UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA / ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

REALIZADO POR	**Brito, Heidi**
PROFESOR GUIA	**Yackovlev, Vladimir**
FECHA	**Febrero 2012**

UCAB Universidad Católica ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA / ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:……..

J U R A D O E X A M I N A D O R

Firma	Firma	Firma
Nombre:……	Nombre:……	Nombre:……
VLADIMIR YACKOVLEV	Elena Asenjo.	Gustavo Corredor

REALIZADO POR	**Brito, Heidi**
PROFESOR GUIA	**Yackovlev, Vladimir**
FECHA	**Febrero 2012**

INDICE DE CONTENIDO

Índice de Contenido..... i

Índice de Figuras.....ii

Índice de Tablas.. iv

Agradecimientos..... v

Sinopsis.....1

I.- Introducción 2

II.- Planteamiento del Problema..... 6

III.- Objetivos.....7

III.1 Objetivo General 7

III.2 Objetivos Específicos 7

Alcance 7

Limitaciones 7

IV.- Antecedentes 8

V.- Conocimientos a nivel internacional sobre pavimentos para vías de bajo volumen de transito..... 9

VI.- Conceptos básicos aplicados a vías de bajo volumen de transito..... 20

VII.- Aplicación para vías de bajo volumen de tránsito según método del Dr. Jugo..... 35

VIII.- Conclusiones y Recomendaciones 39

VIII. 1 Conclusiones 39

VIII. 2 Conclusiones del Caso Practico.....40

VII.3 Recomendaciones 40

IX. Referencias Bibliográficas.....42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mezcla de modos de transporte no motorizados en zona Rural..... 10

Figura 2.- Vía de 3m, con Cuneta 11

Figura 3.- Colocación de Adoquines en Vía Rural 12

Figura 4.- Camino empedrado en Bolivia 17

Figura 5.- Camino empedrado en Ecuador 17

Figura 6.- Colocación de piedras, Camino empedrado en Bolivia.....18

Figura 7.- Camino empedrado en Ecuador 18

Figura 8.- Concepto de Número Estructural (SN) 22

Figura 9.- Valores referenciales del coeficiente estructural ai 22

Figura 10.- Número estructural SN Tráfico Bajo (hasta 400.000 EE).....23

Figura 11.- Número Estructural SN Tráfico Medio (400.000 a 1.200.000).....24

Figura 12.- Número Estructutal (SN) Tráfico Alto (1.400.000 a 2.000.000) 25

Figura 13.- Carta de Diseño para Caminos Afirmados, Considerando un Ahuellamiento Permisible.....29

Figura 14.- Carta de Diseño para Caminos Afirmados, Considerando una Pérdida de Serviciabilidad Admisible.. 30

Figura 15.- Estimación de Solicitaciones de Diseño. Estratigrafía Liviana 31

Figura 16.- Estimación Solicitaciones de Diseño. Estratigrafía Pesada.....32

Figura 17.- Estructura Tipo.....32

Figura 18.- Ejemplo Cartilla..... 33

Figura 19.- Ejemplo Cartilla..... 33

Figura 20.- Ejemplo Cartilla.....34

Figura 21.- Ejemplo Cartilla.....34

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clasificación de Subrasante 20

Tabla 2.- Condición de saturación de la subrasante 21

Tabla 3.- Clasificación de tráfico en vías de bajo volumen.....21

Tabla 4.- Espesor mínimo de CA 26

Tabla 5.- Las 6 Regiones Climática del Perú.....26

Tabla 6.- Duración Sugerida (en Meses) de las estaciones para las Seis Regiones Climáticas del Perú 27

Tabla 7.- Módulo Resilente del Suelo de Fundación Sugerido, Mr (psi), en Función de la Calidad Relativa del Material 27

Tabla 8.- Calidad Relativa del Suelo Afirmado 28

AGRADECIMIENTOS

Antes que todo le agradezco a Dios y a la Virgen Del Valle por darme las fuerzas en los momentos que más lo necesite.

A mi familia por haberme apoyado siempre a lo largo de esta carrera y darme las fuerzas suficientes para enfrentar las pruebas que se me han presentado. LOS AMO.

A mi "Gordo" que estuvo conmigo a lo largo de la carrera en los momentos más difíciles dándome su apoyo y sus consejos. Y que ahora desde el cielo está disfrutando esto conmigo y es la persona más feliz y orgullosa por este logro. TE AMO Y TE EXTRAÑO.

A mi Abuela por estar siempre presente en mi vida por ser una abuela tan "abuela" dedicada y entregada, y que a pesar de su carácter es la abuela más bella del mundo.

