0712	0.0000
				<b>8.5452</b>	<b>0.0000</b>
Tracto camion 3 ejes y	Simple	6	0.17	0.2540	0.0004
SR 1 eje - 3S1	Tandem	20		5.0712	0.0087
	Simple	11		3.2200	0.0055
				<b>8.5452</b>	<b>0.0147</b>
Tracto camion 3 ejes y	Simple	6	0.00	0.2540	0.0000
SR 2 eje - 3S2	Tandem	20		5.0712	0.0000
	Tandem	20		5.0712	0.0000
				<b>10.3964</b>	<b>0.0000</b>
Tracto camion 3 ejes y	Simple	6	0.17	0.2540	0.0004
SR 3 ejes - 3S3	Tandem	20		5.0712	0.0087
	Tridem	24		3.3741	0.0058
				<b>8.6993</b>	<b>0.0149</b>
<b>TOTALES</b>				<b>100.00</b>	<b>0.3652</b>

Elaborado por: Autor

### Tasa de Crecimiento considerando Porcentajes

Tasas	I. Cr
20	0.016
30	0.016

### Ejes Equivalentes

TPDA	582
Periodo diseño	30
Días por año	365
Distr. Dir.	0.5
Índice Crecimiento	1.58
F.Sc	1.00
F.Cr. Tráfico	38.015
F. Equ. Carga	0.3652
<b>N8.2=</b>	<b>1,474,564.57</b>

Elaborado por: Autor

### PROYECCIÓN DEL TRÁFICO Y CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES

DATOS :		
PERIODO DE DISEÑO (años) :	30	1
CRECIMIENTO ANUAL DE LIVIANOS (%) :	3.25	4.47
CRECIMIENTO ANUAL DE BUSES (%) :	1.62	2.22
CRECIMIENTO ANUAL DE CAMIONES (%) :	1.58	2.18
FACTOR DE CRECIMIENTO DE LIVIANOS :	49.55	1.00
FACTOR DE CRECIMIENTO DE BUSES :	38.24	1.00
FACTOR DE CRECIMIENTO DE CAMIONES :	38.00	1.00
% DISTRIBUCION DIRECCIONAL :	50	
% VEH. PESADOS EN CARRIL DE DISEÑO :	100	

TIPOS DE VEHICULOS	TRÁFICO DIARIO	TRÁFICO DE DISEÑO	FACTOR DE EJES EQUIV.	NO. DE EJES EQUIV. 8,2 ton.	TRÁFICO DE DISEÑO AÑO 1	TRÁFICO DIAR. FIN
LIVIANOS	485.00	4,385,776.51	0.0092	40,480.72	88,512.50	816.97
BUSES MEDIANOS DOS EJES	8.00	55,829.72	3.4740	193,952.45	1,460.00	5,072.04
BUSES PESADOS TRES EJES	20.00	-	0.8810	-	-	-
CAMIONES 2DA LIVIANOS	30.00	208,072.62	0.5006	104,161.15	5,475.00	2,740.79
CAMIONES PESADOS 2DB	36.00	249,687.14	3.4740	867,413.13	6,570.00	22,824.18
CAMIONES TRES EJES 3A	1.00	6,935.75	5.3252	36,934.28	182.50	971.85
CAMIONES CUATRO EJES 4C	-	-	4.2254	-	-	-
TC 2 EJES Y SR 1EJE -2S1	-	-	6.6940	-	-	-
TC 2 EJES Y SR 2 EJES - 2S2	-	-	8.5452	-	-	-
TC 3 EJES Y SR 1 EJE - 3S1	1.00	6,935.75	8.5452	59,267.40	182.50	1,559.50
TC 3 EJES Y SR 2 EJES - 3S2	-	-	10.3964	-	-	-
TC 3 EJES Y SR 3 EJES - 3S3	1.00	6,935.75	8.6993	60,336.20	182.50	1,587.62
<b>TOTAL DE VEHICULOS</b>	<b>582.00</b>		<b>TOTAL DE EJES</b>	1,362,545.34		35,572.95

