

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO
DE LOSAS CORTAS EN PAVIMENTOS RIGIDOS Y
SUS DETERIOROS EN TRES (3) CALLES DE
PUCALLPA (La Unión, Amazonas y Aviación),
UCAYALI 2017”.**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
ERICK PAOLO RODRIGUEZ GONZALES.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**PUCALLPA - PERÚ
AÑO: 2017**

DEDICATORIA:

PRIMERO AGRADECER A DIOS MI
CREADOR

Y A MIS PADRES POR SU
INCONDICIONAL APOYO,

A LOS DOCENTES DE LA UAP QUE
ME FORMARON PARA SER UN
PROFESIONAL DIGNO PARA LA
SOCIEDAD.

AGRADECIMIENTOS:

A mis padres por el apoyo e impulso para poder llegar a esta meta.

A la Universidad Alas Peruanas y a su plana docente por darme los conocimientos durante mi formación profesional.

A mi asesor Ing. Gabriel Salas Dávila.

A mis compañeros de la promoción 2015 que serán inolvidables en el recuerdo.

A todos los que me apoyaron en forma incondicional para lograr esta meta.

INDICE	
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
1. RESUMEN.....	ix
2. ABSTRACT.....	x
3. INTRODUCCIÓN.....	xi
4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	
4.1. Descripción de la realidad problemática.....	01
4.2. Delimitaciones y definición del problema.....	01
4.2.1 Delimitaciones: Espacial, Temporal, Social y conceptual.....	01
A, Delimitación espacial.....	01
B. Delimitación temporal.....	01
C. Delimitación Social.....	02
D. Delimitación conceptual.....	02
4.3 Definición del problema.....	02
4.4. Formulación del Problema.....	03
4.4.1. Problema Principal.....	03
4.4.2. Problemas Específicos.....	03
5. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	03
5.1. Objetivo General.....	03
5.2 Objetivos Específicos.....	03
6. MARCO TEÓRICO.....	05
6.1 Antecedentes Nacionales.....	05
6.2 Antecedentes Internacionales.....	06

7	TRABAJO DE CAMPO.....	25
7.1	Descripción general de los pavimentos.....	25
8.	RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	69
9.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y OBSERVACIÓN.....	71
9.1	Resultados.....	71
9.2	Interpretación del análisis del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos.....	71
9.3	Análisis de incidencia económica.....	73
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
10.1	Conclusiones.....	74
10.2	Recomendaciones.....	74
11.	BIBLIOGRÁFIAS.....	76
12.	ANEXOS.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01: Componentes estructurales de los pavimentos asfálticos y Pavimentos Rígidos.....	27
Figura N°02: Detalle del método constructivo de juntas para PR S, sin elementos de Transferencia de Carga.....	31
Figura N° 03: Detalle del Método constructivo de refuerzo en juntas para PR S, con elementos de Transferencia de Carga o Pasadores.....	32
Figura N° 04: Detalle del Método constructivo del refuerzo en PR RA.....	33
Figura N° 05: Detalle del Método constructivo de refuerzo estructural para PR RA.....	34
Figura N° 06: Detalle del Método constructivo de refuerzo estructural continuo para PR RC.....	35
Figura N° 07: Alabeo en losas cortas y largas debido al gradiente térmico.....	39
Figura N° 08: Alabeo en losas por cambios en gradientes térmicos.....	40
Figura N° 09: Forma Inicial en que actúan las fuerzas de alabeo en losas.....	41
Figura N° 10. Forma en que actúan las fuerzas de alabeo en el nuevo Dimensionamiento de losas y su longitud.....	41
Figura N° 11. Ubicación de la deformación por alabeo en las losas largas.....	42
Figura N° 12. Ubicación de la deformación por alabeo en las losas cortas.....	42
Figura N° 13: Ubicación del punto de falla a corte provocada por la deformación de alabeo.....	43
Figura N° 14: Forma constructiva tradicional de juntas para continuidad constructiva del pavimento.....	45
Figura N° 15: Forma constructiva nueva de junta sencilla para la continuidad del pavimento.....	45
Figura N° 16: Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas largas rectangulares de 450 X 350cm.....	46
Figura N° 17: Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas cortas cuadradas de 180cm.....	47
Figura N° 18: Junta transversal de construcción.....	49
Figura N° 19: Construcción junta longitudinal con formaleta.....	50
Figura N° 20: Detalle de junta de expansión Tipo1.....	51
Figura N° 21: Detalle construcción de juntas de expansión o continuidad Tipo 2.....	52

Figura N° 22. Detalle de construcción de junta en estructuras existentes caso de estructura de puente, y paso peatonal.....	52
Figura N° 23: Puntos de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con alabeo existente en losas.....	54
Figura N° 24: Comparación inversión versus tiempo entre estructura durable y no durable.....	69
Figura N° 25: Excavación del terreno natural con fines de cimentación.....	78
Figura N° 26: Excavación del terreno para cimentación.....	78
Figura N° 27: Preparación del suelo para amentar la capacidad portante del terreno.....	79
Figura N° 28: Tendido del geotextil para evitar contaminación de los materiales finos con la base granular.....	79
Figura N° 29: Riego y compactación de la capa de base granular.....	80
Figura N° 30: Riego y compactación de la capa de base granular.....	80
Figura N° 31: Ensayo de densidad de campo, para medir el grado de compactación de la capa de pavimento.....	81
Figura N° 32: Ensayo de densidad de campo, para medir el grado de compactación de la capa de pavimento.....	81
Figura N° 33: Encofrado y enmallado de losas cortas en los pavimentos rígidos.....	82
Figura N° 34: Encofrado y enmallado de losas cortas en los pavimentos rígidos.....	82
Figura N° 35: Vaciado de concreto en las losas cortas de los pavimentos rígidos.....	83
Figura N° 36: Vaciado de concreto en las losas cortas de los pavimentos rígidos.....	83
Figura N° 37: Curado del concreto con aditivo plastificante para evitar la evaporación del contenido de humedad del concreto.....	84
Figura N° 38: Curado del concreto con aditivo plastificante para evitar la evaporación del contenido de humedad del concreto.....	84
Figura N° 39: Corte con maquinaria en las juntas de contracción de las losas cortas de los pavimentos rígidos.....	85
Figura N° 40: Corte con maquinaria en las juntas de contracción de las losas cortas de los pavimentos rígidos.....	85
Figura N° 41: Limpieza y sellado de juntas de contracción y dilatación.....	86
Figura N° 42: Limpieza y sellado de juntas de contracción y dilatación.....	86
Figura N° 43: Pintando la señalización del pavimento rígido.....	87
Figura N° 44: Pintando la señalización del pavimento rígido.....	87

Figura N° 45: Limpieza final de la obra.....	88
Figura N° 46: Obra concluida.....	88

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 01. Clasificación del grado de deterioro en función del número de fallas localizada.....	13
Tabla N° 02: Condición física y estructural de los pavimentos en evaluación.....	70

1. RESUMEN

El informe que se presenta a continuación, se refiere a la evaluación y análisis de las características del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos, desde el punto de vista teórico mecánico respecto a la distribución de cargas en el dimensionamiento propuesto de losas, y poder establecer diferencias y ventajas de la utilización de dicho método.

La información que se tiene respecto a las características del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos será complementada con la información de las características generales existentes de este tipo de pavimento, se incluyen también especificaciones regionales para la construcción de los mismos en Ucayali y Perú.

Se analiza el comportamiento estructural de una serie de pavimentos en Ucayali, en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo de losas cortas, principalmente en la rehabilitación de carreteras, mostrando contaminación y fallas preliminares en los mismos y que promueven mantenimientos prematuros de los mismos.

Se establece por medio del análisis de índices unificados de precios, que existe incidencia económica en el mercado de la construcción, motivado por el aumento del precio del cemento, como consecuencia del aumento de demanda cuando se construye este tipo de pavimentos, promoviendo la regulación de la construcción masiva de los mismos, y el aumento de proveedores de materiales que se emplean en su construcción.

Palabras claves: Constructivo, Losas, Pavimentos, Rígidos.

2. ABSTRACT

The document which is presented below, contains the evaluation and analysis of the characteristics of the constructive method of short slabs in rigid pavement, from the mechanical point of view theory regarding the distribution of loads on the sizing proposed slabs, and to establish differences and advantages of the use of this method. Information that has the properties of the constructive method of short slabs in rigid pavements will be complemented with the information of the existing of this type of pavement characteristics, specifications are also included regional construction in Peru and Ucayali.

Analyzes the structural behavior of a series of pavements in Ucayali, which has been in practice the constructive method of short slabs, mainly in the rehabilitation of roads, showing contamination and preliminary faults in them and that promote premature maintenance thereof. Is set by means of the analysis of relative price indexes, existing economic impact in the construction market, driven by the increase in the price of cement, as a result of the increase in demand when building this type of flooring, promoting the massive construction of the same regulation, and the increase of suppliers of materials used in its construction.

Key words: constructive, slabs, pavements, rigid.

3. INTRODUCCIÓN

La investigación realizada permite dar a conocer uno los métodos constructivos de pavimentos que en la actualidad se emplean en Ucayali, utilizados para la rehabilitación y construcción de pavimentos de concreto rígido; la base científica que origina su aplicación, y su método de aplicación constructivo; Se expone la importancia que tiene el método constructivo de losas cortas como innovación, y la obligatoriedad de realizar evaluaciones constantes para verificar el desempeño de los pavimentos en los cuales se ha puesto a prueba dicho método.

Se presenta las características generales, ubicación y localización de los pavimentos en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo, se realizan evaluaciones en cada uno de los pavimentos, estableciendo el grado de deterioro que presentan desde su construcción o inicio de servicio, este informe; da a conocer la importancia de llevar los controles respectivos para el mantenimiento de los pavimentos.

Fueron realizados análisis de las incidencias económicas como medio ambientales generadas cuando se construyen de forma masiva pavimentos Rígidos, dejando la inquietud de establecer medios que disminuyan los impactos generados por dichas incidencias.

La investigación se enmarca en el tipo de investigación no experimental y para el nivel se ubica en una investigación descriptiva (Hernández, Fernández y Baptista 1997), que indica que no está sujeto al uso de descriptivos estadísticos como una prueba de hipótesis y otras pruebas estadísticas para determinar la significación estadística.

El informe se presenta en diez (10) puntos, estos son: Resumen, Abstract, Introducción, Formulación del problema de investigación, Formulación de los objetivos de la investigación, Marco teórico, Trabajo de campo, Resultados del desarrollo de la investigación, Discusión de los resultados, observaciones, Conclusiones y recomendaciones. Además presenta una revisión de literatura y anexos.

4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad problemática.

En los últimos años se nota una creciente necesidad, por mejorar las vías a través de la pavimentación, para permitir un desplazamiento fluido de vehículos y peatones con seguridad. Las calles o avenidas que se encuentran en malas condiciones generan diversos problemas de contaminación por presencia de polvo y charcos que se producen en la temporada de lluvias.

Las principales fallas en la construcción de pavimentos rígidos es el diseño de los mismos, aunado a esto las fallas o deterioros que puedan presentar como son las fisuras, baches, erosiones, escalonamientos y alabeos.

Por lo mencionado líneas arriba se ha programado la investigación titulada: “Evaluación del proceso constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos y sus deterioros en tres (3) avenidas de Pucallpa, estas son: La Unión, Amazonas y Aviación”.

4.2. Delimitaciones y definición del problema.

4.2.1 Delimitaciones: Espacial, Temporal, Social y conceptual

A. Delimitación espacial

El trabajo de investigación se llevó a cabo en las avenidas: La Unión, Av. Amazonas y la Av. Aviación, correspondiente a la jurisdicción de la provincia de Coronel Portillo, Departamento de Ucayali.

Para ello se realizó la evaluación del proceso constructivo de losas cortas y sus deterioros, para conocer las ventajas sobre los procesos de construcción empleados tradicionalmente.

B. Delimitación temporal.

La investigación se inició el mes de Enero del 2017, posterior a la aprobación del plan de investigación, luego se culminó la fase de campo en el mes de diciembre del 2017, para después consolidar los resultados con las correcciones del caso, para posteriormente realizar la sustentación del mismo. Total doce (12) meses.

C. Delimitación Social.

Los datos a obtener en el presente trabajo serán de importancia no solo para los conductores o pobladores de la ciudad, que son los principales beneficiarios, sino que también para las autoridades que corresponda al mejoramiento de las vías, ya que se podrán tomar mejores decisiones en lo que respecta al proceso constructivo.

En la ejecución de esta investigación participaron la Universidad Alas Peruanas (tesista y asesor), Vecinos de las avenidas en estudio y funcionarios del gobierno regional con información.

D. Delimitación conceptual.

Los estudios adquiridos durante el proceso de formación profesional en la escuela profesional de Ingeniería de la universidad Alas Peruanas, filial Pucallpa; ha permitido contar con los conceptos y definiciones de los términos a usar en esta investigación como son:

- Proceso constructivo de losas cortas.
- Pavimentos.
- Tipo de pavimentos.
- Características fundamentales que debe cumplir un pavimento.
- Deterioros de los pavimentos.

4.3 Definición del problema

Realizando un recorrido por las calles en evaluación se nota un deterioro rápido en pavimento rígido de ahí la importancia de evaluar las ventajas a partir de la evaluación de las características del uso del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos para las avenidas: La Unión, Jr. Amazonas y Av. Aviación.

Para ello es posible establecer la eficiencia y funcionalidad del método constructivo de pavimentación con losas cortas en pavimentos rígidos y evaluar visualmente los estados de deterioros de las vías en estudio, también es necesario

conocer si el costo de las losas son factible el uso para un procedimiento constructivo.

4.4. Formulación del Problema.

4.4.1. Problema Principal.

¿Qué ventajas se tiene a partir de la evaluación de las características del uso del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos y sus deterioros de las avenidas: La Unión, Amazonas y Aviación?

4.4.2. Problemas Específicos

¿Es posible establecer la eficiencia y funcionalidad del método constructivo de pavimentación con losas cortas en pavimentos rígidos?

¿Es viable la evaluación visual para la determinación de los estados de deterioros de las vías en estudio?

¿Económicamente será factible el uso de este procedimiento constructivo?

5. FORMULACIÓN DE OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Determinar el método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos, la base teórica, las características de su evaluación y el método de construcción.

5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la eficiencia y características de beneficio estructural que otorga el método constructivo de losas cortas, por medio de la evaluación de pavimentos construidos en Ucayali.

- Establecer las características presentes de deterioro de los pavimentos construidos en Ucayali con el método constructivo de losas cortas considerando la evaluación de tramos carreteros de carácter relevantes construidos en el país.
- Establecer la necesidad existente de utilizar y renovar equipos para el control de calidad de pavimentos Rígidos construidos con el método de losa cortas y la capacitación adecuada del personal que los construye.
- Establecer la necesidad de evaluar económicamente la construcción de pavimentos Rígidos en función de los trabajos que intervienen para su construcción, la fluctuación de índices unificados de precios de los principales materiales que se emplean, y el posible impacto medio ambiental provocado por la construcción de los mismos.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Antecedentes Nacionales.

Seace (2012), en el resumen ejecutivo del Proyecto: *“Ampliación de pavimento rígido y veredas en la localidad de Saucepampa – Santa Cruz - Cajamarca”*; .reporto que el Gobierno Central a través del Ministerio de Vivienda y Construcción con la finalidad de mejorar el ornato de sus ciudades y para incrementar la calidad de vida de la población urbana y rural ha iniciado construcciones de parques y mejorando calles mediante el pavimento con losas cortas.

Becerra-Salas (2013), en su tesis denominado *“Comparación técnico económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión”*. Realiza comparaciones entre pavimentos de asfalto y de concreto concluye:

- La pavimentación de los dos (2) sistemas presentan resultados aceptables, pero existe una brecha de conocimientos y tecnológica lo que perjudica que no se aprovechen las ventajas de los pavimentos rígidos.
- Recomienda que para el futuro, se requiere capacitación y generación de data de largo plazo.
- Indica también que los pavimentos de concreto, son recomendables para suelos con CBR de 3% (malo) y son económicos.
- Mientras que los pavimentos de asfalto, en condiciones de suelo con CBR de 25% (buenos), son los que indico índices más económicos.
- Los pavimentos de concreto en suelos con CBR del 10%, tiene costos parecidos a los de asfalto.
- En resumen índico que la variación de costos en pavimentos equivalentes, diseñados con AASHTO 93 y construidos con tecnologías equivalentes, reporto 20% pero depende de las condiciones de suelo y del tránsito.
- La comparación de construcción para pavimentos equivalentes de asfalto y concreto se refiere solamente a costos siendo necesario otras investigaciones referentes a determinar el ciclo de vida.