A mis Madres, Chepina, María y Carmen, por todo lo que me han dado en esta vida, pero sobre todo por sus sabios consejos y por estar a mi lado en los momentos más difíciles. GRACIAS LAS AMO.

A mi EXCELENTE Tutor el Dr. Vladimir Yackovlev, primero por ser un muy buen profesor, y por su apoyo al 1000% en esta investigación. GRACIAS.

A unas cuantas personas que comenzaron como conocidos y con el día a día, la convivencia, las tristezas, las alegrías, se fueron convirtiendo en PANAS, en las buenas, en las malas y en los apuros, se fueron convirtiendo en AMIGOS, y luego de unos cuantos años y de muchas historias, risas, llantos, peleas, los puedo llamar HERMANOS. LOS ADORO.

A mis Profesores, unos panas, otros no tanto, unos amados, unos no tanto, pero excelentes profesionales todos y que sin ellos y sus enseñanzas no hubiese sido posible estar culminando este camino.

UNIVERSIDAD CATOLICA ANDRES BELLO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

METODOLOGÍA PARA LA INVESTIGACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PAVIMENTACIÓN PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Trabajo Especial de Grado.

Autor: Br. Heidi M Brito Morales

Tutor: Dr. Vladimir Yackovlev

Sinopsis

Este Trabajo Especial de Grado tiene como objetivo general diseñar una metodología para la investigación de alternativas de pavimentación para vías de bajo volumen de tránsito, ya que existe la necesidad de tener una gran cantidad de vías que permitan que sectores rurales tengan accesibilidad a poblaciones que son sus mercados naturales.

En este estudio se investigarán las posibilidades de proveer alternativas de pavimentación que permitan tener vías de acceso durante todo el año, con bajos costos. Esto se posibilita por los bajos volúmenes de tránsito que tienen este tipo de vías, por lo que no se justifica la construcción de pavimentos tradicionales como se hace normalmente en carreteras que llevan un volumen de tránsito mucho más alto.

Se evaluará la filosofía de construcción de pavimentos, comparando las necesidades de diferentes tipos de vías, y se recomendarán soluciones para este tipo de vialidad.

I.- INTRODUCCIÓN

El problema de las vías de bajo volumen de tránsito es mucho más amplio de lo que generalmente se cree. Al realizar la revisión de la bibliografía existente sobre el tema – que no es mucha- uno percibe que la mayoría de los expertos en pavimentos, e investigadores del tema, concuerdan que es necesario buscar modelos y métodos de diseños de pavimentos que no sean los tradicionales para este tipo de vías.

El Banco Mundial, la Agencia para el Desarrollo Internacional de los EEUU de Norteamérica y el Laboratorio de Investigación de Carreteras ("Road Research Laboratory") del Reino Unido han sido los entes que más han insistido en la necesidad de buscar soluciones no tradicionales para este tipo de vías. El Banco Mundial, ente financiador de muchas obras de infraestructura en países en vías de desarrollo, ha sentido la necesidad de buscar respuestas para el diseño y pavimentación de vías de bajo volumen de tránsito en países en vías de desarrollo, para tratar de rebajar el costo de esas obras.

En relación a esta preocupación, expresada por los organismos financiadores de obras de infraestructura, el Ing W. P Chamberlin (4), Presidente del Comité sobre Aspectos Físicos de Pavimentos Rígidos, parte del grupo de estudio sobre Necesidades de Investigación del Consejo de Investigaciones de Transporte, señaló en su informe que "La buena Ingeniería Económica ya no puede tolerar más el desperdicio y el innecesario diseño sobredimensionado".

La referencia más antigua que se pudo encontrar fue la publicación de las Memorias de un foro sobre este tema, coauspiciado por el Consejo de Investigación de Transporte de las Academias de Ingeniería y Ciencias de los Estados Unidos de Norteamérica, el Banco Mundial, la Agencia de Desarrollo Internacional de los EEUU de Norteamérica, la AASTHO, la Administración Federal de Carreteras; y otras organizaciones de hace unos 35 años. (9)

En esta publicación, el Profesor Yoder (18) – autor del texto de Pavimentos más usado en el continente- señala que, en los Estados Unidos de Norteamérica, país considerado como uno de los más avanzados en materia de vialidad, de los más de 6 millones de km de vías existentes en ese país, más de 2 millones de km ó no tienen una capa de rodamiento o la única superficie que presenta la vía es de piedra picada o grava. Y casi un millón y medio de kms adicionales, tiene una capa de rodamiento consistente en un sello de superficie o una superficie de grava que combina la capa de rodamiento y la base en una sola capa de un espesor menor a 18cm, clasificada como de bajo soporte.