Elaborado por: Autor

### Ejes equivalentes en el Tiempo

NUMERO DE AÑOS	EJES ACUMULADOS
1	35,573
2	71,709
3	108,416
4	145,704
5	183,582
6	222,059
7	261,145
8	300,849
9	341,181
<b>10</b>	382,151
11	423,769
12	466,046
13	508,991
14	552,616
15	596,931
16	641,947
17	687,675
18	734,127
19	781,313
<b>20</b>	829,246
21	877,937
22	927,398
23	977,641
24	1,028,680
25	1,080,526
26	1,133,192
27	1,186,691
28	1,241,037
29	1,296,242
<b>30</b>	<b>1,352,320</b>

Elaborado por: Autor



Elaborado por: Autor

**Anexo # 3**

**DETERMINACION DEL MODULO DE REACCION K DE LA SUPERFICIE (Combinado)**

		Con subbase granular				
K (MPa/m)	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	
		7.68	0	44	161	4
K (MPa/m)	51					
	<b>Corrección con Ls</b>		16	<b>59</b>	2	2

		Con subbase granular				
K (MPa/m)	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	
		7.68	100	53	195	5
K (MPa/m)	51					
	<b>Corrección con Ls</b>		19	<b>70</b>	2	2

		Con subbase granular				
K (MPa/m)	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	
		7.68	120	56	205	6
K (MPa/m)	51					
	<b>Corrección con Ls</b>		20	<b>74</b>	2	2