6.2 Antecedentes Internacionales

La Asociación de Productores de Cemento del Perú, en una entrevista periodística, refiere que para el año 1865 se construyó el primer pavimento de concreto en Inverness, Escocia y posteriormente en el Salvador (1920), y en el año 1922 se realizó en la **Av. Venezuela en Lima – Perú**, mientras que en el año 1928 fue usado en Colombia, en el año 1940 fue en Brasil hasta la fecha

En la **Vía Expresa de Lima es una obra que se observa hasta ahora, obras** que han perdurado por los años y demuestran la alta durabilidad del concreto para el pavimento.

Indicó también que el pavimento rígido es una alternativa para el mejoramiento de calles y avenidas ya que ofrece ventajas frente a otros tipos de pavimentos, en la actualidad el costo de hacer una pavimentación en concreto puede ser similar que construir en asfalto en costo inicial de obra, considerando las recomendaciones y poner en práctica las normas y manuales vigentes. Se debe agregar los bajos costos de operación y mantenimiento dando como resultado ahorro de inversión total.

Indica también ventajas del pavimento rígido como:

- No hay interrupciones de tránsito por trabajos de mantenimiento.
- 30% más iluminancia comparado a las superficies de asfalto.
- Menos de calor.
- Resiste al derrame de hidrocarburos.
- Resistente al fuego.
- Protege al medio ambiente.
- Menor huella de carbono.
- Menos consumo de combustible (aprox 4% según estudios del MIT).
- Mejor estabilidad del índice de Regularidad (IR).

Mejor adherencia (Grip) bajo la lluvia, seguridad al hidropneumático.

6.3 Marco histórico

Aunque algunas metodologías pueden variar entre sí, los siguientes factores son necesarios para el diseño del pavimento en la mayoría de ellas:

- a. Estudios de tráfico
- b. Estudios de mecánica de suelos
- c. Estudios hidrológicos-pluviométricos
- d. Estudios de canteras y fuentes de agua.

Para el **Estudios de tráfico**

Es necesario determinar el flujo de vehículos; para conocer, qué tipo de vehículos transitan por la zona a analizar, según la clasificación del Reglamento Nacional de Vehículos, y con qué frecuencia lo hacen.

Asimismo, una vez obtenida esta información es necesario estimar una tasa de crecimiento para proyectar cuál será el flujo de vehículos dentro de los años que contemplará el diseño.

Este flujo vehicular se expresa utilizando un parámetro conocido como ESAL (Equivalent Single Axle Load) o carga equivalente de eje simple, que considera un eje simple equivalente de 18 kips. Este valor representa el efecto dañino que producen los vehículos sobre el pavimento. O el valor del consumo de fatiga y el daño por erosión en el caso de la metodología de la PCA.

❖ **Clasificación de los vehículos**

Según el Reglamento Nacional de Vehículos, estos se clasifican según la cantidad y el tipo de ejes que lo componen (simple, tándem o trídem), además del peso máximo permitido para cada uno de ellos. El peso bruto vehicular máximo permitido es de 48 toneladas. Asimismo, el máximo peso permitido por eje es:

- ❖ Eje simple: 7 toneladas de rueda simple y 11 toneladas de rueda doble.
- ❖ Eje tándem: 12, 16 y 18 toneladas.
- ❖ Eje trídem: 16, 23 y 25 toneladas.

Con esta clasificación se determina el tipo de vehículo que transita por la zona de acuerdo al tipo de ejes que lo conforman y a la cantidad de ellos. Esto es importante porque dependiendo del peso que cargue cada eje se le asignará un factor destructivo sobre la vía dependiendo del tipo de pavimento a utilizar.

❖ **Estimación de la tasa de crecimiento**

Para la estimación de la tasa de crecimiento, se necesita de datos históricos que ayuden a tener una idea de cómo va aumentando la cantidad de vehículos que transitan por esa carretera. Depende de las actividades de la zona, del crecimiento poblacional, etc.

❖ **Factores destructivos**

Es necesario hallar el número de ejes equivalentes que se presentan en el tramo, primero se debe uniformizar los tipos de vehículos que circulan bajo un mismo estándar. Dicho estándar está representado por el factor equivalente de carga por eje, teniendo como base los ejes de 18 kip u 80 kN. Este factor es el denominado factor destructivo.

Se menciona que cada eje que conforma algún vehículo tiene un peso que puede ser igual o diferente a la carga estándar. Para el caso de nuestra Norma, todos son diferentes por lo que resulta necesaria la aplicación de factores.

Así mismo, dependiendo del tipo de pavimento a utilizar, existen dos ecuaciones diferentes para estimar estos factores. Si el pavimento es flexible se utilizarán los valores proporcionados por el Instituto del Asfalto, en cambio sí es rígido se utilizarán los de la AASHTO.

❖ **Proyección del tráfico.**

Cuando ya tiene los datos del tránsito medio diario anual (AADT) de la zona, la tasa de crecimiento (r) y los factores de carga equivalente para cada eje en cada vehículo, se procede a establecer los parámetros de diseño. Estos son:

- ❖ Factor de distribución direccional (D)
- ❖ Factor de distribución de carril (L)
- ❖ Período de diseño (Y)
- ❖ Factor de crecimiento (G)

b. Estudios de mecánica de suelos

Los análisis de mecánica de suelos son necesarios para caracterizar el material granular que sirvió de base o subbase. Asimismo, para hallar uno de los

parámetros de diseño más importantes, el módulo de resiliencia de la subrasante, se puede realizar una correlación en base al CBR del terreno natural.

❖ **Ensayo de granulometría**

Los ensayos de granulometría tanto en el material del terreno natural o subrasante, así como en el material de las canteras que será utilizado como base o subbase. De acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) del MTC se debe cumplir con una granulometría específica para que el agregado sea considerado aceptable. Más adelante se detallará más sobre estos requisitos.

❖ **Límites de Atterberg**

Permite conocer las propiedades del material tales como su límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad en el caso de suelos cohesivos.

❖ **Ensayo de compactación Proctor modificado (Método C)**

Es necesario realizar el ensayo Proctor modificado por el método C, que aplica 56 golpes por capa de suelo (5 capas) a una muestra dentro de un molde de tamaño estándar. El objetivo del ensayo es determinar la máxima densidad seca a la que puede llegar el material y el contenido de humedad óptimo que permita aquella condición. Este ensayo se encuentra normado en la Norma MTC E 115.

❖ **Ensayo de valor de soporte de California o CBR**

Este ensayo compara el comportamiento de un suelo determinado con el de una roca chancada de calidad estándar. Se aplica carga sobre la muestra compactada previamente mediante el ensayo Proctor, así como saturada en agua por cuatro (4) días y se va registrando la carga necesaria para producir penetración en el material en intervalos de 0.1" hasta 0.5". Una vez obtenido el valor de carga necesaria para producir 0.1" y 0.2" para todas las muestras compactadas a diferentes densidades, se procede a dividirlo entre 1000 psi en el primer caso y 1500 psi en el segundo.

Esta cantidad se expresa en porcentaje y representa el CBR del suelo. Luego para la densidad requerida se elige el mayor valor de CBR entre el de 0.1" y el de 0.2",

el cual será el CBR de diseño. En este caso la máxima densidad seca requerida es 95%. Este ensayo se encuentra normado en la Norma MTC E 132.

c. Estudios hidrológicos-pluviométricos

Se requiere conocer la precipitación media diaria de la estación seleccionada registrada todos los días durante varios años para poder tener un registro confiable.

Estos datos son importantes para determinar el coeficiente de drenaje (Cd) necesario en la metodología de la AASHTO para pavimentos rígidos o para hallar el valor de (m_i), que modifica los coeficientes estructurales de las capas en los pavimentos flexibles.

Asimismo, se puede obtener la temperatura promedio del aire durante el año. Esta sería el parámetro del Mean Annual Air Temperature (MAAT) requerido para elegir el gráfico correspondiente y hallar el espesor de la carpeta asfáltica en la metodología del Instituto del Asfalto.

d. Estudios de canteras y fuentes de agua

El tipo de material que se encuentra disponible en la zona es necesario conocerla porque de ello dependerá la capacidad de soporte de las capas granulares y, por tanto, del pavimento como estructura. Las especificaciones que debe cumplir el material granular son muchas pero dos de las más importantes son la granulometría y el CBR mínimo. En cuanto a las fuentes de agua, se debe tener en consideración la cantidad de sulfatos, sólidos en suspensión y el pH del agua.

Localización y descripción de pavimentos rígidos existente de carácter relevante en Perú

En Perú la construcción de pavimentos rígidos utilizando losas cortas inicia a partir del año de 1,983 utilizando este método en carreteras principales con alto nivel de tráfico, y que actualmente se utiliza como método constructivo de pavimentos rígidos en rehabilitación de pavimentos existentes, por lo que es necesario tener referencias de pavimentos ya construidos con dicho método constructivo.

Ubicación y localización de carreteras pavimentadas de concreto portland utilizando losas cortas

Construcción autopista de la Av. Aviación.

Tramo carretero de 3.2 Kilómetros de longitud, localizado el norte occidente de Pucallpa en el kilómetro 3.5 de la carretera Federico Basadre.

Evaluación de la condición actual de los pavimentos objeto de análisis.

El método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos, es efectivamente un método innovador desde el punto de vista de su aplicación, considerando que en años anteriores se han construido pavimentos rígidos con losas cortas pero de forma casi empírica, restringiendo su aplicación por conservación al resultado de su comportamiento a calles urbanas con bajas circulación o solicitudes de tráfico.

Por lo anterior, se hace necesario establecer si la aplicación del método constructivo de losas cortas y su distribución de cargas obtiene los resultados de diseño esperados.

También, debe hacerse notar que aunque se han tenido a la vista distintas evaluaciones de su durabilidad, desempeño mecánico y mantenimiento, es necesario innovar en la creación de instrumentos de evaluación de los mismos, considerando que actualmente no se cuenta con la investigación que del soporte suficiente que refleje el rendimiento real de los pavimentos de este tipo.

Este ítems evaluará la condición que presentan los tramos pavimentados en análisis, los cuales fueron clasificados y ubicados en el ítems anterior, evaluados desde el punto de vista estructural y las condiciones de deterioro que presentan los mismos.

Condiciones estructurales

Se conoce que los pavimentos rígidos de gran demanda por circulación vehicular o altas solicitaciones, han sido objeto de una constante evaluación, que como consecuencia de su reducida aplicación comparada con los pavimentos flexibles construidos con carpetas asfálticas han generado incertidumbre respecto a su desempeño estructural, y también respecto a sus periodos de diseño.

Según evaluaciones generales a nivel de inspección visual, en pavimentos construidos con anterioridad a los descritos en el items anterior, cuya característica principal ha sido la construcción de pavimentos con losas de dimensiones superiores, y de forma geométrica rectangular, han presentado características de deterioro estructural como el descrito anteriormente, donde la principal falla es a corte generadas usualmente en las esquinas de las losas, así también desgaste prematuro de la carpeta de rodadura, dejando leve exposición de agregados.

Clasificación del grado de deterioro de los pavimentos en Evaluación

En este acápite se propone una clasificación del grado de deterioro de los pavimentos en función de la cantidad de fallas localizadas en tramos de evaluación de las carreteras.

Elementos empleados para el análisis del grado de deterioro de los pavimentos en evaluación

De las evaluaciones de los diferentes tramos que han sido objeto de estudio en este informe, se han manifestado distintos tipos de fallas en sus estructuras, dentro de las que se encuentran:

- Desportillamientos
- Fallas a corte por la distribución de carga en las losas
- Desgaste en la carpeta de rodadura
- Asentamiento o bombeo en losas

Se sugiere que la clasificación del grado de deterioro de los pavimentos en evaluación sea considerada en función del tipo de deterioro presente a nivel de fallas presentes, por medio de la evaluación de los tramos, tomando como referencia una ubicación arbitraria dentro del tramo en evaluación, en una longitud de evaluación de un kilómetro (1Km) en todos los carriles, y en ambas calzadas del tramo cuando estas contengan mediana es su estructura, ver Tabla N° 01.

Tabla N° 01. Clasificación del grado de deterioro en función del número de fallas localizadas

CLASIFICACIÓN	NÚMERO DE FALLAS POR CALZADA
Leve	1 a 20
Moderada	20 a 50
Severa	Mayor a 50

Debe también considerarse la edad de los pavimentos y las fallas presentes por malos controles de calidad constructiva, con la finalidad de realizar el mantenimiento preventivo y en el caso extremo el mantenimiento correctivo, aunque el segundo se supone necesario solamente en los casos donde el control de la calidad constructiva de los pavimentos ha sido muy deficiente.

Tomando en cuenta lo anterior, se sugiere el monitoreo constante de dichos pavimentos como mínimo una vez por año, para determinar su desempeño real respecto a las solicitaciones de tráfico, y evaluaciones inmediatas cuando se presente algún tipo de falla inesperada en los tramos, y que pudiera generar incomodidad o riesgo para el conductor.

Equipos que pueden ser empleados para determinar la calidad de los pavimentos construidos en Perú

Se ha evitado el uso solamente de ensayos destructivos para evaluar características de los pavimentos, a impulsado la introducción de nueva instrumentación para la evaluación de los mismos, que aún se es susceptible a

mejorar, un caso interesante fue la introducción de un equipo denominado deflectómetro de impacto, que permite predecir la vida útil de un pavimento.

Otros equipos modernos utilizados hoy son equipos de auscultación como, perfilómetros láser, Scrim (equipo para medir fricción), densímetros nucleares, estos equipos verifican el comportamiento estructural de un pavimento, también el equipo de medida del rozamiento transversal (SCRIM), equipo de alto rendimiento empleado para la medida continua de la adherencia entre la rueda y el pavimento, que determina el Coeficiente de Rozamiento Transversal de la carretera.

El deflectómetro de impacto que evalúa la transferencia de cargas en juntas de pavimentos rígidos, el deflectómetro tipo Lacroix para la medición de deflexiones en los pavimentos, el perfilómetro láser de alto rendimiento, equipo diseñado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como la textura de las mismas.

El equipo de georadar de carreteras que permite, mediante reflexión de ondas electromagnéticas, evaluar los espesores de capas del pavimento o firme de forma continua, no destructiva, midiendo el intervalo de tiempo transcurrido entre los ecos producidos en sus interfaces.

También el Perfilómetro Pivoteante, mide y registra la regularidad superficial de un pavimento.

Dentro de los equipos mencionados con anterioridad existen algunos que ya han sido empleados varios años atrás, pero existen otros equipos con tecnologías relativamente nuevas, y que recién comienzan a estandarizarse o normarse.

Actualmente en Perú son empleados equipos de auscultación como el perfilómetro pivoteante y el perfilómetro láser de alto rendimiento, aunque ya se hace necesario reemplazar la extracción de núcleos de perforación, por equipos como el georadar para carreteras, evitando así los ensayos destructivos.

A continuación se muestran dos ejemplos de las tecnologías empleadas actualmente para la determinación de las condiciones estructurales de los pavimentos en Perú.

Marco conceptual

Se tiene en cuenta el marco teórico que sustenta la investigación científica en todos sus conceptos claros para el logro del problema central, como es la evaluación del mejoramiento de esta importante avenida en el tramo1, que beneficiara la transitabilidad de vehículos y peatones.

El método científico favorece al alcance de los objetivos, para ello aplicamos una lógica básica que emplea el juicio de la búsqueda de la información y procedimiento de investigación.

Se conoce los conceptos adquiridos en las aulas, otorgados por la carrera de ingeniería civil de la Universidad Alas Peruanas, filial Pucallpa y que esto contribuirá con una mejor calidad de vidas de los que transitan estas importantes vías.

Definición de términos Básicos.

BASE: Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub base o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.