Vías como las descritas, se construyen constantemente, y deberíamos enfocar nuestros esfuerzos en estudiar como diseñar este tipo de vías, prestando atención a los objetivos siguientes:

1. Optimizar las consideraciones socio-económicas en la sección del trazado de rutas.
2. Minimizar problemas ambientales tales como el polvo, la erosión y los derrumbes.
3. Garantizar condiciones seguras de operación de los vehículos, tomando en cuenta el volumen de los vehículos usuarios de la vía.
4. Diseñar una sección estructural de la vía, anticipando las cargas de la vía, tomando en cuenta vehículos particulares hasta vehículos de cargas de hasta 100 toneladas de peso, para una circulación de hasta 100 vehículos por día.
5. Minimizar el costo y la perturbación del ambiente durante el período de la construcción.
6. Permitir nuevas alternativas de métodos constructivos y procedimientos de mantenimiento que sean eficientes.

La revisión bibliográfica que se hizo para este Trabajo Especial de Grado demuestra claramente que la razón primordial para el interés en este tipo de vías es una razón económica, tomado en su sentido más amplio. Por una parte, se busca un método que por sus características permita rebajar los costos de construcción, el uso de materiales locales, etc, y por la otra, como lo sugiere un artículo publicado en la revista FONTUR, se podría utilizar este tipo de vías para generar bienestar en la población local, cercana a la vía en construcción, utilizando métodos constructivos intensivos en el uso de mano de obra.

El Profesor Oglesby (10) señala que, en general, la mayoría de las normas de diseño que usamos para carreteras, ni son económicas ni son factibles de ser usadas para vías de bajo volumen. Por ello, el diseño de vías de bajo volumen debe, y puede ser, muy innovador.

El Banco Mundial, con el apoyo del "Road Research Laboratory" un Centro de Investigación de materiales y carreteras de importancia mundial, han desarrollado estudios en Kenya, mediante los cuales Harral y Agarwal (6) han propuesto métodos para estimar intervalos óptimos para nivelar caminos de grava, así como establecer normas mínimas para vías pavimentadas.

Muchos de los métodos de diseño que están en uso hoy en día para vías de bajo volumen, son extensiones de métodos desarrollados para otro tipo de vías.

En este sentido, un esfuerzo muy importante fue realizado por el Dr. Augusto Jugo, Ingeniero de amplia experiencia en el área de pavimentos en Venezuela, quien desarrolló un método de diseño basado en una aplicación del Método de Diseño AASHTO-93 para pavimentos de vías de bajo volumen. En ese trabajo que representa un valioso aporte a este campo, el Dr. Jugo utiliza los criterios del Método de Diseño AASHTO-93, ajustando los factores de carga en función de ejes equivalentes, así como los valores de probabilidad involucrados en ese diseño.

Las ideas y discusiones que emergen de la revisión de la literatura sobre el tema nos muestran que el ingeniero debe diseñar este tipo de vías desde un punto de vista diferente del que se usa para el diseño de vías de alto volumen de tránsito. Uno de los temas que emerge continuamente, en los estudios para el diseño y construcción de vías de bajo volumen, es que existe la necesidad de centrarse en el tema económico. Muchos de los autores que han investigado este tema, señalan que los conceptos de diseño para este tipo de vías deberían usar métodos simplificados, pero razonables.

En este sentido varios autores señalan que el principio de usar lo que uno sabe que va a funcionar bien, independientemente de su costo, no es aplicable a las vías de bajo volumen.

En relación a este tema, Thompson (16), y otros autores, concuerdan que uno debe usar los materiales localmente disponibles, posiblemente con diversos métodos de estabilización de suelos, pero tampoco debe descartarse las ventajas de un proceso de mayor compactación.

Ciertamente, la estabilización con cemento o cal, así como el uso de asfaltos en la estabilización de suelos arenosos, parecen ser soluciones particularmente aptas para vías de bajo volumen.

Dentro de los aspectos económicos que puedan influir en el diseño, y métodos constructivos para vías de bajo volumen, esta la selección de métodos constructivos y tipos de pavimentación que serian inaceptables para vías de alto volúmenes de tráfico, pero que pueden ser ventajosos en este tipo de vía.

Como ejemplo, se puede citar el uso de baldoquines como elemento de pavimentación, dado que en una perspectiva económica global de la vía, este factor generador de empleo para la población, pudiera ser un factor determinante para su elección como método de pavimentación.

Se puede asegurar que para vías de bajo volumen no es necesario contar con métodos sofisticados para estimar los volúmenes de tráfico, y su composición.