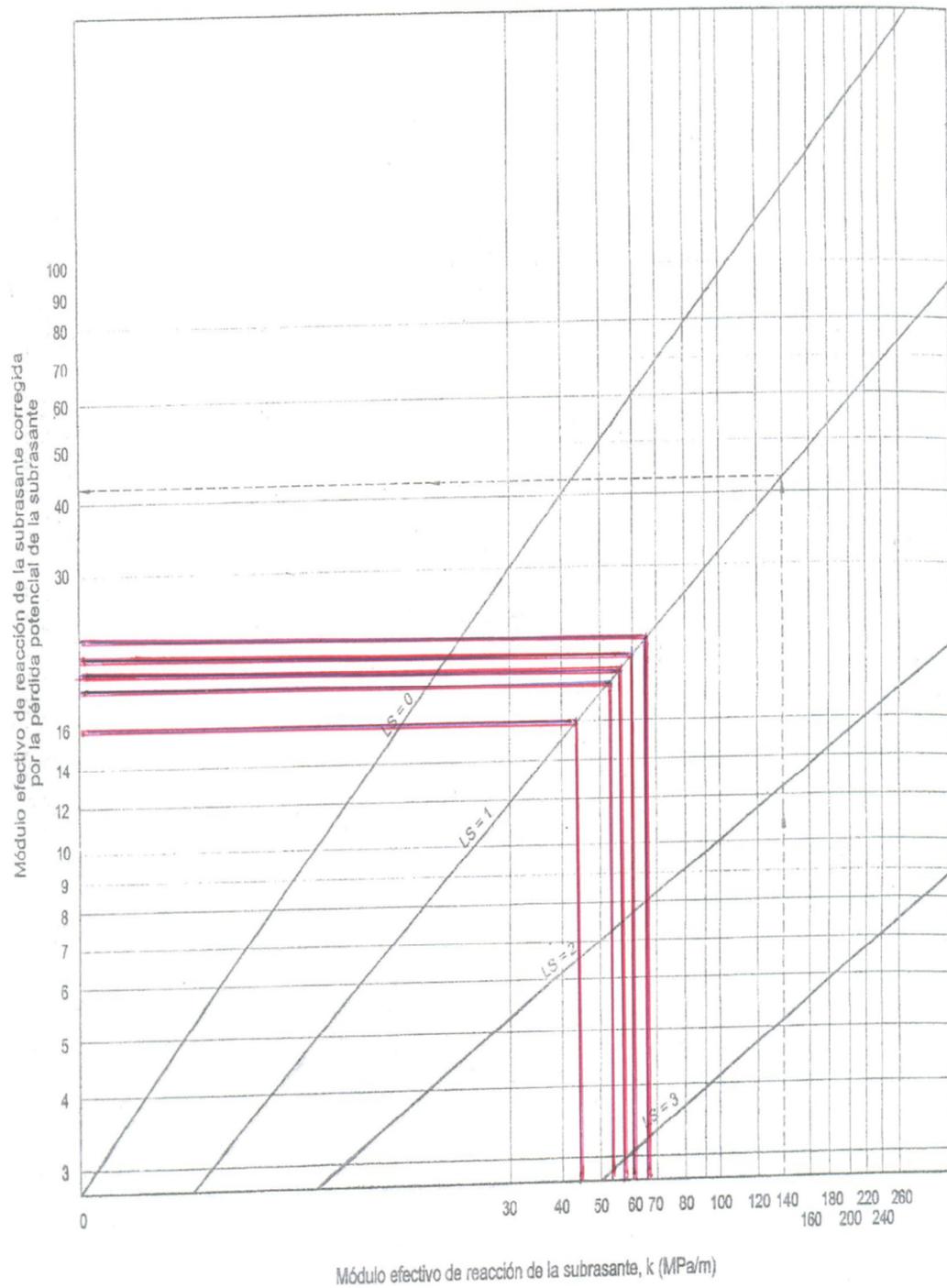
  

		Con subbase granular				
K (MPa/m)	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	
		7.68	150	60	220	6
K (MPa/m)	51					
	<b>Corrección con Ls</b>		21	<b>77</b>	2	2

		Con subbase granular				
K (MPa/m)	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)	
		7.68	200	67	247	7
K (MPa/m)	51					
	<b>Corrección con Ls</b>		23	<b>85</b>	2	2

Elaborado por: Autor



**Fuente:** Montejo Alfonso; 2008  
**Elaborado por:** Autor

Anexo # 4

**DETERMINACION DEL MODULO DE REACCION K DE LA SUPERFICIE (Combinado)**

		Con subbase granular			
	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)
	4.28	0	34	123	3   3
K (MPa/m)	39				
	<b>Corrección con Ls</b>		13	<b>48</b>	1   1

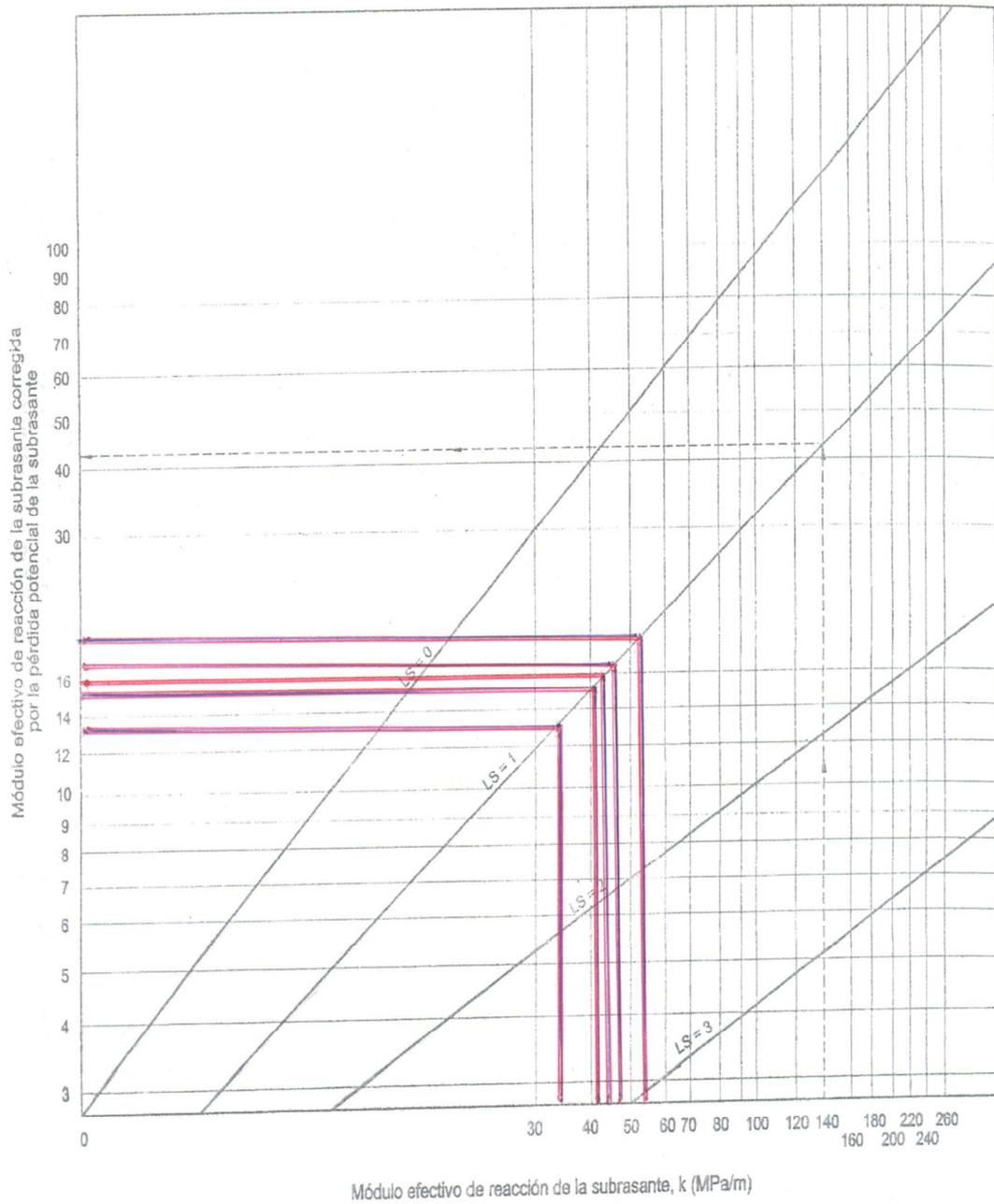
		Con subbase granular			
	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)
	4.28	100	41	152	4   4
K (MPa/m)	39				
	<b>Corrección con Ls</b>		15	<b>55</b>	2   2