BENCH MARK (BM): Referencia topográfica de coordenada y altimetría de un punto marcado en el terreno, destinado a servir como control de la elaboración y replanteo de los planos de un proyecto vial.

CANTERA: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

CONSTRUCCIÓN: Ejecución de obras de una vía nueva con características geométricas acorde a las normas de diseño y construcción vigentes.

ESTUDIO DE SUELOS: Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones de carga.

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: Conjunto de operaciones de medidas efectuadas en el terreno para obtener los elementos necesarios y elaborar su representación gráfica.

MEJORAMIENTO: Ejecución de las obras necesarias para elevar el estándar de la vía mediante actividades que implican la modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros, y señalizaciones necesarias.

NAPA FREÁTICA: Nivel superior del agua subterránea en el momento de la exploración. El nivel se puede dar respecto a la superficie del terreno o a una cota de referencia.

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

PAVIMENTO FLEXIBLE: Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.

PAVIMENTO RÍGIDO: Constituido por cemento Pórtland como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivos.

El distrito de Calleria forma parte de la provincia de Coronel Portillo, con su capital Pucallpa, departamento de Ucayali que se creó por Decreto Ley N° 23099 del 18 de junio de 1,980, tiene una extensión de 102,410.55 Km²; esto representa el 7.97 % del territorio nacional. La investigación que se realizara tiene como bases teóricas de los tipos de pavimento que se utilizan para realizar el mejoramiento de

las vías y algunos factores que son necesarios definir para el diseño de los mismos que a continuación detallan:

Definición de pavimento

Un pavimento es una estructura cuya finalidad es permitir el tránsito de vehículos y puede estar conformada por una o varias capas superpuestas. Las principales funciones que debe cumplir un pavimento son “Proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito” . Además debe ser resistente al desgaste debido a la abrasión producida por las llantas y tener buenas condiciones de drenaje. En cuanto a la seguridad vial debe presentar una textura apropiada de acuerdo a la velocidad de circulación de los vehículos para mejorar la fricción, debe tener un color adecuado de tal manera que se eviten los reflejos y deslumbramientos. Con el fin de brindar comodidad a los usuarios, debe procurar tener regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal.

También se debería tener en cuenta en el diseño medidas para disminuir el ruido de la rodadura. Como toda obra de infraestructura los factores de costo y de vida útil son muy importantes por lo que el pavimento debe ser durable y económico.

Existen varios tipos de pavimento; sin embargo, sólo se profundizará en dos por el alcance del presente trabajo: flexible y rígido.

Tipos de pavimento

Pavimento flexible

El pavimento flexible se caracteriza por estar conformado en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular, las cuales generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la subrasante. Esto se debe a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad y por razones económicas. La teoría que se utiliza para analizar su comportamiento es la teoría de capas de Burmister.

Las características fundamentales que debe cumplir un pavimento flexible son:

Resistencia estructural: Para la resistencia estructural el pavimento debe ser capaz de soportar las cargas debidas al tránsito de tal manera que el deterioro sea paulatino y que se cumpla el ciclo de vida definido en el proyecto.

En este tipo de pavimentos las fallas con mayor aceptación son los esfuerzos cortantes. Sin embargo, también se producen esfuerzos adicionales por la aceleración y frenado de los vehículos así como esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura al deformarse esta verticalmente debido a la carga que soporta. Asimismo, el pavimento se encuentra sometido a cargas actuantes repetitivas. Éstas afectan a largo plazo la resistencia de las capas de relativa rigidez, que en los pavimentos flexibles serían sobre todo las carpetas y bases estabilizadas, donde podrían ocurrir fenómenos de fatiga.

Además, la repetición de cargas puede causar la rotura de los granos del material granular modificando la resistencia de estas capas.

Deformabilidad: el nivel de deformación del pavimento se debe controlar debido a que es una de las principales causas de falla en la estructura y si la deformación es permanentemente, el pavimento deja de cumplir las funciones para las cuales fue construido. Se presentan dos clases de deformaciones en una vía: elásticas (recuperación instantánea) y plásticas (permanentes).

Durabilidad: una carretera que tenga un ciclo de vida prolongado en condiciones aceptables no sólo evita la necesidad de construcción nueva, sino también la molestia de los usuarios de la vía al interrumpir el tránsito.

Costo: se debe hallar un equilibrio entre el costo de construcción inicial y el mantenimiento al que tendrá que ser sometida la vía. Asimismo influye la calidad y la disponibilidad de los materiales para la estructura.

Requerimientos de la conservación: las condiciones de drenaje y subdrenaje juegan un rol decisivo en el ciclo de vida del pavimento.

Comodidad: una carretera tiene que resultar cómoda para los usuarios.

Estructura del pavimento flexible

Para las capas que forman la estructura de un pavimento flexible son las siguientes:

- ❖ **Carpeta asfáltica:** es la capa superficial de la estructura. Tiene tres funciones principales: servir como superficie de rodamiento uniforme y estable para permitir el tránsito, impermeabilizar la estructura para evitar en lo posible la percolación del agua al interior del pavimento y ser resistente a los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.
- ❖ **Base:** La base sirve como apoyo a la carpeta asfáltica y transmite los esfuerzos producidos por el tránsito a las capas inferiores en un nivel adecuado.
- ❖ **Sub-base:** Cumple con una función económica ya que permite la utilización de materiales de menor calidad en un porcentaje del espesor del pavimento. Entonces, dependiendo de la calidad y el costo del material disponible, se puede utilizar sólo base o sub-base y base. Con la construcción de la sub-base, puede ser que el espesor final de la capa sea mayor pero aun así resultar en un diseño más económico.

Además, puede servir como una capa de transición ya que actúa como un filtro que separa a la base de la subrasante impidiendo que los finos penetren en la primera y la dañen estructuralmente.

Esta capa ayuda a controlar los cambios volumétricos que podrían tomar lugar en la subrasante debido a cambios en su contenido de agua o a cambios de temperatura. De esta manera, las deformaciones serían absorbidas por la sub-base evitando que se reflejen en la carpeta asfáltica.

En cuanto a resistencia cumple la misma función que las capas superiores de transmitir los esfuerzos a la subrasante. Por último, a través de esta capa se puede drenar el agua e impedir la ascensión capilar.

Además, en la fase de construcción se pueden utilizar ciertos tratamientos como: la capa de sellado que se coloca encima de la carpeta asfáltica para

impermeabilizar la superficie, el riego de liga y la capa de imprimación que sirven para asegurar la adherencia entre asfalto antiguo y nuevo en el primer caso, y entre el material granular y la mezcla asfáltica que se colocará encima en el segundo.

Desde que se comenzaron a construir pavimentos flexibles se han ido elaborando teorías y desarrollando mejoras para el diseño y el análisis de estas estructuras. Algunos de estos avances son mencionados por Huang. Los métodos de diseño pueden ser clasificados dentro de cinco categorías y se detallan a continuación:

- ❖ Métodos empíricos: se caracterizan, como su nombre lo indica, por estar basados en datos recolectados de campo. Justamente esta característica resulta una desventaja en sí misma ya que el método sólo puede ser utilizado bajo las condiciones ambientales, de los materiales y de carga de las muestras originales. Los resultados no pueden ser extrapolados directamente y haría falta desarrollar un nuevo método para corregir este inconveniente.
- ❖ Métodos para limitar la falla por corte: La finalidad de estos métodos es evitar que la falla por corte ocurra. Para esto se deben tener en cuenta principalmente las propiedades de cohesión y el ángulo interno de fricción del suelo de las diferentes capas del pavimento y de la subrasante. Este procedimiento ya no es tan popular debido a que con el incremento del volumen del tráfico y la mayor velocidad a la que llegan los vehículos se hace necesario brindar comodidad a los usuarios y no solo prevenir la falla por corte de los pavimentos.
- ❖ Métodos para limitar las deformaciones: con estas técnicas se diseña el pavimento con un espesor que impida que se exceda el límite permisible de deflexiones verticales. La ventaja de utilizar deflexiones como criterio principal es que se pueden medir directamente en campo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que gran cantidad de pavimentos fallan por esfuerzos y tensiones mayores que los esperados y no por deflexiones.
- ❖ Métodos de regresión basados en el desempeño de los pavimentos o en las pruebas de las carreteras: estos procedimientos se caracterizan por utilizar ecuaciones de regresión basadas en los resultados de pruebas de caminos

existentes. No obstante, presenta la misma desventaja que el método empírico en que dichas ecuaciones sólo corresponden a las condiciones del lugar en que se encontraba la vía.

- ❖ **Métodos mecanísticos-empíricos:** Aquí se incorpora la mecánica de materiales y los datos obtenidos del rendimiento en campo de los pavimentos. Mediante estas metodologías se llega a relacionar las solicitaciones a las que se ve sometida la estructura con la respuesta de la misma, por ejemplo la carga de las llantas con los esfuerzos ocasionados.

Utilizando este procedimiento se ha podido incrementar la confiabilidad del diseño y predecir el tipo de desgaste o deterioro que podría presentar el pavimento. Asimismo, al contrario de otros métodos antes mencionados, se puede extrapolar a partir de los datos de ciertas zonas o condiciones en que se llevan a cabo pruebas a otras circunstancias.

Algo importante en el desarrollo de los pavimentos flexibles fue la creación de los conceptos de serviciabilidad y confiabilidad, los cuales se explicarán más a detalle posteriormente en el capítulo de diseño.

Pavimento rígido.

El elemento estructural primordial en este tipo de pavimento consta de una losa de concreto que se apoya directamente en la subrasante o en una capa de material granular seleccionado denominada Base.

La necesidad de utilizar la base surge sólo si la subrasante no tiene las condiciones necesarias como para resistir a la losa y las cargas sobre esta; es decir, que no actúe como un soporte adecuado. Una de las diferencias más saltantes entre los pavimentos flexibles y rígidos es la forma en que se distribuyen los esfuerzos producidos por el tránsito sobre ellos. Debido a que el concreto es mucho más rígido que la mezcla de asfalto, éste distribuye los esfuerzos en una zona mucho más amplia.

Del mismo modo, el concreto presenta un poco de resistencia a la tensión por lo que aún en zonas débiles de la subrasante su comportamiento es adecuado. Es por ello que la capacidad portante de un pavimento rígido recae en las losas en

vez de en las capas subyacentes, las cuales ejercen poca influencia al momento del diseño.

Otra diferencia importante es la existencia de juntas en los pavimentos rígidos, las que no se presentan en los flexibles. Es así como la teoría de análisis que se utiliza para la primera clase de pavimento es la teoría de placa o plancha en lugar de la teoría de capas utilizada para los caminos asfaltados.

La resistencia del concreto utilizada usualmente es alta, entre 200 y 400 kg/cm². Por su parte las losas pueden ser de concreto simples, reforzadas o preesforzadas.

Otro autor clasifica los pavimentos rígidos de la siguiente manera:

Pavimento articulado de concreto simple o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP): es la solución más económica con juntas espaciadas de manera cercana.

Pavimento articulado de concreto reforzado o Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP): si bien el refuerzo no aumenta la capacidad portante de la estructura, si permite espaciar las juntas un poco más. Asimismo, análogamente a otra estructura de concreto reforzado como una viga, el acero puede mantener el concreto unido en caso se produzca una grieta o rotura.

Pavimento continuo de concreto reforzado o Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP): con esta clase se pueden eliminar las juntas transversales pero el espesor de la losa es igual al de los dos tipos antes mencionados (JPCP y JRCP).

Pavimento de concreto preesforzado o Prestressed Concrete Pavement (PCP): al ser aplicada un pre compresión, los esfuerzos de tensión o tracción disminuyen cuando la estructura es sometida a cargas. Por lo tanto, la probabilidad de agrietamiento es menor y también se puede utilizar un menor número de juntas transversales.

No obstante, no es una solución ni muy económica ni muy práctica si se tiene en cuenta el enorme trabajo que implica la etapa de construcción.

Son dos las capas que forman parte de un pavimento rígido, la sub base y la losa de concreto, y sus funciones se detallan a continuación:

Sub-base o base: los distintos autores citados en el presente documento concuerdan en que las funciones de la sub-base deberían ser las siguientes:

- Servir como apoyo uniforme a la losa.

Control de bombeo: se debe tratar de evitar el bombeo, eyección de agua con suelo (mayormente finos), a través de las juntas, grietas y extremos del pavimento. El agua proviene de la infiltración por medio de las juntas, luego por acción de los movimientos repetitivos de la losa, por las pesadas cargas axiales del tránsito, los finos se van segregando y se licúan para posteriormente salir a la superficie.

Para que ocurra el bombeo se necesita que el suelo se encuentre saturado, por ello contar con un adecuado sistema de drenaje es una de las medidas más eficientes para contrarrestar ese efecto.

- Mejorar el drenaje: otra opción a la situación descrita en el párrafo anterior es el uso de la sub-base para elevar el pavimento en caso la napa freática se encuentre muy superficial. Además utilizar material uniformemente gradado para que conforme la capa, permitiría que el agua sea drenada rápidamente evitando la acumulación.
- Reducir las consecuencias del congelamiento de los suelos: el limo es más susceptible al congelamiento que la arcilla por lo que habría que limitar el porcentaje existente en la sub-base. Para que se produzca congelamiento debe haber una fuente continua de agua, entonces si la napa freática se encuentra muy cercana a la sub-base se podría optar por deprimirla.

- Controlar los cambios de volumen de la subrasante y disminuir los efectos que tales cambios puedan producir en la superficie.
- Aumentar un poco la capacidad portante del suelo de la subrasante.
- Facilitar la construcción: la sub-base se puede usar como plataforma para el paso de los equipos pesados de construcción.
- Losa de concreto: sus funciones son similares a las de la carpeta asfáltica además de soportar y transmitir adecuadamente los esfuerzos provenientes de la superficie a las capas inferiores.

El principal criterio de diseño de un pavimento rígido considerado hasta hoy es el esfuerzo debido a la flexión. Los primeros diseños consideraban que el esfuerzo debido a cargas en las esquinas de la losa era el más crítico. No obstante, ahora es el esfuerzo en los extremos de la losa, debido a las cargas en el borde, el que se considera más crítico. Al igual que en los pavimentos flexibles, también en los rígidos se desarrollaron diversos métodos de análisis y diseño. Seguidamente se nombran algunos de ellos:

- Soluciones analíticas: son tres, la fórmula de Goldbeck, el análisis de Westergaard basado en fundaciones o cimientos líquidos y el análisis de Pickett basado en cimientos sólidos. La primera considera al pavimento como una viga con una cara concentrada en la esquina.

La segunda asume que la presión reactiva entre la losa y la subrasante en un punto es proporcional a la deflexión en ese mismo punto, así como que la losa y la capa inferior se encuentran en contacto pleno. El método de la PCA se basa en este análisis.

Por último, el análisis de Pickett desarrolló soluciones teóricas en las cuales las losas de concreto se desenvolvían en un medio-espacio elástico.

Soluciones numéricas: en las soluciones analíticas se asumió que la losa y la capa adyacente se encontraban en contacto total pero en la realidad este hecho no se cumple. Por ende, se desarrollaron métodos de elementos discretos y de elementos finitos. Debido a que el comportamiento o la respuesta del pavimento no siempre se podrán predecir con total seguridad a partir de resultados teóricos fue necesario recopilar y cotejar con datos reales de desempeño. Es así como se reconoció lo siguiente:

Fatiga del concreto: un esfuerzo de flexión repetido no causa necesariamente la ruptura del concreto siempre y cuando no se exceda el cincuenta por ciento del módulo de ruptura.

Bombeo: con el incremento del tráfico en las carreteras, se hizo evidente el importante rol que desempeñaba el tipo de subrasante que existía bajo el pavimento para su funcionamiento. Es así como se determinó que el uso de material granular como base ayudaba a contrarrestar el bombeo.

En resumen el espesor y tipo de pavimento dependerá fundamentalmente de dos aspectos: las cargas y las solicitaciones climáticas a las que se verá sometido y al material que compone el suelo donde se va a asentar.

7. TRABAJO DE CAMPO

7.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PAVIMENTOS

Pavimento

Del latín *pavimentum*, el pavimento es el suelo de una superficie artificial que es usado para la construcción de vías de comunicación.