Es obvio que sí se necesita una estimación del tráfico que va a usar la vía, pero no es necesaria una gran precisión para estos casos.

En síntesis, podemos decir que los estudios que existen en este campo, de vías de bajo volumen de tráfico, coinciden en que desde el punto de vista de diseño, el ingeniero debe enfocarlo de forma diferente a como lo haría para una vía de alto volumen de tráfico.

Igualmente, hay acuerdo en que es necesario que se desarrollen estudios sobre este tema, dado que los datos existentes no son numerosos.

II.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los métodos de diseño de pavimentos son todos empíricos y por ende, desarrollado por diferentes organismos de diversos países, en base a experiencias, mediciones de datos, pruebas de carreteras, etc.

En todos estos casos se utilizan mediciones de cargas y volúmenes de tráfico que corresponden a vías de uso normal, sean carreteras o autopistas, y en éstos, el diseño del pavimento resulta en una estructura bastante pesada.

Sin embargo, existen muchos casos de vías que tienen un volumen de tránsito muy bajo, con lo cual los métodos de diseño normal darían como resultado un diseño sobre dimensionado para este tipo de vía.

Este trabajo pretende estudiar el proceso de diseño de un pavimento y que se hace a nivel internacional para diseñar pavimentos para vías de bajo volumen de tránsito y en base a ello, señalar alternativas para este tipo de vías bajo volumen, alternativas que a su vez puedan utilizar materiales locales y una fuerza laboral también local.

III.- OBJETIVOS

III.1.- OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del trabajo es un análisis del estado de conocimiento del diseño de pavimentos para vías de bajo volumen de transito.

III.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Una revisión, a nivel internacional, de la práctica del diseño de pavimentos para vías de bajo volumen de tránsito.
2. Identificar aéreas de estudios a desarrollar como temas de futuros trabajos en la universidad.
3. Variantes de diseño y construcción para vías rurales.

ALCANCES

La investigación para este trabajo está limitada a conocer y estudiar lo que, a nivel internacional y nacional, se haya hecho en este campo y estudiar las propuestas que ya existen para la pavimentación de vías de bajo volumen de tránsito.

LIMITACIONES

Las limitaciones de este estudio son las propias de este tipo de trabajo que depende de las referencias que se puedan localizar, tanto en físico como a través de búsqueda por medios electrónicos, lo que no siempre alcanza a una cobertura total. Adicionalmente, existen limitaciones presupuestarias y de costo así como acceso a divisas lo que hoy en día ha limitado en gran parte el acceso a publicaciones técnicas del exterior.

IV.- ANTECEDENTES

Los caminos de bajo volumen de tránsito constituyen una parte importante de la red vial interurbana de Venezuela presentando una gran variedad de estándares tanto geométricos como en la calidad de su superficie de rodamiento. Los estándares que presentan los caminos de bajo volumen de tránsito en Venezuela, van desde caminos de tierra a caminos con estructuras de pavimentos con diferentes tipos de carpeta de rodamiento. La situación prevaleciente de las plataformas de rodamiento existentes presenta los siguientes tipos de problemas:

- Superficie de rodamiento de baja funcionalidad lo que conlleva a caminos con relativos altos costos operacionales.
- Superficie de rodamiento que presentan restricciones para ser utilizadas en todas las épocas del año.
- Superficie de rodamiento que requiere una frecuencia relativamente alta de conservación.
- Polución ambiental por polvo en suspensión.
- Problemas de seguridad.

Una problemática importante de un gran número de vías de bajo volumen de tránsito se relaciona con la relativa baja calidad funcional y estructural de sus pavimentos o superficies de rodamiento, dando bajos niveles de servicio y baja durabilidad.

La problemática se relaciona en gran medida con la limitación de recursos de inversión para mejorar los estándares de este tipo de vías así como la restricción de recursos para la conservación de las mismas. Todo esto se traduce en que muchos caminos de bajo volumen de tránsito, cumplan sus funciones con importantes limitaciones funcionales (movilidad, accesibilidad y seguridad) y altos costos operacionales.

V.- CONOCIMIENTOS A NIVEL INTERNACIONAL SOBRE PAVIMENTOS PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRANSITO.

Las vías de bajo volumen de tránsito se presentan en áreas rurales al igual que en zonas residenciales de áreas urbanas, donde pasan un número muy limitado de vehículos.