		Con subbase granular			
	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)
	4.28	120	43	160	4   4
K (MPa/m)	39				
	<b>Corrección con Ls</b>		16	<b>59</b>	2   2

		Con subbase granular			
	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)
	4.28	150	47	173	5   5
K (MPa/m)	39				
	<b>Corrección con Ls</b>		17	<b>63</b>	2   2

		Con subbase granular			
	CBR de subrasante (%)	Altura (mm)	K (MPa/m)	K (pci) o psi/pulg	K (kg/cm <sup>2</sup> /cm)
	4.28	200	53	196	5   5
K (MPa/m)	39				
	<b>Corrección con Ls</b>		19	<b>70</b>	2   2

Elaborado por: Autor



**Fuente:** Montejo Alfonso; 2008  
**Elaborado por:** Autor

### Anexo # 5

#### DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - VIDA ÚTIL 30 AÑOS TRAMO: EMPALME - CELICA (Absc = 0 + 000 a la 8 + 500)

CBR = 7.68

PARAMETROS PAVIMENTO RÍGIDO	SÍMBOLO	SUBBASE GRANULAR				
		0" (0 cm)	4" (10 cm)	5" (12 cm)	6" (15 cm)	8" (20 cm)
CARGA DE TRAFICO	W <sub>18</sub>	<b>1,352,320.30</b>	1,352,320.30	1,352,320.30	1,352,320.30	1,352,320.30
CONFIABILIDAD	CONF	<b>90%</b>	90%	90%	90%	90%
DESV. ESTANDAR	So	<b>0.35</b>	0.35	0.35	0.35	0.35
INDICE DE SERVICIO						
	INICIAL Po	<b>4.50</b>	4.50	4.50	4.50	4.50
	FINAL Pt	<b>2.00</b>	2.00	2.00	2.00	2.00
Módulo efectivo de la subrasante	k psi/in (pci)	<b>161</b>	195	205	220	247
Módulo efectivo de la subrasante aplicado el factor Ls	k psi/in (pci)	<b>49</b>	58	59	63	70
Resistencia del Hormigón f'c = 380kg/cm <sup>2</sup> (≥350kg/cm <sup>2</sup> )	psi	<b>5,404</b>	5,404	5,404	5,404	5,404
Módulo rotura horm. S'c = 4,2 Mpa (≥4,00 Mpa)	psi	<b>609.1585</b>	609.1585	609.1585	609.1585	609.1585
Módulo Elástico Ec	psi	<b>4,850,979.55</b>	4,850,979.55	4,850,979.55	4,850,979.55	4,850,979.55
Coefficiente de Drenaje Cd	ad.	<b>0.90</b>	0.90	0.90	0.90	0.90
Coef. Transm. Cargas	J	<b>2.60</b>	2.60	2.60	2.60	2.60

#### CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA

$$\log_{10} W_{18} = Z_1 * S_o + 7.35 * \log_{10}(D + 21) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{1.624 * 10^7} \right]}{1 + \frac{1.624 * 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_T) * \log_{10} \left[ \frac{S'c * Cd * [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 * J * \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}} \right]} \right]$$

Espesor de losa para tanteo (Pulgadas)	7.36620	7.31160	7.30600	7.28350	7.24620
ZR	-1.2820	-1.2820	-1.2820	-1.2820	-1.2820
ZR . So	-0.4487	-0.4487	-0.4487	-0.4487	-0.4487
7,35*LOG(D+1)	6.7806	6.7597	6.7575	6.7489	6.7345
$\Delta$ PSI ( $\Delta$ PSI)	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
LOG ( $\Delta$ PSI/(4,5-1,5))	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0792
$1+1,625*10^7/(D+1)^{8,46}$	1.2548	1.2694	1.2709	1.2772	1.2880
Fracción 1	-0.0631	-0.0624	-0.0623	-0.0620	-0.0615
4,22-0,32 pt	3.5800	3.5800	3.5800	3.5800	3.5800
S'c Cd ( $D^{0,75}-1,132$ )	1830.7400	1817.0999	1815.6994	1810.0700	1800.7281
$(K / Ec)^{0,25}$	0.0564	0.0588	0.0591	0.0600	0.0616
Denominador	1924.5851	1885.5694	1881.5365	1865.6961	1839.5967
LOG W18 CALCULADO	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311
LOG W18	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311

<b>ESPESOR DE LOSA CALCULADO (cm)</b>	<b>18.71</b>	18.57	18.56	18.50	18.41
<b>ESPESOR DE LOSA ADOPTADO (cm)</b>	<b>20.00</b>	20.00	20.00	20.00	20.00

Elaborado por: Autor

**Anexo # 6**

**DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO - VIDA ÚTIL 30 AÑOS  
ALAMOR TRAMO: EMPALME - CELICA (Absc = 8 + 500 a la 20 + 300)**

**CBR = 4.28**

PARAMETROS PAVIMENTO RÍGIDO	SÍMBOLO	SUBBASE GRANULAR				
		0" (0 cm)	4" (10 cm)	5" (12 cm)	6" (15 cm)	8" (20 cm)
CARGA DE TRAFICO	W <sub>18</sub>	<b>1,352,320.30</b>	1,352,320.30	1,352,320.30	1,352,320.30	1,352,320.30
CONFIABILIDAD	CONF	<b>90%</b>	90%	90%	90%	90%
DESV. ESTANDAR	So	<b>0.35</b>	0.35	0.35	0.35	0.35
INDICE DE SERVICIO						
	INICIAL Po	<b>4.50</b>	4.50	4.50	4.50	4.50
	FINAL Pt	<b>2.00</b>	2.00	2.00	2.00	2.00
Módulo efectivo de la subrasante	k psi/in (pci)	<b>123</b>	152	160	173	196
Módulo efectivo de la subrasante aplicado el factor Ls	k psi/in (pci)	<b>39</b>	46	49	52	58
Resistencia del Hormigón f'c = 380kg/cm <sup>2</sup> (≥350kg/cm <sup>2</sup> )	psi	<b>5,404</b>	5,404	5,404	5,404	5,404
Módulo rotura horm. S'c = 4,2 Mpa (≥4,00 Mpa)	psi	<b>609.1585</b>	609.1585	609.1585	609.1585	609.1585
Módulo Elástico Ec	psi	<b>4,850,979.55</b>	4,850,979.55	4,850,979.55	4,850,979.55	4,850,979.55
Coeficiente de Drenaje Cd	ad.	<b>0.90</b>	0.90	0.90	0.90	0.90
Coef. Transm. Cargas	J	<b>2.60</b>	2.60	2.60	2.60	2.60

**CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA LOSA**

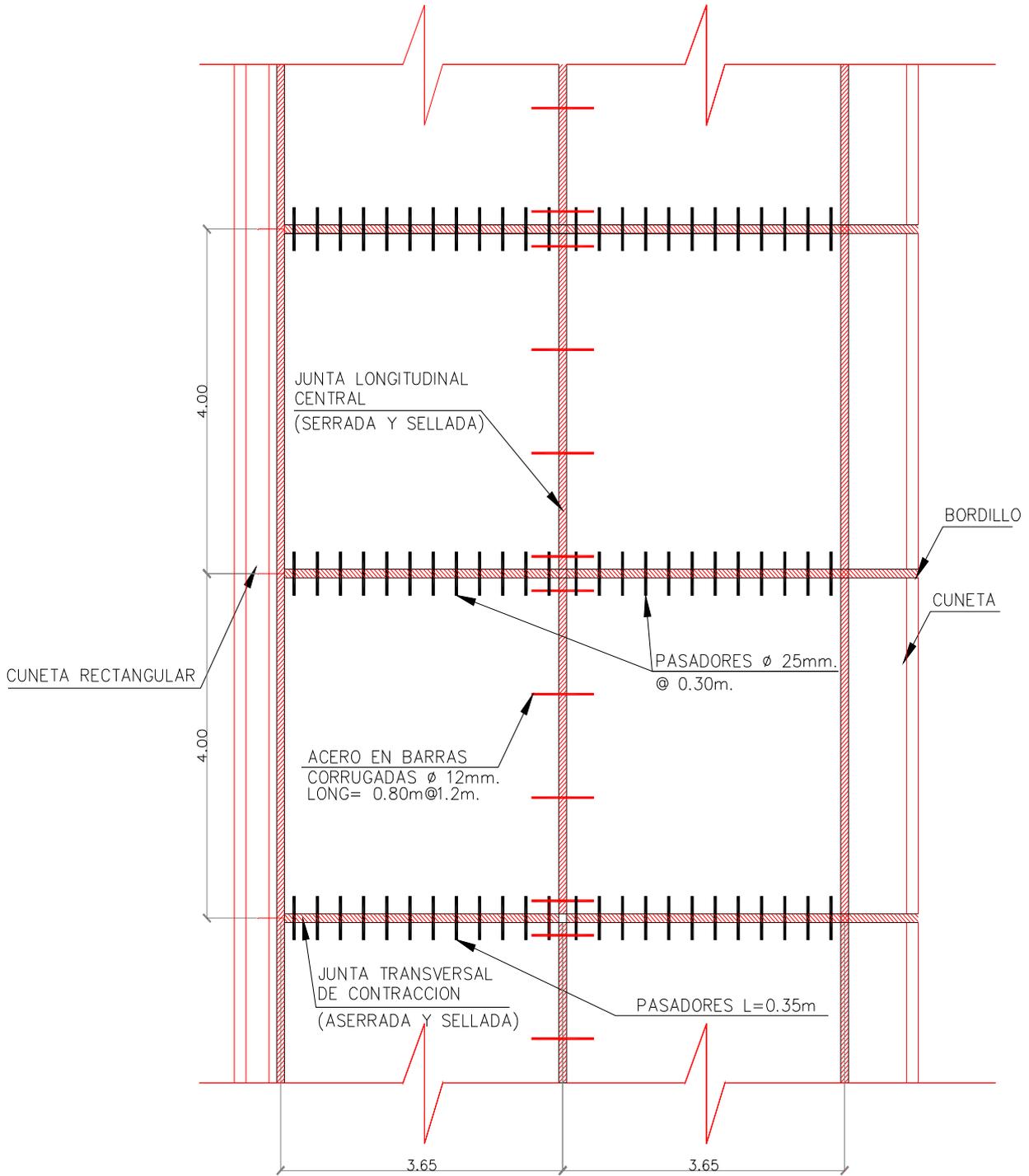
$$\log_{10} W_{18} = Z_1 \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 21) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'c \times Cd \times [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 \times J \times \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{Ec}{k}\right)^{0.25}} \right]} \right]$$