Es decir se trata de una estructura cuya función fundamental es distribuir suficientemente las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos, de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación

excesiva. Además el pavimento debe ofrecer una superficie lisa, no resbaladiza, que resista la intemperie y finalmente debe proteger al suelo de la pérdida de sus propiedades, por efecto del sol, las lluvias y el frío.

En resumen es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos:

- Con seguridad.
- Con comodidad
- Con el costo óptimo de operación.

Suelo de Fundación

Llamado también terreno de fundación, viene a ser el suelo que sirve de fundación o soporte del pavimento después de haber terminado el movimiento de tierras y que una vez compactado tiene las secciones transversales y pendientes de diseño.

Material Resistente (bases y subbases)

Material inerte, resistente a los esfuerzos que se producen en la estructura, generalmente constituido por piedra o constitutivos de ella (piedra triturada, arena o polvo de piedra).

Material Ligante

Material de liga, que relaciona entre sí a los elementos resistentes proporcionándoles la necesaria cohesión.

Puede ser un constitutivo del suelo, como la arcilla, o un aglutinante por reacción química, como la cal o el cemento; o en su defecto, un material bituminoso.

Superficie de Rodadura

Estructura constituida por diferentes materiales comúnmente agregados de diferentes granulometrías ligados entre sí por aglutinantes, cemento o materiales

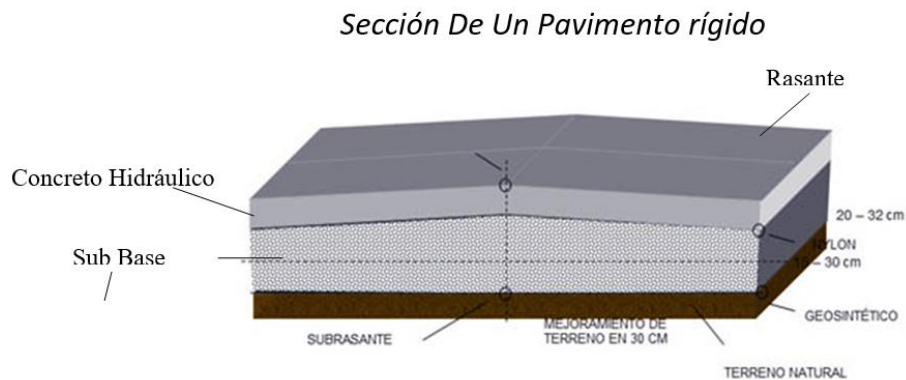
bituminosos, destinada a soportar y transmitir de forma directa las cargas peatonales o vehiculares para los cuales se creó el pavimento.

Tipos de Pavimentos

- A. Pavimentos Asfálticos (PA)
- B. Pavimentos Rígidos (PR)
- C. Pavimentos Compuestos (Mixtos)
- D. Pavimentos de avanzada tecnología: a carga plena (base emulsionada Total); a resistencia profunda (base + base emulsionada)
- E. Pavimentos Adoquinados
- F. Otros que van a depender del material, de sus características estructurales y el proceso de construcción (rodillados, líticos, de ladrillo, de planchas metálicas y mixtos), Ver Figura 1.

Estructura física de pavimentos:

Figura 01: Componentes estructurales de los pavimentos asfálticos y Pavimentos Rígidos.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

De acuerdo al volumen de tránsito, para autopistas o autovías se intercala en pavimentos rígidos una capa de base o base estabilizada, siendo preferible esta última.

Pavimentos Rígidos.

Son aquellos formados por una losa de concreto Pórtland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada.

En función a lo señalado anteriormente; se puede diferenciar que en el pavimento rígido, el concreto absorbe gran parte de los esfuerzos que las ruedas de los vehículos ejercen sobre el pavimento.

Debe cumplir con satisfacer también las características principales siguientes de los pavimentos Rígidos:

Características principales del Pavimento Rígido (PR):

- Estar previsto para un período de servicio largo.
- Prever un bajo mantenimiento.

Factores Principales que influyen en la funcionalidad de los pavimentos rígidos.

- Tráfico.
- Clima.
- Geometría del Proyecto (Diseño Vial).
- Posición de la estructura.
- Construcción y Mantenimiento.

Para cada uno de los factores anteriores deben en consideración los siguientes aspectos:

Tráfico

- Carga bruta y presión de llanta.
- Propiedades del terreno de fundación y materiales del pavimento.
- Repetición de carga.
- Radio de influencia de carga.
- Velocidad.
- Eje y configuración de rueda.

Clima

- Precipitación pluvial (Aquaplaning).
- Contracción y expansión por cambios bruscos de temperatura.

Geometría del proyecto (Diseño Vial)

- Distribución del Tráfico en el Pavimento.

Posición de la Estructura

- Secciones de corte y relleno.
- Profundidad del Nivel Freático.
- Deslizamientos y problemas relacionados.
- Depósitos ligeramente profundos.

Construcción y Mantenimiento

- Deficiencia en la Compactación del Terreno de Fundación y/o cimiento.
- Fallas: Instalación y Mantenimiento de Juntas
- Inadecuada colocación de Guías en los niveles (Mandiles o Reglas Metálicas).
- Escarificado y eliminación de materiales superiores al especificado.
- Durabilidad del Agregado (Árido) Partido (Fracturado).

TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Los pavimentos rígidos o de Hormigón pueden tipificarse por el tipo de refuerzo contenido en su estructura, pudiendo clasificarse así:

PAVIMENTOS RIGIDOS SIMPLE (PRS)

- a) Sin elementos de transferencia de carga.
- b) Con elementos de transferencia de carga.

PAVIMENTOS RIGIDOS CON REFUERZO DE ACERO (PR RA)

- a) Con refuerzo de acero no estructural.
- b) Con refuerzo de acero estructural.

- PAVIMENTOS RIGIDOS CON REFUERZO CONTINUO (PR RC).
- PAVIMENTOS RIGIDOS PRE O POSTENSADO (PCH PP).
- PAVIMENTOS RIGIDOS REFORZADO CON FIBRAS (PCH RF).

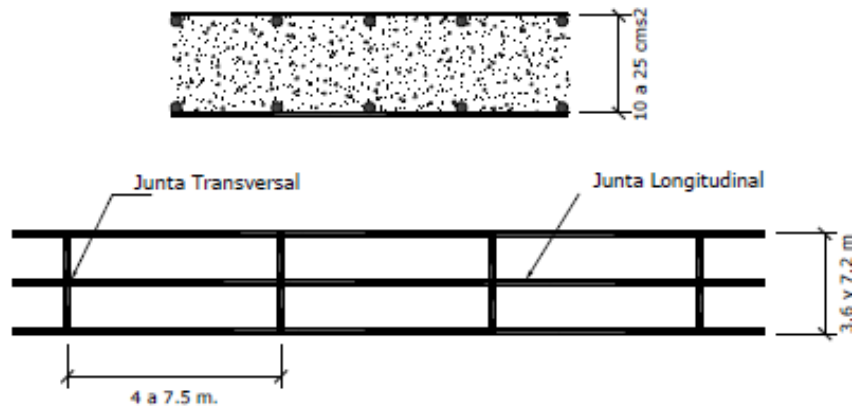
PAVIMENTOS RIGIDOS SIMPLE (PR S)

En este pavimento el concreto u hormigón asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad. Este pavimento puede llegar a contener elementos de transferencia de carga, o bien no contenerlos, cada uno con su de área aplicación.

PR S Sin elementos de Transferencia de Carga o simples

Estos pavimentos han sido de aplicación común para Ucayali tanto para tráfico ligero, como para tráfico pesado (altas sollicitaciones), clima templado sugiriendo para condiciones severas de tráfico y clima un cimiento granular y/o tratado, para aumentar la capacidad soporte y mejorar la transmisión de carga, Ver Figura N°01.

Figura N° 02: Detalle del método constructivo de juntas para PR S, sin elementos de Transferencia de Carga.



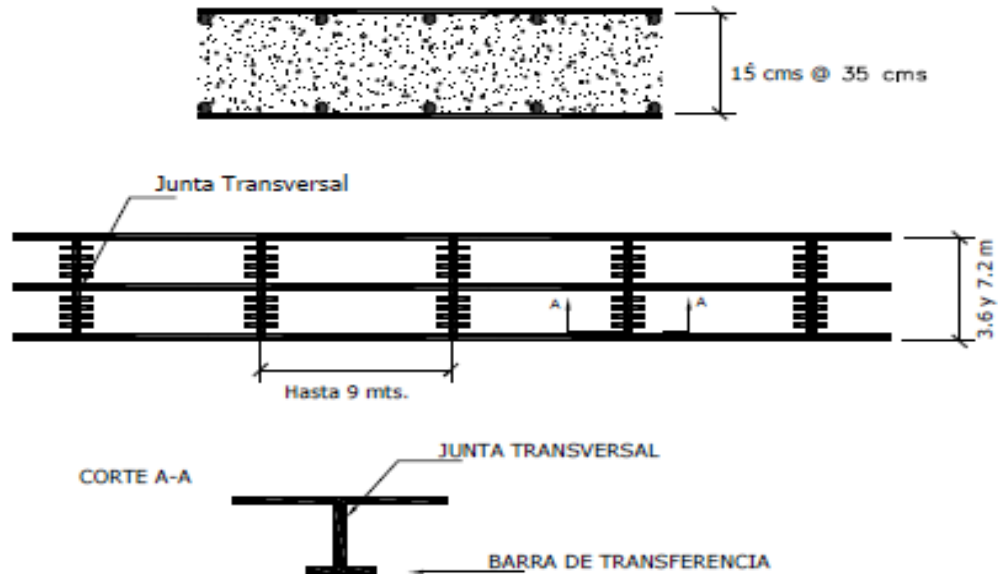
Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Con elementos de Transferencia de Carga o Pasadores

Pequeñas barras de acero, que se colocan en la sección transversal, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando las condiciones de deformación en las juntas, evitando los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento).

La construcción de este tipo de pavimentos se sugiere para tráfico mayor de 500 Ejes diarios equivalentes de 18,000 libras (ESAL), Ver Figura N° 02.

Figura N°03: Detalle del Método constructivo de refuerzo en juntas para PR S, con elementos de Transferencia de Carga o Pasadores



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

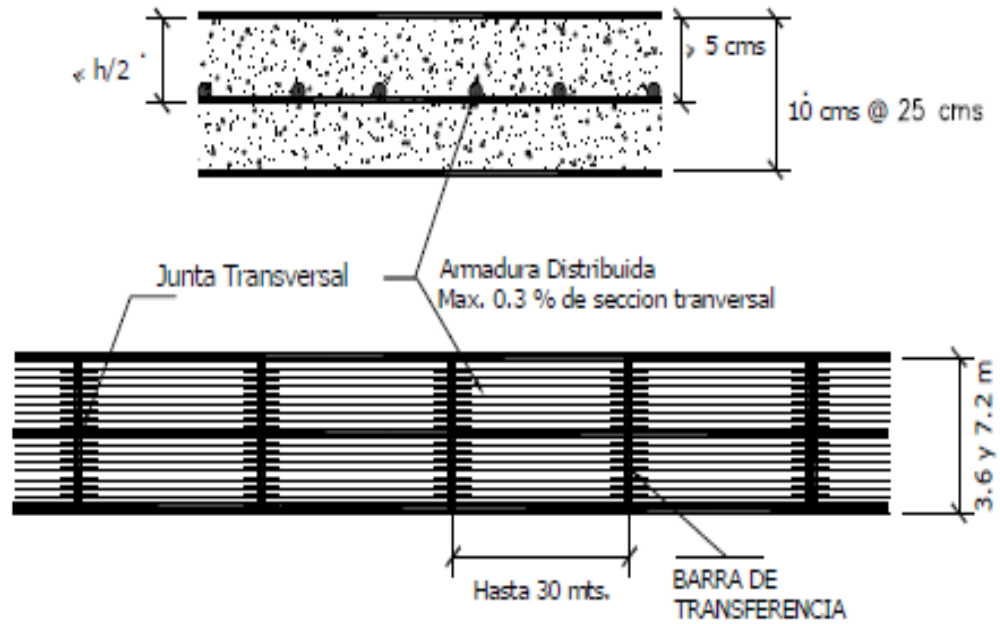
PAVIMENTOS RIGIDOS CON REFUERZO DE ACERO (PR RA):

Con Refuerzo de Acero no estructural

El refuerzo no cumple función estructural, su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos. Tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal a no menos de 5cm. Bajo la superficie. La sección máxima de acero es de 0.3% de la sección transversal del Pavimento.

Este tipo de pavimento es usualmente empleado en los pavimentos del departamento de Ucayali, Ver Figura N° 03.

Figura N° 04: Detalle del Método constructivo del refuerzo en PR RA



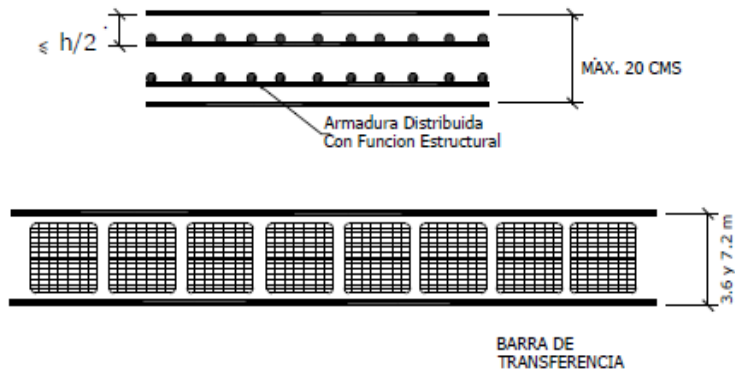
Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

- **Con Refuerzo de Acero estructural**

El refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión, por lo que es factible reducir el espesor de la losa hasta 10 o 12 cm.

Su aplicación principal es en Pisos Industriales y losas que resisten cargas de gran magnitud. Ver Figura N° 04.

Figura N° 05: Detalle del Método constructivo de refuerzo estructural para PR RA.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

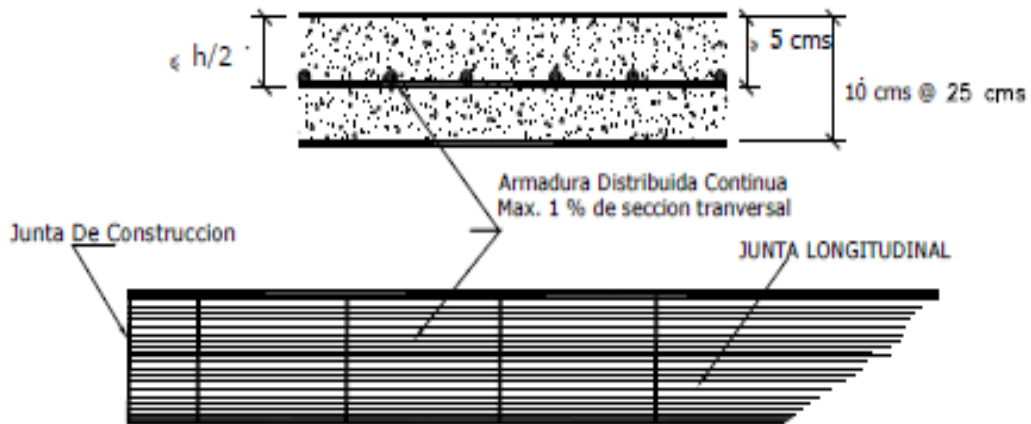
Pavimentos Rígidos con Refuerzo Continúo (PR RC)

El refuerzo asume todas las deformaciones, en especial las de temperatura, eliminando las juntas de contracción, quedando solo las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte.

La fisura es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento de la estructura del pavimento.

Se aplican principalmente en zonas de clima frío y recubrimientos en pavimentos deteriorados, Ver Figura N° 05.

Figura N° 06: Detalle del Método constructivo de refuerzo estructural continuo para PR RC



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Pavimentos Rígidos Pre o Pos tensado (PR PP).

Su desarrollo es limitado, las primeras experiencias de este tipo de pavimentos fueron en pavimentos para Aeropuertos.

El diseño trata de compensar su costo ante la reducción del espesor, este tipo de pavimento presenta problemas en su ejecución y mantenimiento.

Pavimentos Rígidos Reforzado con Fibras (PR RF)

Incorpora fibras metálicas, de propileno, carbón, etc. con excelentes resultados en Aeropuertos y sobre capas delgadas de refuerzo.

El diseño es principalmente estructural y de buen comportamiento mecánico, pero sus costos y los cuidados requeridos en su ejecución, dificultan su Desarrollo.

CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DEL TIPO ADECUADO DE PAVIMENTO

Es fundamental que se realice una adecuada elección del tipo de pavimento a construir, para lograr los objetivos buscados para cada caso y requerimiento, para lo que se deben realizar diferentes consideraciones, dentro de las cuales están:

- Formular diferentes alternativas equivalentes de diseño para las mismas condiciones de Tráfico y de Resistencia del Suelo.
- Establecer la estrategia adecuada para el Mantenimiento y/o Refuerzo.
- Evaluar el costo inicial de Construcción, de Mantenimiento y/o Refuerzo, el Valor residual de la estructura al término de la vida útil calculada, los costos del usuario (consumo de combustible, gastos de mantenimiento del vehículo, llantas, confort, etc.) de tal manera, que se obtengan los costos totales de cada uno de las diversas alternativas de diseño.

Entonces:

Del conjunto de características anteriores y su efectiva evaluación a detalle, puede establecerse qué tipo de pavimento a construir será el de menor costo económico y financiero total, que incluye el costo social y el costo de impacto ambiental.

Variables de diseño para el tipo de pavimento

Dentro de las principales variables consideradas para el diseño del pavimento se tienen:

- Terreno de Fundación – Cimiento
- Calidad del Concreto
- Análisis del Tráfico - Clasificación de Vía
- Diseño Geométrico
- Diseño Estructural: Soluciones típicas
- Juntas
- Especificaciones Técnicas

Terreno de Fundación – Cimiento

Si la calidad del Terreno de Fundación es buena, de granulometría uniforme de tipo granular, y que evite el fenómeno de bombeo (Pumping), la losa de concreto se puede colocar directamente sobre ella y no requiere cimentación; Pero generalmente es difícil encontrar Terrenos de Fundación apropiados, por lo que se hace necesario colocar el cimiento, que consiste en intercalar el terreno de fundación en una o más capas de materiales que cumplan las siguientes características:

- Debe proporcionar apoyo uniforme a la losa de Concreto.
- Reducir las presiones en los suelos de apoyo.
- Reducir al mínimo las consecuencias de los cambios de volumen del Terreno de Fundación.
- Reducir al mínimo las consecuencias producidas por los cambios climáticos severos en las secciones de las diferentes capas o la capa superior del Terreno de Fundación.
- Recibir y resistir las cargas de tránsito que se transmiten a través de la base de la losa de concreto.
- Transmitir estas cargas, adecuadamente; distribuyéndolas a las diferentes capas del Pavimento.
- Finalmente, evitar el fenómeno de bombeo (Pumping).

Calidad del Concreto

Las mezclas del Concreto Portland para Pavimentos deben de estar previstas para cumplir principalmente con las siguientes características:

- Garantizar una durabilidad satisfactoria dentro de las condiciones de requerimiento del Pavimento.
- Asegurar la resistencia deseada a la flexión.

Debe considerarse la importancia de la flexión en los Pavimentos de Concreto Rígido bajo las cargas aplicadas por los neumáticos, ya que se producen considerables esfuerzos a tensión.

Por otra parte, los esfuerzos de compresión son pequeños en relación a la resistencia misma de diseño, y sin mayor incidencia en el espesor de la losa.

Por lo tanto el concreto Portland que se utiliza en los pavimentos debe cumplir con la especificación del mismo, respecto a su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Rotura a Flexión, a los 28 días, Comúnmente reconocida como (MR) expresada en kg/cm^2 y que generalmente para pavimentos en Ucayali se emplea **MR > 100 kg/cm^2** , ampliándose el intervalo cuando las características del lugar y el diseño lo requieren.

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO DE LOSAS CORTAS

El método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto Portland brinda otra alternativa técnica para la construcción de pavimentos rígidos, estableciendo como base fundamental para la concepción del método, la reducción de esfuerzos de flexión en las losas de la estructura del pavimento.

También busca el menor número de repeticiones de carga por eje, basados en un análisis de fatiga del concreto, reduciendo el agrietamiento, evitar la falla por bombeo en las losas y el problema en las juntas durante el periodo de diseño.

Debe considerarse la posibilidad de evaluar losas de concreto rígido con refuerzo de acero o bien simples (sin refuerzo).

El método de losas cortas ha tomado y analizado los resultados de la evaluación de elementos finitos por medio del programa o software SAP2000, el cual utiliza elementos de un análisis de Métodos empírico mecanicista de diseño, tanto los empíricos como elementos comprobados son evaluados por medio de pruebas de laboratorio y tablas previamente establecidas por medio de experiencias previas.

Para la realización del análisis de elementos finitos se contemplan la evaluación de diferentes variables, principalmente estructurales, materiales y medio ambiente.

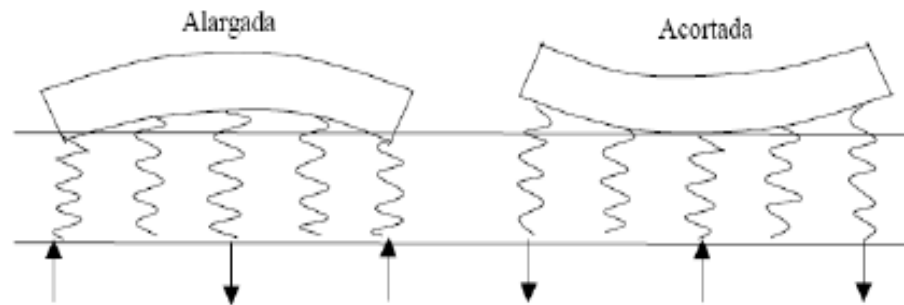
De lo anterior mencionado se determinan las Características del Comportamiento Mecánico de las losas, en función de la ubicación de la aplicación de la carga destacando los cambios generados con el menor dimensionamiento de la siguiente manera:

Inicialmente la deformación por alabeo, de forma general se establece que durante el día cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más alta que en la inferior, la superficie superior tiende a expandirse con respecto al eje neutro mientras que la inferior tiende a contraerse.

Sin embargo, el peso de la losa restringe tanto la expansión como la contracción; entonces, se inducen esfuerzos de compresión en la parte superior y de tracción en la inferior. En la noche cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más baja que la de la inferior y así se inducen esfuerzos de tensión en la parte superior y de compresión en la inferior.

El análisis de los esfuerzos de alabeo se puede hacer con la teoría de placa sobre una fundación Winkler o líquida. Donde la fundación Winkler está caracterizada por una placa a la que están pegados una serie de resortes, tal como se muestra en la Figura N° 06:

Figura N° 07: Alabeo en losas cortas y largas debido al gradiente térmico.

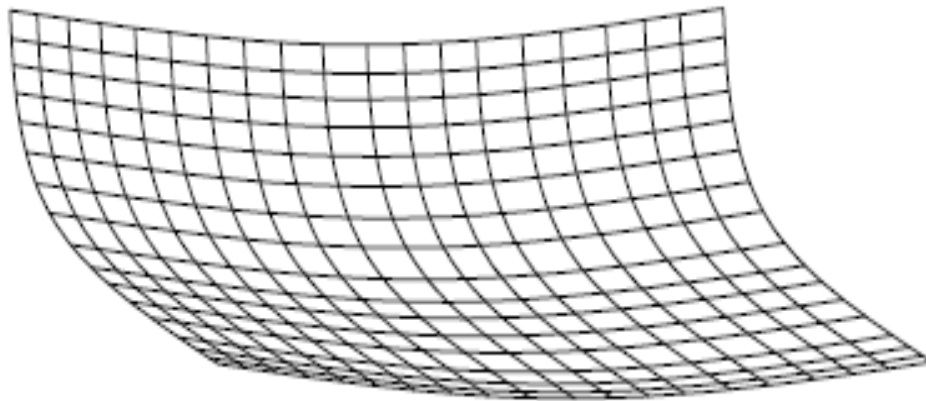


Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Cuando la temperatura en la parte superior de la losa es más alta que la de la inferior, la losa se vuelve convexa. En esa posición los resortes de los extremos de la losa están sometidos a compresión y empujan la losa hacia arriba, mientras que los que están en el interior de la losa están sometidos a tracción y tiran de la losa hacia abajo. El resultado de la anterior situación es que la parte superior de la losa está en compresión y la inferior en tracción.

Cuando la temperatura en la cara expuesta es más baja que la de la de apoyo, la losa asume una forma cóncava. En esta posición los resortes exteriores tiran de la losa hacia abajo y los resortes interiores empujan la losa hacia arriba, el resultado es que se desarrollan esfuerzos de tracción en la superficie superior y de compresión en la cara inferior. Ver Figura N° 07:

Figura N° 08: Alabeo en losas por cambios en gradientes térmicos.

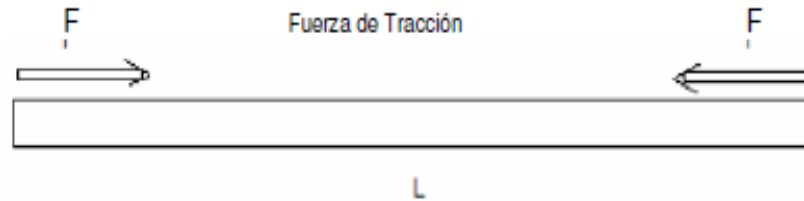


Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Para poder realizar un verdadero análisis del comportamiento de la losa es necesario establecer la forma de fuerzas actuantes de alabeo que generalmente son consecuencia de cambios en gradientes térmicos y aplicación de cargas.

Entonces, analizando la forma en que actúan las fuerzas en la parte superior de la losa tenemos el comportamiento mostrado en las Figuras N° 08 y 09.

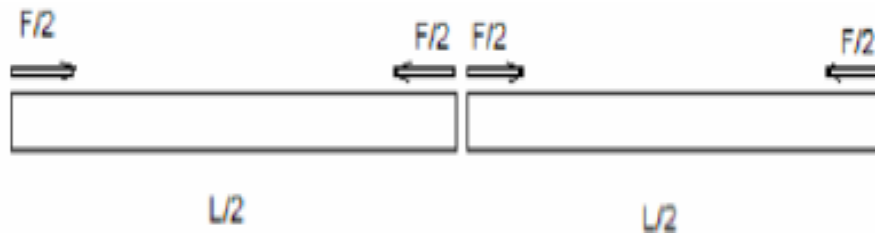
Figura N° 09: Forma Inicial en que actúan las fuerzas de alabeo en losas.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Fuerzas actuantes de alabeo en losas cortas (usualmente se calcula inicialmente para la mitad de la longitud de las losas largas o tradicionales).

Figura N° 10: Forma en que actúan las fuerzas de alabeo en el nuevo Dimensionamiento de losas y su longitud.

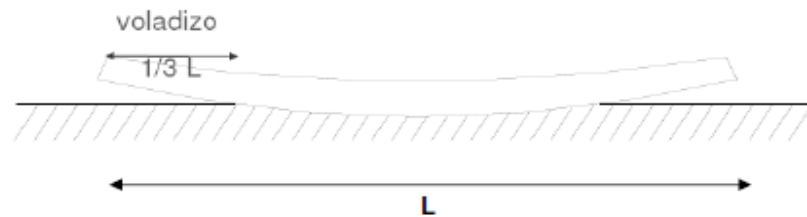


Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Se ha determinado que el efecto de alabeo a lo largo de losa se presenta generalmente de la siguiente forma

Para losas largas o tradicionales, ver Figura N° 11: Forma en que actúan las fuerzas de alabeo en el nuevo Dimensionamiento de losas y su longitud.

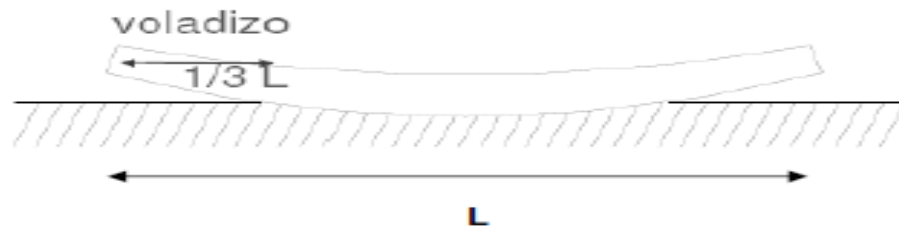
Figura N° 11. Ubicación de la deformación por alabeo en las losas largas.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Para losas cortas el comportamiento es el mismo.

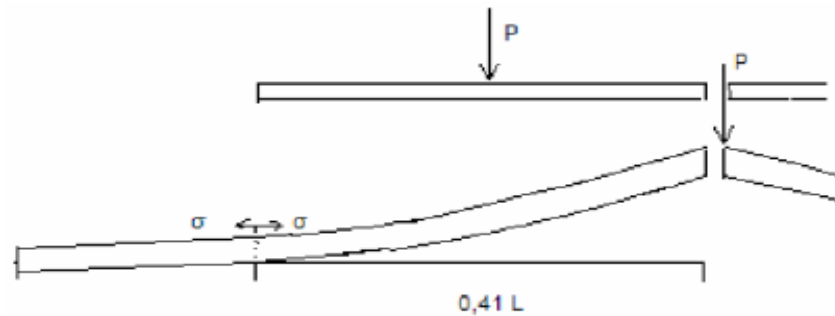
Figura N° 12. Ubicación de la deformación por alabeo en las losas cortas.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Por medio de análisis y pruebas de laboratorio se ha determinado el comportamiento mecánico de las losas y se pudo establecer que el punto de concentración de esfuerzos y corte, se ubica en proporción a la longitud de las losas a 0.41 veces su longitud, generando por medio de las fallas en las mismas, nuevos bloques de pavimento, lo cual rompe la configuración original de la losa, Ver Figura N° 13.

Figura N° 13: Ubicación del punto de falla a corte provocada por la deformación de alabeo



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Descripción del método empírico mecanicista de diseño

Los métodos empírico mecanicistas de diseño son una de las bases para este tipo de método constructivo de losas, y tienen como base el análisis estructural donde principalmente se evalúan los esfuerzos a flexo tracción en el límite inferior de la losa, la correlacionando modelos de deterioro definidos de forma experimental y la mecánica teórica de los materiales.

Los valores obtenidos en este método son determinantes para un eficiente dimensionamiento, sin embargo, el gran número de variables de los que dependen estos valores, tiende a hacer compleja la formulación de una solución razonable.

Del espesor de losas

A través de los años los pavimentos de hormigón han demostrado un muy buen comportamiento, superando en muchos años su vida útil proyectada.

Esta realidad ha hecho reevaluar la metodología actual de diseño de pavimentos de hormigón, basada normalmente en los métodos AASHTO y PCA, ya que estaría obligando a utilizar pavimentos con una capacidad mucho mayor a la que es realmente requerida.

Por otro lado, se recomienda espesores de 20cm como mínimos para carreteras, y según experiencias en países de Latinoamérica sugieren que el espesor mínimo de pavimentos de hormigón para vías urbanas no debería ser inferior a 12cm. Para este último puede utilizarse una carga de tráfico de aproximadamente 1 millón de ejes equivalentes (ESAL) de diseño en 20 años.

Pavimentos delgados han sido construidos recientemente en países como Colombia y Chile, y ser probados en forma experimental, los cuales inicialmente están teniendo un buen comportamiento. En el caso específico de Perú actualmente para carreteras de altas solicitaciones de tráfico se están construyendo losas cortas, construyendo pistas de 3.6m de ancho, realizando losas cuadradas de 1.80 x 1.80m.

Corte de losas

Se deberán cortar las juntas de contracción longitudinales y transversales en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar la máquina de corte sobre la superficie de rodadura sin dejar las ruedas marcadas, debiendo considerar la temperatura del ambiente para definir el endurecimiento del concreto u hormigón y el momento cuando se debe iniciar el corte de juntas, el cual deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de estos trabajos.