Espesor de losa para tanteo (Pulgadas)	7.43510	7.38590	7.36640	7.34740	7.31150
ZR	-1.2820	-1.2820	-1.2820	-1.2820	-1.2820
ZR . So	-0.4487	-0.4487	-0.4487	-0.4487	-0.4487
7,35*LOG(D+1)	6.8068	6.7881	6.7807	6.7734	6.7596
$\Delta$ PSI ( $\Delta$ PSI)	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000	2.5000
LOG ( $\Delta$ PSI/(4,5-1,5))	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0792	-0.0792
$1+1,625*10^7/(D+1)^{8,46}$	1.2378	1.2498	1.2548	1.2597	1.2694
Fracción 1	-0.0640	-0.0634	-0.0631	-0.0629	-0.0624
4,22-0,32 pt	3.5800	3.5800	3.5800	3.5800	3.5800
S'c Cd ( $D^{0,75}-1,132$ )	1847.9166	1835.6553	1830.7899	1826.0463	1817.0749
$(K / E_c)^{0,25}$	0.0532	0.0555	0.0564	0.0572	0.0588
Denominador	1974.4423	1938.7348	1924.6362	1911.0718	1885.5438
LOG W18 CALCULADO	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311
LOG W18	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311	6.1311

<b>ESPESOR DE LOSA CALCULADO (cm)</b>	<b>18.89</b>	18.76	18.71	18.66	18.57
<b>ESPESOR DE LOSA ADOPTADO (cm)</b>	<b>20.00</b>	20.00	20.00	20.00	20.00

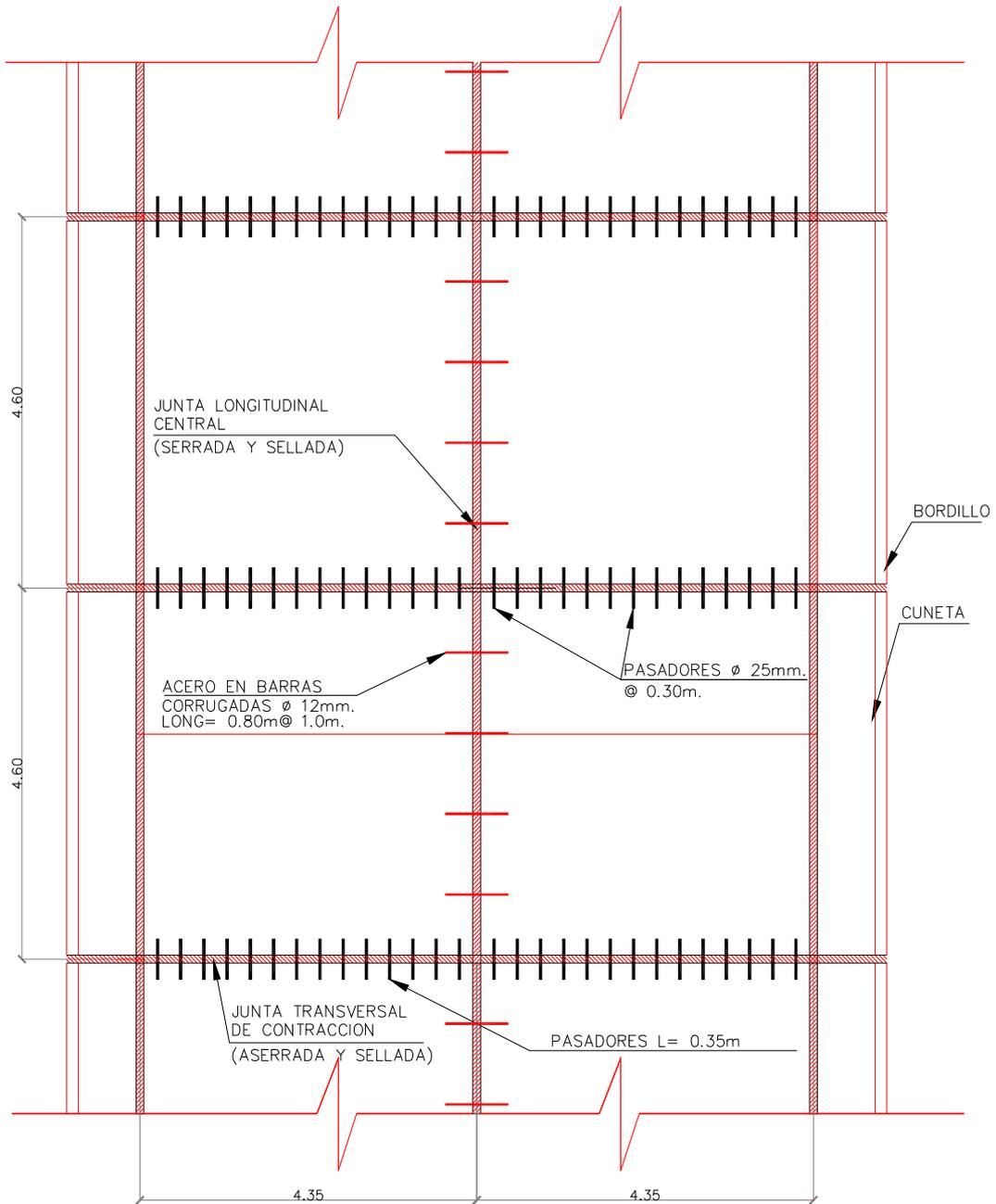
Elaborado por: Autor

**Anexo # 7**  
**Disposición de las juntas transversales y longitudinales**  
**Tramo I (absc. 0+000 – 8+500)**



Elaborado por: Autor

**Anexo # 8**  
**Disposición de las juntas transversales y longitudinales**  
**Tramo II (absc. 8+500 – 20+300)**



Elaborado por: Autor

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ ACI. *SEMINARIO TÉCNICO ACI PISOS DE HORMIGÓN*. 1997.
- ❖ Asociación Colombiana de Productos de Concreto. *PRÁCTICAS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO*.- Asocreto.- 2008.- Bogotá.
- ❖ Asociación Viastra – Geovial. *ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO*.- 1999.- Quito
- ❖ Asociación Viastra – Geovial. *ESTUDIO DE SUELOS Y DISEÑO DE PAVIMENTOS*.- 1999.- Quito
- ❖ Asociación Viastra – Geovial. *ESTUDIO DE DISEÑO DE SUELO – CEMENTO*.- 1999.- Quito
- ❖ Asociación Viastra – Geovial. *INFORME EJECUTIVO*.- 1999.- Quito
- ❖ Asociación Viastra – Geovial. *DISEÑO DE TALUDES*.- 1999.- Quito
- ❖ Balarezo Luis. *INFORME TÉCNICO PARA LA REHABILITACIÓN Y REFORZAMIENTO DE LA VÍA EL EMPALME – CELICA – ALAMOR*.- Cuerpo de Ingenieros de Ejército.- 2010.- Quito
- ❖ Instituto del Concreto. *CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS (TOMO DEL 1 AL 5)*.- Asocreto.- 2008.- Bogotá.
- ❖ Ministerio de Transporte y Obras Públicas.- *INFORME FINAL DE INGENIERÍA*.- MOP.-1999.- Quito.
- ❖ Ministerio de Transporte y Obras Públicas.- *ESTUDIO DEL TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL*.- MOTP.-2010.- Quito

- ❖ Ministerio de Transporte y Obras Públicas.- *ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS Y PUENTES MOP-001-F-2002.*- MOP.-2002.- Quito.
- ❖ Montejo Fonseca, Alfonso.- *INGENIERÍA DE PAVIMENTOS, FUNDAMENTOS, ESTUDIOS BÁSICOS Y DISEÑO (TERCERA EDICIÓN)*, Universidad Católica de Colombia.- 2006.- Bogotá D.C.
- ❖ Pagina web: <http://maps.google.es/>  
[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)  
[www.wikipedia.org/wiki/Carreteras\\_de\\_Ecuador](http://www.wikipedia.org/wiki/Carreteras_de_Ecuador)
- ❖ Portland Cement Association, PCA.- *DISEÑO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO (PRIMERA EDICIÓN).*- 2004.- México.
- ❖ Valverde C., Mérriman.- *INFORME TÉCNICO No. 001-2009.*- 2009.- Quito