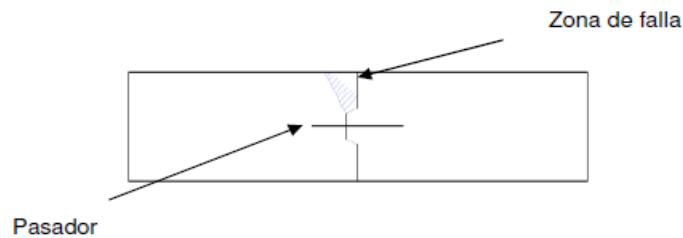
Se deberá contar con la cantidad de recursos, equipos y sierras de corte necesarios. En el caso, de que no se pueda disponer de una cantidad razonable de equipos se deberán comenzar los cortes del concreto u hormigón por lo menos cada 7.2m de distancia longitudinal, o a menor distancia según la modulación que resulte de los sectores a realizar, pero nunca superando la medida de los 7.2m; Luego se realizarán los cortes intermedios, tan pronto como sea posible.

Un corte muy importante es el longitudinal, para evitar el alabeo del borde del pavimento. Por esta razón, el orden de corte recomendado es: primero los transversales cada 7.2 m; después, el corte longitudinal al centro de la pista;

luego, los transversales cada 3,6 m, intermedios a los anteriores; y finalmente el resto de los cortes transversales.

Con la innovación en la dimensión de losas, también se ha visto la conveniencia de construir juntas simples para la continuidad en la construcción del pavimento, aprovechando la forma geométrica de las losas y promoviendo una menor cantidad de zonas de falla, evitando el desportillamiento prematuro ocasionado por la concentración de esfuerzos en áreas de corte como se muestra en las figuras N° 14 y 15.

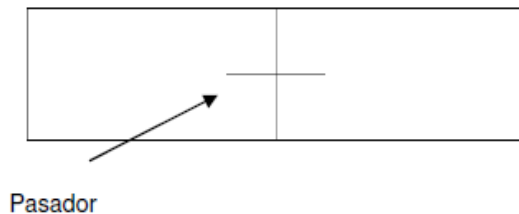
Figura N° 14: Forma constructiva tradicional de juntas para continuidad constructiva del pavimento



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Ahora se propone la construcción de un nuevo tipo de junta sencilla.

Figura N° 15: Forma constructiva nueva de junta sencilla para la continuidad del pavimento



Fuente; Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

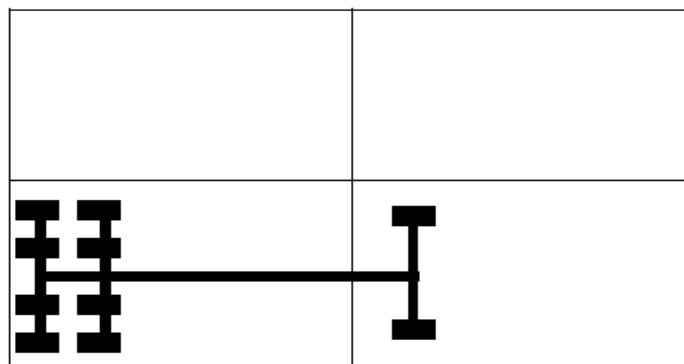
Se deberá disponer de por lo menos dos (2) equipos de corte para efectuar el corte del concreto u hormigón, en el caso de que el hormigonado se haya hecho en una larga extensión. El corte se deberá realizar con sierra delgada de modo que el corte quede con espesor no mayor que 2,0mm de manera de evitar el ingreso de partículas dañinas al interior de la junta, lo que pudiera deteriorarla.

Las juntas no se sellarán si se ha realizado el corte con sierra delgada, ya que su poco espesor impide el ingreso de partículas incompresibles. Sin embargo, se deberá repasar la membrana de curado en los cortes para asegurar una buena hidratación de las aristas de éste, asegurando su resistencia al desgaste y rotura.

Para evitar colocar sellos, se recomienda el uso de sierras de corte delgado (1,8mm): su espesor impide el ingreso de partículas en las juntas y, por lo tanto, éstas pueden dejarse sin sellar y prescindir de su futuro mantenimiento.

Entonces si la finalidad del análisis de elementos finitos en losas cortas es la distribución de cargas y el comportamiento que tiene en las mismas los efectos de alabeo provocado por los gradientes térmicos, hace necesario reflejar la importancia que tiene la distancia entre las juntas longitudinales y transversales en el pavimento terminado, como se muestra en la figura N° 15:

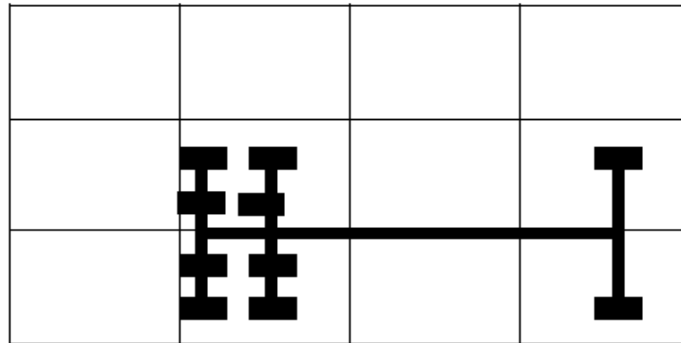
Figura N° 16: Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas largas rectangulares de 450 X 350cm



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala.

Redistribuyendo las cargas sin concentrar la mayoría de las cargas solamente en una sección de la losa, se propone:

Figura N° 17: Ubicación de ejes vehiculares de diseño y sus cargas en losas cortas cuadradas de 180cm



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Construcción de juntas y su transferencia de carga

Con este sistema de distribución, solo una rueda cruza la junta al mismo tiempo, lo cual minimiza el efecto de una carga mayor del vehículo y baja el esfuerzo sobre la losa. Este tipo de juntas deben ser usadas cuando no se pretende utilizar barras de transferencia de cargas.

Las juntas deben estar diseñadas para transferir una porción de la carga entre losas adyacentes minimizando así deflexiones verticales en la junta producidas por las cargas de vehículos. El reducir deflexiones disminuye el potencial bombeo de materiales de subbase además del escalonamiento.

Debe recordarse nuevamente que el clima y la dureza de los agregados tienen un gran impacto en la eficiencia de la transferencia.

Juntas transversales de contracción

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa. Se han realizado estudios que han demostrado que el espesor del pavimento, rigidez de la base y el clima afectan la máxima separación esperada entre juntas transversales.

Otras investigaciones indican también que hay una relación general entre la longitud de la losa (L) con el radio de rigidez relativa I y la fisuración transversal.

El radio de rigidez relativa es un término definido por Westergaard que cuantifica la relación entre la rigidez de la fundación y la rigidez de la losa.

Teniendo el radio de rigidez relativa una dimensión lineal.

Adicionalmente otras investigaciones establecieron que hay un incremento en la fisuración transversal cuando el radio L/I excede 5.0. Usando el criterio de que el máximo radio L/I es de 5.0, el espacio de juntas disponible se incrementaría con el espesor de la losa, pero disminuiría con el incremento de las condiciones de soporte de la fundación.

El intervalo de juntas se diseña para evitar fisuras transversales intermedias. Usualmente, el espacio entre juntas no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa. Es importante también mantener las losas lo más cuadradas posibles. El espaciamiento entre juntas transversales tampoco debe exceder en 1.25 al ancho de la losa.

Cuando se diseñan pasadores, AASHTO recomienda usar barras de diámetro igual o mayor a $1/8$ del espesor de la losa. La longitud de estas barras varía entre 40 a 45cm. Los pasadores se colocan a la mitad del espesor de la losa, con espaciamiento de 30cm entre ejes de barra, colocándose la primera a 15cm de la orilla de la losa. Estos pasadores deben recubrirse con materiales que eviten su adherencia con el hormigón y que las protejan contra la corrosión.

Se debe tener un especial cuidado con el alineamiento, ya que las pequeñas desviaciones entre los extremos de la barra ya sea en sentido vertical u horizontal respecto a su dirección teórica que debe ser paralela al eje del pavimento, pueden ocasionar agrietamientos.

Juntas transversales de construcción:

Son juntas construidas al final del día de trabajo u otra interrupción de colocado si se produce un lapso mayor a 60 minutos en clima cálido y 90 minutos en clima frío, este tiempo es medido desde la elaboración del hormigón hasta su puesta en obra y posterior acabado.

Para la construcción de estas juntas, se debe usar un encofrado de cara plana, Ver Figura N°17.

Foto N° 18: Junta transversal de construcción



Juntas longitudinales

Son aquellas que van paralelas al eje central de la vía, controlan la fisuración y en algunos casos delimitan las líneas de tráfico; Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte.

Aunque el tiempo de corte no es tan crítico como en las juntas transversales, es conveniente efectuarlo tan pronto como sea posible especialmente cuando existen subbases estabilizadas u ocurren cambios de temperatura muy bruscos.

En el caso que se realice el vaciado por carriles y se tenga pensado el uso de barras de amarre, éstas deberán colocarse de forma manual en el caso de que no se tenga un insertador automático. Se deberá tener cuidado de no hacer coincidir estas barras con los pasadores transversales para evitar golpes y desalineados, Ver Figuras N° 18 y 19.

Figura N° 19: Construcción junta longitudinal con formaleta



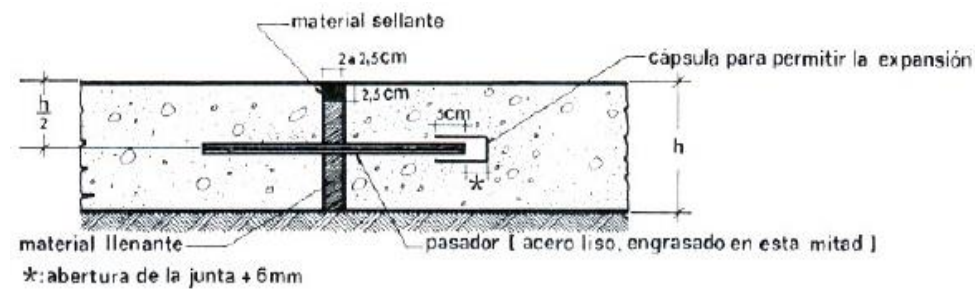
Juntas de separación y expansión

Son construidas para permitir el movimiento de las losas sin dañar pavimentos adyacentes, intersección de calles, estructuras de drenaje, puentes y otras estructuras fijas. Existen dos tipos de juntas de expansión, dependiendo su necesidad de empleo.

El primer tipo es la junta con barras lisas para transferencia de cargas, cada una de las cuales está provista en uno de sus extremos de un capuchón, que permite que las barras se muevan libremente por expansión y contracción, tal como se muestra en la Figura N° 19.

Debido a que estas juntas tienen una separación de 2cm o más, requieren la presencia de un material de relleno preformado, constituido por un material flexible, no extruible y no absorbente, cubriendo todo el ancho y espesor de la losa, por debajo de 2.5cm debajo de la superficie, finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

Figura N° 20: Detalle de junta de expansión Tipo 1

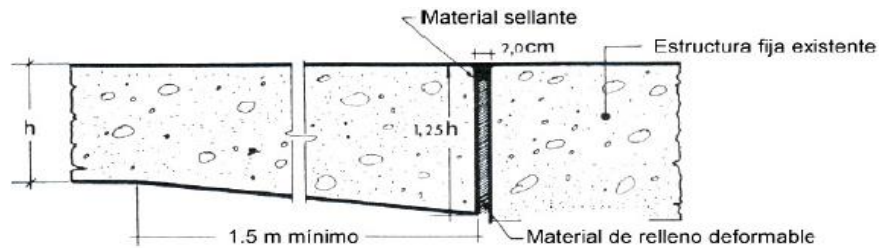


Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas, el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la Figura N° 21.

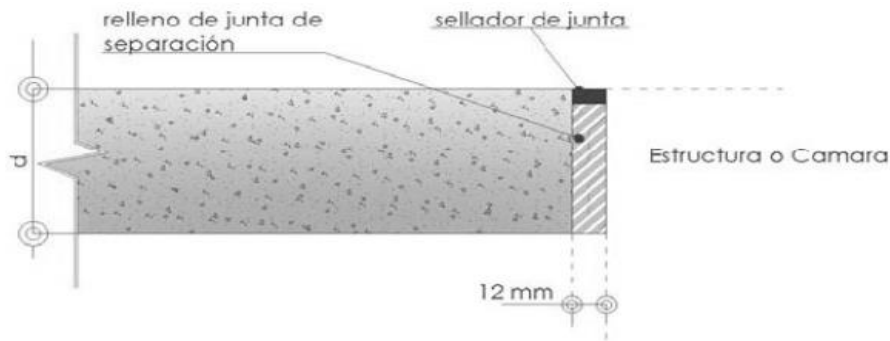
En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones descritas para el primer tipo de junta de expansión; Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocados de pasadores con anterioridad.

Figura N° 21: Detalle construcción de juntas de expansión o continuidad Tipo 2.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Figura N° 22. Detalle de construcción de junta en estructuras existentes caso de estructura de puente, y paso peatonal.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Fallas estructurales y sus causas en losas de pavimento rígido

Una de las principales fallas son los agrietamientos consecuencia de la contracción del concreto u hormigón, ocurre a muy temprana edad, como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por la pérdida de agua por evaporación.

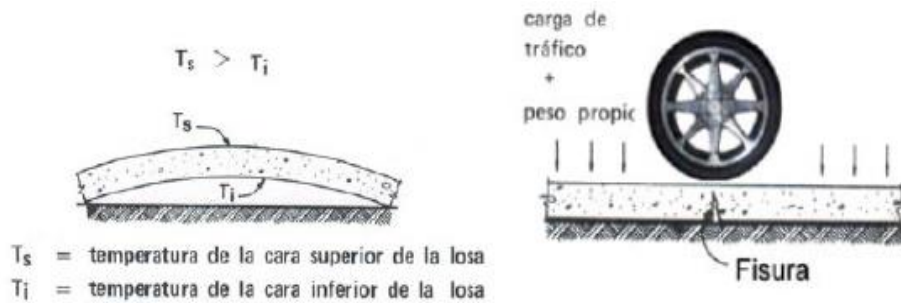
La contracción y expansión no ocurren libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la subbase, lo que genera esfuerzos de tensión en el hormigón, que a su vez generan fisuración transversal en el pavimento.

La separación y el ancho de las fisuras transversales dependen, entre otras cosas, del tipo de material de la capa de apoyo; Cuando se tienen subbases rígidas, el patrón de agrietamiento se presenta con separaciones cortas y poco anchas, mientras que en subbases granulares se presentan separaciones mayores y con mayor ancho.

La fisuración también puede ocurrir a edades mayores cuando el hormigón ya se encuentra endurecido, como consecuencia de gradientes térmicos y de humedad, debido a los cuales las losas experimentan alabeos, con cambios de forma y curvatura sensibles en el transcurso del día y de la noche.

Los agrietamientos térmicos modifican el sentido de la curvatura de las losas, pasando de cóncavo durante la noche a convexo hacia abajo durante el día, Ver Figura N° 22.

Figura N° 23: Puntos de falla generados por la aplicación de cargas vehiculares con alabeo existente en losas.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala

Debe tenerse cuidado en el diseño de juntas, debiendo tener en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de cargas deseada, así como permitir la colocación de un material de sello que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales incompresibles que restrinjan el libre movimiento de las losas.

Aunque en ocasiones las fallas no se presentan por una mala concepción de diseño del pavimento, sino que obedece a malos controles en la calidad constructiva de los mismos, generando así un deterioro prematuro.

Especificaciones generales regionales para la construcción de pavimentos rígidos.

Para la construcción de pavimentos rígidos u hormigón se deben considerar las condiciones estructurales del pavimento como estructura conjunta y poder de esta forma establecer sus características mecánicas y especificaciones para su construcción a nivel regional. En los pavimentos rígidos, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una mejor distribución de las cargas respecto al pavimento flexible, produciendo bajas tensiones a nivel de la subrasante o explanada.

En el análisis estructural del pavimento rígido, deben también ser considerados el resto de los elementos que componen la estructura del paquete del pavimento o firme, y sus características para su construcción.

Las características y requerimientos que a continuación se presentan, son especificaciones regionales para Perú y el resto de Sudamérica, comprendidas tanto en las especificaciones para el diseño y construcción de carreteras de Perú, respectivamente. En este contexto, se pasa revista a los siguientes elementos estructurales:

- Subrasante o explanada
- Subbase
- Base
- Base estabilizada

Subrasante o explanada

Lo que se llama indistintamente como subrasante o explanada se refiere a la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante o explanada, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

Características de los materiales de subrasante o explanada

Tiene que estar libre de vegetación y materia orgánica, de lo contrario, el material deberá reemplazarse por material adecuado para subrasante en el tramo correspondiente o considerar la estabilización de los suelos subyacentes.

En general los materiales apropiados para capa de subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo. Según AASHTO M-145, los suelos clasificados A-8, son materiales inadecuados para la capa de subrasante, ya que son suelos orgánicos constituidos por materiales vegetales o fangosos.

Estos suelos generalmente tienen textura fibrosa, presencia de materia orgánica, color café oscuro y olor a podredumbre y son altamente compresibles, con muy baja resistencia. Cuando en la subrasante aparezcan áreas con este tipo de material, deberá reemplazarse por otro que llene los requisitos para subrasante, haciendo previamente la remoción del material inapropiado.

Características de compactación para subrasante o explanada

Para compactar la capa de subrasante, el espesor de ésta debe escarificarse, homogenizarse, mezclarse, conformarse y compactarse en su totalidad, hasta lograr como mínimo el 95% de compactación.

La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares.

Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada. Esta capa de material se coloca

entre la subrasante y la capa de base, sirviendo como material de transición, en los pavimentos flexibles.

Características de los materiales para subbase

El material de subbase deberá ser seleccionado y tener mayor valor soporte (CBR) que el material de subrasante y su espesor será variable por tramos, dependiendo de las condiciones y características de los suelos existentes en la subrasante.

Los materiales de subbase deben ser suelos del tipo granular que llenen los siguientes requisitos:

- El valor soporte (CBR) debe determinarse según AASHTO T-193 sobre muestra saturada según AASHTO T-180. El tamaño de las piedras que contenga el material de subbase no debe ser mayor de 2/3 del espesor de esta y los porcentajes que pasan los tamices No. 40 y No. 200, deben ser según AASHTO T-11 y T-27.
- El índice de plasticidad debe determinarse según AASHTO T-90, y el límite Líquido según AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo, según AASHTO T-146.
- El equivalente de arena es determinado por el método AASHTO T-176.
- El material debe estar libre de impurezas tales como: basura, materia orgánica, terrones de arcilla y cualquier otro material que pueda ocasionar problemas específicos al pavimento.

Compactación

El material de subbase debe ser tendido en capas no mayores de 20 centímetros de espesor. Este debe homogenizarse y conformarse, agregándole la cantidad de agua que sea necesaria para lograr la compactación en su totalidad, hasta alcanzar su densidad máxima por el método AASHTO T-180.

Base

Es la capa de pavimento que tiene como función primordial, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito, a la subbase y a través de ésta a la subrasante, y es la capa sobre la cual se coloca la capa de rodadura. Las bases especificadas son las siguientes:

Base granular

Material constituido por piedra de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno o bien por una combinación de piedra o grava, con arena y suelo, en su estado natural. Todos estos materiales deben ser clasificados para formar una base integrante de la estructura de pavimento; Su estabilidad dependerá de la graduación de las partículas, su forma, densidad relativa, fricción interna y cohesión, y todas estas propiedades dependerán de la proporción de finos con respecto al agregado grueso.

Base triturada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, para constituir una base integrante de un pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a las capas subyacentes.

Materiales

Debe corresponder a los tipos de graduación determinados según AASHTO T-27 y T-11, Además, el material de base es necesario que llene como mínimo las siguientes condiciones:

Valor soporte (CBR) para piedra triturada y para grava (canto rodado), según AASHTO T-193, la compactación según AASHTO T-180 e hinchamiento máximo según AASHTO T 193.

- El material debe estar libre de impurezas y residuos orgánicos.

- La porción de agregado retenida en el tamiz No. 4 no debe tener un porcentaje de desgaste, por abrasión, según AASHTO T-96.
- La porción que pasa el tamiz No. 40 debe tener un índice de plasticidad según se indica en AASHTO T-90 y un límite líquido mayor al indicado en AASHTO T-89, determinados ambos sobre una muestra preparada en húmedo según AASHTO T-25.
- El porcentaje que pasa el tamiz No. 200, debe ser menor que la mitad del porcentaje que pasa el tamiz No. 40.
- El equivalente de arena no debe de ser menor a como se indica en AASHTO T-176.
- Cuando se necesite agregar material de relleno en adición al que se encuentra naturalmente en el material triturado, para proporcionarle características adecuadas de granulometría y cohesión, éste debe ser libre de impurezas y consistir en suelo arenoso, limo orgánico, polvo de roca u otro material con alto porcentaje de partículas que pasen por el tamiz No. 10.

Compactación

Antes de tender el material de base, el material de subbase debe tener la compactación mínima de 95% de compactación.

Cuando el espesor de base sea mayor de 20 centímetros, se tendrá que hacer la compactación por capas, siempre que éstas no sean mayores de 20 ni menores de 10 centímetros. Además, se tiene que humedecer la superficie entre capas, para conseguir una mejor adhesión entre éstas y así evitar deslizamientos.

Al compactar, el material debe ser homogéneo y debe estar humedecido y mezclado, para lograr la densidad especificada. La capa de base ya terminada, tiene que quedar lo más uniforme posible, para evitar concentración de esfuerzos en la capa de rodadura, al estar el pavimento ya dispuesto para la circulación de vehículos.

Base estabilizada

Es la capa formada por la combinación de piedra o grava trituradas, combinadas con material de relleno, mezclados con materiales o productos estabilizadores, preparada y construida aplicando técnicas de estabilización, para mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia, para constituir una base integrante del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito, a la capa de subbase.

Cuando las bases han sido compactadas a su humedad óptima y densidad máxima, son altamente resistentes a la desintegración, además de mejorar sus condiciones de estabilidad y resistencia a la humedad, proporcionando una mejor distribución de las cargas de tránsito a las capas subyacentes de la estructura de pavimento. Es de resaltar que la adición de cemento a ciertos suelos plásticos los transforma en buenos materiales para base.

La utilización de cemento Portland para la estabilización de materiales de base, se considera cuando es necesario cambiar algunas características físicas y mejorar sus condiciones mecánicas. Es conveniente que al utilizar cemento para estabilizar suelos, se realicen pruebas en el laboratorio, que permitan determinar el contenido máximo que se puede utilizar, sin que se produzcan agrietamientos en la muestras, ya que este comportamiento es el que se obtendría en la carretera.

Es necesario tomar en cuenta, que no es lo mismo estabilizar que rigidizar, ya que los materiales obtienen del producto estabilizador algunas condiciones de beneficio como son la impermeabilidad, disminución de los límites de consistencia y aumento del CBR, pero también toman otras como una alta rigidización que no es conveniente al material, por el hecho de que esta condición permite la aparición de grietas.

Es conveniente hacer notar que el cemento como estabilizador es un material de alta calidad, especialmente si los materiales con los cuales se va a combinar son de la misma generación que él (gravas, rocas, arenas, etc.), pero al utilizarse con

suelos como limos, arcillas, etc. la situación cambia, ya que estos son muy susceptibles a agrietarse cuando el contenido de cemento es muy alto.

Para efecto de la estabilización de bases también podrán usarse compuestos estabilizadores químicos y orgánicos basados en resinas sintéticas, solos o en combinación con cal, cemento o material bituminoso.

Estos productos deben requerir el certificado de calidad extendido por el fabricante o distribuidor, incluyendo los aspectos referentes a dosificación, procedimientos de aplicación, resistencia y durabilidad del producto.

Se deberán realizar ensayos de laboratorio a las mezclas de estos productos con suelos, para determinar sus características físico-químicas y comprobar su efectividad y verificando que se obtenga la resistencia a la compresión según AASHTO T-135 y la densidad máxima Proctor, según AASHTO T-99.

Compactación

La capa estabilizada debe compactarse en su totalidad hasta lograr su densidad máxima, según AASHTO T-134 y T-191 y debe ejecutarse en capas no mayores de 30 ni menores de 15 centímetros. Cuando la capa estabilizada tiene un espesor que excede los 30cm., la compactación debe hacerse por capas de 15 centímetros y no debe tenderse la siguiente capa antes de transcurrido el tiempo mínimo de curado de la inmediata inferior.

Debe controlarse por medio de ensayos de laboratorio y de campo, la compactación que debe dar al material según el equipo de que dispone, para lograr la densidad especificada. Se establece una tolerancia en menos, del 3% respecto al porcentaje de compactación estipulado para cada tipo de estabilizador de que se trate, para la aceptación de la capa de base y/ o subbase estabilizada.

No deben transcurrir más de 60 minutos entre el final del tendido y la conformación y el inicio de la compactación. Realizada la compactación, se debe comprobar la resistencia a la compresión según ASTM1 D-1632 y D-1633.

La textura de la superficie no debe ser lisa, debiéndose escarificar ligeramente o pasar escoba de arrastre para dejar la superficie con la rugosidad adecuada, con el fin de evitar deslizamientos entre la capa de rodadura y sobre el material de base estabilizado.

Especificaciones para concreto

Los pavimentos de concreto rígido, deben llenar los requisitos siguientes:

Cementos Portland.

Estos cementos deben cumplir con proveer una resistencia de 28MPa (4,000 psi) o mayor.

Agregado fino.

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, que llene los requisitos de AASHTO M-6, Clase B, AASHTO T-104 y AASHTO T-106 con las limitaciones sobre cantidad de finos allí estipuladas, para concreto de pavimentos y para concreto sujeto a desgaste superficial.

El agregado fino debe ser almacenado separadamente del agregado grueso, en pilas independientes para las diversas procedencias, debiéndose controlar sus características y condiciones por medio de ensayos de laboratorio, para hacer los ajustes en la dosificación, en el momento de la elaboración del concreto.

Agregado grueso.

Debe consistir en grava o piedra trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, que llene los requisitos establecidos en AASHTO M 80, ASTM C33, AASHTO T 104 ó ASTM C 88, AASHTO T 96 ó ASTM C 131 y ASTM C 535 incluyendo los requisitos de desgaste o abrasión y la limitación de partículas planas y alargadas.

Agua.

El agua para mezclado y curado del concreto o lavado de agregados debe ser preferentemente potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, ácidos, álcalis, azúcar, sales como cloruros o sulfatos, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

El agua de mar o aguas salobres y de pantanos no deben usarse para concreto reforzado.

El agua proveniente de abastecimientos o sistemas de distribución de agua potable, puede usarse sin ensayos previos. Donde el lugar de abastecimiento sea poco profundo, la toma debe hacerse en forma que excluya sedimentos, toda hierba y otras materias perjudiciales.

Cuando se dude de la calidad del agua deberá cumplir con AASHTO T 106, ASTM C 109, AASHTO T 131 y ASTM C 191.

Aditivos.

Los aditivos deberán tener la capacidad de mantener esencialmente la misma composición y rendimiento del concreto de la mezcla básica. No se permitirá el uso de aditivos que contengan iones de cloruro, en ningún tipo de concreto reforzado o preesforzado o concretos que contengan elementos galvanizados o de aluminio. Previa a la autorización del uso de aditivos, el contratista deberá realizar mezclas de pruebas de campo, utilizando los materiales y equipo a emplear en el proyecto u obra.

Si se emplea más de un aditivo, debe cuidarse de que los efectos deseables de cada uno se realicen y no interfieran entre sí. Cuando se empleen aditivos acelerantes en tiempo caluroso, deben tomarse las precauciones necesarias para evitar un fraguado muy rápido del concreto.

Los aditivos permisibles son los siguientes:

Aditivos incorporadores o inclusores de aire.

Estos aditivos deben cumplir con lo prescrito en AASHTO M 154, ASTM C 260 ó COGUANOR NGO 41069.

Aditivos retardantes.

Estos aditivos deben cumplir con los requisitos para los aditivos tipo B ó tipo D, establecidos en AASHTO M 194, ASTM C 494 ó COGUANOR NGO 41070.

Aditivos acelerantes.

Los aditivos acelerantes deben cumplir con los requisitos establecidos para los aditivos Tipo C, establecidos en ASTM C 494, AASHTO M 194 ó COGUANOR NGO 41070, excepto que no deberán contener cloruros.

Aditivos reductores de agua, reductores de agua y retardantes, reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango y reductores de agua de alto rango y retardantes.

Deberán cumplir con los requisitos establecidos en AASHTO M 194, ASTM C 494 ó COGUANOR NG 41070

Aditivos plastificantes y plastificantes y retardantes.

Deberán cumplir con los requisitos establecidos para los aditivos tipos I y II en ASTM C 1017 ó COGUANOR NG 41047.

Cloruro de calcio

Cuando se especifique su empleo como aditivo acelerante, debe usarse sólo para concreto simple sin refuerzo que no tenga aluminio ahogado, o que no sea fundido contra formaletas de metal galvanizado, y debe cumplir además con AASHTO M 144 ó ASTM D 98. No se debe usar en el concreto a utilizarse en pavimentación.

Ceniza volante de carbón y otras puzolanas naturales o artificiales

Al emplearse como aditivos minerales en el concreto, deben cumplir con los requisitos de AASHTO M 295, ASTM C 618 ó COGUANOR NG 41045.

Escoria granulada de alto horno

Cuando se les emplea como aditivo mineral en el concreto, deben cumplir con lo indicado en AASHTO M 302 y ASTM C 989, para grados 100 y 120.

Humo de sílice (o microsílíce)

Al emplearse como aditivo mineral en el concreto debe cumplir con lo indicado en AASHTO M 307 y ASTM C 1240.

Los aditivos Ceniza Volante de Carbón y Otras Puzolanas Naturales o Artificiales, Escoria Granulada de Alto Horno y Humo de Sílice (o Microsílíce) pueden ser utilizados en casos especiales como reemplazo parcial del cemento, siempre que no existan en el mercado cementos hidráulicos mezclados o adicionados que contengan estos aditivos, en cuyo caso se especificará preferentemente el empleo de estos cementos.

Aditivos expansivos y reductores de contracción

Cuando se especifique el uso de estos aditivos (para cementos expansivos o cementos de contracción compensada), estos materiales deben cumplir con ASTM C 845 y no producir efectos nocivos secundarios en el concreto.

Los ensayos de los aditivos deben hacerse, en lo posible, utilizando el mismo cemento y agregados propuestos para el trabajo de que se trate.

Requisitos para la clase y resistencia del concreto.

El concreto de cemento portland para pavimentos, debe ser como mínimo clase 24.5 (3,500) con una resistencia a compresión AASHTO T 22 (ASTM C 39), promedio mínima de 24.5 MPa (3,500 psi) y una resistencia a la flexión AASHTO T 97 (ASTM C 78), promedio mínima de 3.8 MPa (550 psi), determinadas sobre especímenes preparados según AASHTO T 126 (ASTM C 192) y T 23 (ASTM C 31), ensayados a los 28 días. Cuando en los planos y Disposiciones Especiales no se indique la clase, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto, deben usarse los valores que se indican a continuación.

Para pavimentos de carreteras principales y vías urbanas principales con un tránsito promedio diario anual mayor de 5,000 y con un tránsito pesado promedio diario arriba del 20%, debe usarse un concreto de clase 28 (4,000) o mayor, con una resistencia a la flexión AASHTO T97 (ASTM C78) promedio mínima de 4.5 MPa (650 psi) o mayor.

CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS OBJETO DE ANALISIS, EN FUNCIÓN DE SU GEOMETRÍA Y CAPACIDAD VEHICULAR

La clasificación de las carreteras usualmente se ha realizado según el país donde se construyen, aunque se establece la conveniencia de unificar criterios a nivel regional, la Secretaria de Integración Económica de Centro América SIECA, establece la clasificación de las carreteras dentro del territorio Sudamericano evaluándolas desde el punto de vista de su funcionalidad, agrupando a las carreteras según la naturaleza del servicio que están supuestas a brindar, lo cual se relaciona directamente con la estructura y categorización de los viajes; considerando dos elementos esenciales para la clasificación de las carreteras, según que su función primordial, la movilidad que facilita, y sus accesos , así como un balance de ambas características de los viajes.

Una clasificación funcional permite establecer sistemas integrados dentro de una concepción lógica, agrupa carreteras en categorías de características similares según sus objetivos, las cuales requieran el mismo grado de ingeniería y competencia administrativa.

Las carreteras con características análogas son sometidas a normas de diseño, las cuales son ajustadas en rangos apropiados de volúmenes de tránsito.

A nivel regional se ha sugerido clasificar las carreteras internacionales mesoamericanas de la siguiente manera:

Autopistas

Una autopista es una carretera especialmente diseñada y construida para el tráfico automotor, que no les presta servicio a las propiedades vecinas y que tiene accesos controlados, y la cual:

- (i) dispone, excepto en puntos especiales o temporalmente, de carriles separados para las dos direcciones del tráfico, separadas unas de las otras por una mediana divisoria que no se destina al tráfico o excepcionalmente por otros medios.
- (ii) no tiene cruces a nivel con cualquier carretera, ferrocarril o línea de tranvías, o paso de peatones.
- (iii) está especialmente señalizada como una autopista.

Carreteras troncales

Las carreteras troncales están concebidas fundamentalmente para dar acceso directo a los generadores principales de tránsito y se interconectan con el sistema de autopistas y vías de circulación rápida.

Los accesos se permiten directamente, excepto cuando se desea introducir algún grado de control de los mismos para favorecer la fluidez del tránsito de paso, reservándose espacios y diseños adecuados para estacionamiento y movimientos peatonales longitudinales. La construcción de calles marginales a estas carreteras es altamente recomendable, cuando se desea destacar su función de movilidad.

Carreteras colectoras

Las carreteras colectoras mantienen un balance entre su función de acceso a las propiedades colindantes y su importante función complementaria de movilidad y sirve como alimentador de las arterias troncales. Este tipo de vías estará dotado de una sección transversal provista de dos a cuatro carriles de circulación, para la atención del tránsito en ambos sentidos.

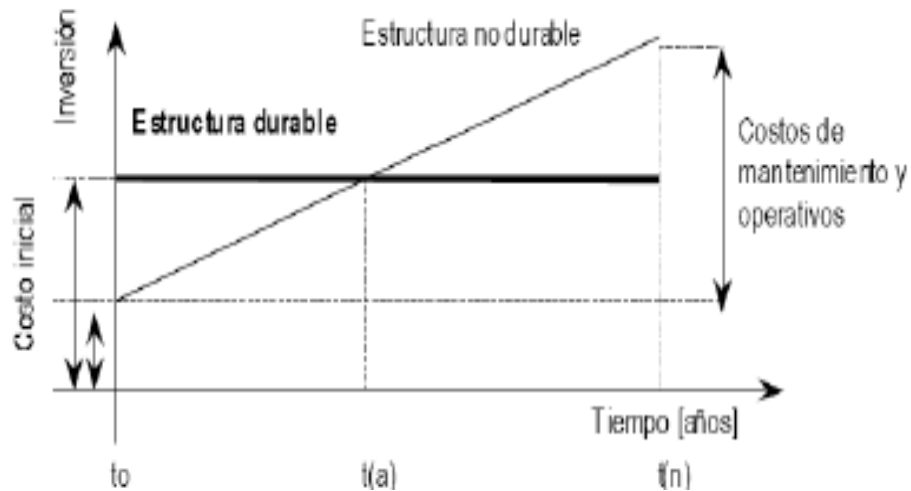
CLASIFICACIÓN DE LOS PAVIMENTOS RIGIDOS OBJETO DE ANÁLISIS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ESTRUCTURA Y MÉTODO CONSTRUCTIVO

Como se estableció se encuentra seis (6) tipos de pavimentos, siendo estos los siguientes:

- A. Pavimentos Asfálticos (PA)
- B. Pavimentos Rígidos (PR)
- C. Pavimentos Compuestos (Mixtos)
- D. Pavimentos de avanzada tecnológica: a carga plena (firme o base emulsionada total); a resistencia profunda (base + base emulsionada)
- E. Pavimentos Adoquinados
- F. Otros que van a depender del material, de sus características estructurales y el proceso de construcción (rodillados, líticos, de ladrillo, de planchas metálicas y mixtos) de la clasificación anterior, se evaluarán solamente los pavimentos de concreto hidráulico (PCH); pavimentos en los cuales se ha puesto en práctica el método constructivo de losas cortas.

8. RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Figura N° 24: Comparación inversión versus tiempo entre estructura durable y no durable.



Fuente: Román A, L.R. Método constructivo de losas cortas en pavimentos de concreto hidráulico. 2008. Guatemala.

Las especificaciones generales para la construcción de pavimentos rígidos, definen entre las principales ventajas en la construcción de este pavimento el bajo mantenimiento, la luminosidad, y la adherencia.

Efectivamente, estos pavimentos presentan estas características inicialmente, pero en Perú debido a las características que poseen los vehículos respecto a su mantenimiento mecánico, no tener el control sobre la contaminación que genera el transporte pesado en el traslado de sus mercaderías generan las siguientes condiciones en el primer año, Ver Tabla N° 02.

Tabla N° 02: Condición física y estructural de los pavimentos en evaluación.

CARACTERISTICA	INICIALMENTE		DESPUES DE UN AÑO	
Mantenimiento	NO			SI
Luminosidad		SI	NO	
Adherencia		SI	NO	
Fallas Estructurales	NO			SI

Por lo anteriormente expuesto debe considerarse seriamente la contaminación generada en la carpeta de rodadura, lo cual provoca la pérdida de las características de la luminosidad y la adherencia, obligando a un mantenimiento prematuro de la superficie del pavimento si se desean conservar las características de iniciales de su diseño.

Interpretación del análisis de la condición actual de los pavimentos en evaluación.

Según el análisis efectuado de los tramos en evaluación se estableció que la mayoría de los tramos se encuentran ubicados en la periferia de la capital de Perú, evidenciando la aparición de fallas que se consideran prematuras, pudiendo ser consecuencia de una probable deficiente calidad constructiva de los pavimentos.

De los tramos evaluados se estableció que los que poseen por lo menos un año de estar en funcionamiento, presentan características físicas de deterioro que promueven mantenimientos prematuros.

9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y OBSERVACIÓN

9.1 Resultados

Este capítulo realiza la interpretación del resultado obtenido del análisis efectuado principalmente al método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos, así como de los tramos carreteros en los cuales se a puesto en práctica dicho método y que fueron objeto de análisis en este informe.

Con la finalidad de tener una acertada interpretación de los resultados para los diferentes análisis realizados, debe considerarse la mayor cantidad de información posible, aunque en el caso específico de este método por ser una innovación en este tipo de pavimento, actualmente los estudios existentes respecto al mismo son escasos.

9.2 Interpretación del análisis del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos

Según el análisis realizado sobre dicho método, se ha establecido que en un inicio resulta ser una decisión muy acertada la distribución de cargas en el pavimento, ya que por la menor concentración de cargas vehiculares por losa se espera un mejor rendimiento del pavimento, adicionalmente las ventajas estructurales que induce, ya que con la innovación del método se evitan en la mayoría de los casos la utilización de refuerzos estructurales.

Para Perú la construcción de este tipo de pavimentos no obedece a la aplicación rigurosa del método de losas cortas en pavimentos rígidos como innovación, la construcción de este tipo de pavimento se basa en la durabilidad y bajo mantenimiento que se espera de este tipo de pavimentos (gestión de pavimentos), considerando lo siguiente:

El diseñar una estructura por durabilidad aporta ventajas técnicas y económicas, técnicamente permite que la estructura tenga un mejor desempeño en condiciones de servicio, y por tanto, la disminución en las reparaciones, que en términos

económicos minimiza costos de operación y de mantenimiento, viéndose reflejado en:

- Mejor desempeño y conservación ante las condiciones de servicio.
- Mayor vida útil.
- Menores costos de mantenimiento y operativos
- Menor valor presente del costo de la construcción y de sus costos de mantenimiento.
- Coadyuva a la rentabilidad del proyecto al reducir costos excesivos por reparaciones.

La construcción realizada con el concepto del diseño de durabilidad tiene exigencias implícitas, porque se requiere que la construcción se realice por operadores competentes, mano de obra calificada y una buena supervisión, lo cual no implica costos adicionales inherentes a su desempeño, y como resultado, su mejor funcionamiento no es más caro que el diseño que no contempla tales condiciones.

Los beneficios por considerar la durabilidad son mayores que los costos iniciales, si el costo de los ingredientes de un buen concreto no es diferente al costo de los mismos ingredientes para realizar un concreto de pobre o resistencia inferior, entonces resultan ser los costos de mantenimiento y reparaciones a largo plazo los que pueden incrementar su costo final. Esto frecuentemente sucede cuando la construcción se realiza inicialmente con ningún o escaso control de calidad.

La decisión de construir este tipo de pavimento pretende una disminución de los costos de operación haciendo el análisis estadístico financiero a largo plazo entre dos alternativas, una estructura tradicional, es decir, sin considerar la durabilidad, y una estructura diseñada por durabilidad, la primera requiere una menor inversión inicial, pero a través del tiempo requiere inversiones periódicas para seguir brindando servicio.

La estructura diseñada por durabilidad tiene una inversión inicial mayor, pero no debe necesitar mantenimientos ni reparaciones mayores para seguir dando servicio, y no acarrear costos operativos.

La necesidad que se tiene de establecer la incidencia económica de construir pavimentos rígidos con el método de losas sugiere un análisis del comportamiento económico de los materiales que intervienen para la construcción de dichos pavimentos.

9.3 Análisis de incidencia económica

El análisis de la incidencia económica en la construcción de pavimentos rígidos ha sido efectuado por medio de la evaluación del comportamiento de las fluctuaciones en los índices económicos relativos de precios de los principales elementos que se emplean en la construcción de dichos pavimentos.

Los principales elementos para el análisis serán los agregados, dentro de los cuales están aquellos cuyo origen es la meteorización o provenientes de acumulación de partículas en fuentes hídricas, los generados a partir de la trituración de roca, y el cemento.

Se realizará un análisis considerando que en el periodo del año 2015 al 2017, se han rehabilitado la mayoría de los tramos que han sido objeto de evaluación y análisis.

A continuación, se presentan los datos que representan la fluctuación de los índices económicos en los precios de venta de los principales elementos empleados en la construcción de la carpeta de rodadura de los pavimentos rígidos según el instituto nacional de Estadística de Perú. Ver Anexo, Sección de Materiales Varios.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

10.1 Conclusiones

Aunque con el método constructivo estructuralmente reduce el espesor del pavimento, queda en observación, ya que aún no es posible establecer la eficiencia del método constructivo de losas cortas en pavimentos rígidos en Perú, ya que las carreteras que se han construido con dicho método son de construcción reciente, no se tienen mayores registros de su comportamiento, y no han prestado el servicio suficiente para determinar la su funcionalidad.

Según evaluaciones visuales se estableció que los tramos evaluados, presentan algún tipo de deterioro; y, a pesar que la mayoría son de reciente construcción presentan características de deterioro estructural leve según la clasificación sugerida para este efecto.

Por las características constructivas y de diseño de los pavimentos rígidos con el método de losas cortas, se establece que actualmente no se cuenta con suficientes equipos auscultación que permitan el control y calidad final de los pavimentos construidos.

Según la evaluación realizada se estableció que la construcción de pavimentos rígidos tiene incidencia a nivel económico, principalmente por el aumento en renglones específicos en la construcción, como lo es el aumento en corte de losas, el aumento en los índices del precio al consumidor final del cemento, (uno de los principales materiales empleados en el medio de la construcción) como consecuencia del aumento de la demanda de este material durante la construcción este tipo de pavimentos.

10.2 Recomendaciones

Debe promoverse dentro de las dependencias encargadas del mantenimiento de la red vial de nuestro país, la creación del departamento de Gestión de Pavimentos, cuyas funciones incluyan realizar el monitoreo constante de las carreteras donde se ha construido este tipo de pavimentos, y especialmente aquellas en las que se haya empleado el método constructivo de losas cortas; con

la finalidad de tener de forma periódica registros confiables del comportamiento de dichos pavimentos, la certeza de la inversión y su eficiencia.

Actualizar lo referente a tecnológica en equipos de auscultación y monitoreo de pavimentos hidráulicos, ya que actualmente son pocos los equipos que se emplean para el control de calidad de los mismos.

Previamente a la construcción o rehabilitación de una carretera utilizando concreto portland, debe promoverse que de forma independiente o separada se realice el monitoreo, evaluación y análisis de la incidencia económica entre la posible reducción de espesor de losa y el aumento en cantidades de trabajo requerida para la construcción general del pavimento (incremento en cantidad de cortes longitudinales y transversales de losas), sin descuidar la característica medio ambiental, dejando abierta la posibilidad de tener más de un distribuidor de los diferentes materiales que se emplean en su construcción, tratando de minimizar la incidencia económica y posibles impactos ambientales por sobreexplotación de recursos naturales.

11. BIBLIOGRÁFICAS

- 1) HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, P. (1997). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw-Hill.
- 2) Seace. Proyecto: “Ampliación de pavimento rígido y veredas en la localidad de Saucapampa – Santa Cruz - Cajamarca”; .reporto que el Gobierno Central a través del Ministerio de Vivienda y Construcción Peru.
- 3) Bdecerra – Salas. Tesis denominado “Comparación técnico económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión”.
- 4) Asociación de Productores de Cemento del Perú, en una entrevista periodística, refiere que para el año 1865 1999 Lima, Perú.
- 5) Reglamento Nacional de vehículos. DS – 058- 2007- MTC, Lima Peru.
- 6) Huang, A Parametric study to investigate the influence of pavement and load [PDF] Recuperado en noviembre de 2017 del sitio Web del Department of Civil Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI:
www.uctc.net/scripts/countdown.pl?561. pdf pp1-26
- 7) Crespo, V. C. Vías de comunicación caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. Tercera Edición; México: Editorial Limusa, 2,005) pp 347-384
- 8) Secretaria de integración Económica de Centro América Manual Centroamericano para el diseño de pavimentos. Edición 2,002
Capítulos 2 al 8. 289 pp
- 9) Covarrubias, JP. “Pavimentos delgados de concreto” 2005 [PDF] Recuperado en Noviembre de 2016, del sitio Web del Instituto Chileno: <
http://www.ich.cl/pavimentos_delgados> pp 1-33

10) Mora, S 2,006 Pavimento de Concreto hidráulico [PDF] Recuperado en Noviembre de 2017, Del sitio Web: www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Seminario2006/3.%20Pavimento_Concreto_%20Ing_Mora.pdf pp 1-16

ANEXOS: Fotografías



Figura N° 25: Excavación del terreno natural con fines de cimentación



Figura N° 26: Excavación del terreno para cimentación.



Figura N° 27: Preparación del suelo para amentar la capacidad portante del terreno



Figura N° 28: Tendido del geotextil para evitar contaminación de los materiales finos con la base granular.



Figura N° 29: Riego y compactación de la capa de base granular.



Figura N° 30: Riego y compactación de la capa de base granular.



Figura N° 31: Ensayo de densidad de campo, para medir el grado de compactación de la capa de pavimento.



Figura N° 32: Ensayo de densidad de campo, para medir el grado de compactación de la capa de pavimento.



Figura N° 33: Encofrado y enmallado de losas cortas en los pavimentos rígidos.



Figura N° 34: Encofrado y enmallado de losas cortas en los pavimentos rígidos.



Figura N° 35: Vaciado de concreto en las losas cortas de los pavimentos rígidos



Figura N° 36: Vaciado de concreto en las losas cortas de los pavimentos rígidos



Figura N° 37: Curado del concreto con aditivo plastificante para evitar la evaporación del contenido de humedad del concreto.



Figura N° 38: Curado del concreto con aditivo plastificante para evitar la evaporación del contenido de humedad del concreto.



Figura N° 39: Corte con maquinaria en las juntas de contracción de las losas cortas de los pavimentos rígidos.



Figura N° 40: Corte con maquinaria en las juntas de contracción de las losas cortas de los pavimentos rígidos.



Figura N° 41: Limpieza y sellado de juntas de contracción y dilatación.



Figura N° 42: Limpieza y sellado de juntas de contracción y dilatación.



Figura N° 43: Pintando la señalización del pavimento rígido.



Figura N° 44: Pintando la señalización del pavimento rígido.



Figura N° 45: Limpieza final de la obra.



Figura N° 46: Obra concluida.