Cabe señalar que en nuestro país- en la década de los 80- el Ing. Luis Salamé (12) ingeniero dedicado por muchos años al estudio y diseño de pavimentos, propuso un método de diseño, para vías de bajo volumen de transito, como una modificación del método AASHTO-86

Schnormeier (13) presenta datos sobre un uso exitoso de asfalto en caliente con caucho, que ha resultado en una superficie de rodamiento muy resistente que todavía no tiene una evaluación definitiva, pero que en ciudad de Phoenix, Arizona ha mostrado un comportamiento excelente por ocho años. Esta capa de rodamiento ha sido usada directamente sobre suelo compactado, sobre bases de suelo-cemento, bases de agregados, y suelos estabilizados con asfalto. El autor señala que este tipo de capa de rodamiento resulta en un pavimento duradero, de costo mínimo, y que es del agrado de los residentes en este tipo de áreas residenciales.

Thompson (16) por su parte señala que el uso de cal como estabilizador de suelos, en particular suelos finos, tiene una influencia muy beneficiosa sobre la plasticidad del suelo, el cambio de volumen, y la durabilidad de suelos finos. El autor concluye, en base a pruebas de campo e investigaciones de laboratorio que la estabilización de suelos con cal mejora sustancialmente las propiedades de suelos finos de tal forma que puede ser utilizado este tipo de material como material para construcción de pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito.

Stuart, Skok y Stehly (14) señalan los resultados obtenidos con una arena fina estabilizada con asfalto liquido en vías de bajo volumen en la sección norte del estado de Minnesota. La investigación fue realizada en una prueba de carretera construida para ese propósito, con el fin de usar ese tipo de mezcla como una base en el pavimento de carreteras de bajo volumen de tránsito, dado que este tipo de arena se encuentra en numerosas secciones de la zona norte de los Estados Unidos de Norteamérica, particularmente en los estados de Minnesota, Dakota del Norte, Michigan y otros.

Los investigadores reportan que aun cuando el período de prueba no había concluido al presentar su informe, se podía constatar que la mezcla arena-asfalto

líquido, **sin una superficie de rodamiento**, no ha necesitado ningún tipo de mantenimiento después de un periodo de casi tres años de uso.

Finalmente, los investigadores señalan que un pavimento tradicional tendría un costo de 22.000$/km, mientras que el costo del tipo utilizado en esta prueba de carretera es de 14.600$/km, lo cual es un ahorro sustancial.

Gutiérrez y Caraballo (5), en un interesante artículo, señalan que en América Latina en general, y en Venezuela en particular, existe una vasta extensión de vías de bajo volumen de tránsito que en general presentan una serie de problemas de accesibilidad y contribuyen a la pobreza rural. Señalan igualmente que en muchos de estos caminos el tránsito es en vehículos no motorizados, reduciéndose el tránsito vehicular- particularmente de camiones- al período de cosecha y siembra.

Fig. 1 Mezcla de modos de transporte no motorizados en zona rural

Los autores argumentan que, en la mayoría de los casos, los organismos oficiales y las agencias internacionales de financiamiento- como el Banco Mundial o el Banco Inter-Americano de Desarrollo- le dan prioridad a la movilidad sobre la accesibilidad.

La accesibilidad está relacionada con la posibilidad de tener accesos a los servicios básicos y poder movilizar la producción primaria de la región.

La movilidad, en cambio, se define como la velocidad de desplazamiento o el tiempo requerido para desplazarse.

Los autores argumentan que en los países industrializados la movilidad tiene preponderancia dado que en esos países las economías logradas a través del mejoramiento de la velocidad a lo largo de grandes distancias pueden ser significativas para las empresas de transporte y el sector productivo. En los países en vías de desarrollo, en cambio, lo importante es poder llegar con los productos a los mercados, o sea la accesibilidad.

Los autores- la Urbanista y especialista en Transporte Carmen Gutiérrez y su colega el Ing. Caraballo, argumentan que las vías de bajo volumen de tránsito, bajo este criterio de accesibilidad, incluso no tienen por qué tener un ancho uniforme de la vía- pudiendo estrecharse a un solo canal en ciertos segmentos- ni tampoco una superficie uniforme de rodamiento. Dado que la economía – visto como un marco general de la obra- se considera como el factor principal entre los factores a considerar, estos autores proponen, entre las posibles soluciones de construcción, el uso de adoquines como superficie de rodamiento de este tipo de vías.

Fig.- 2 Vía de 3m, con Cuneta

El argumento es que el uso de adoquines genera un mayor uso de mano de obra, y por tanto desde el punto de vista general de la economía, este factor puede ser decisivo en la consideración global de la economía de la obra, puesto que generaría un mayor bienestar económico en la región por donde pasa la vía.

Este argumento se complementa con un menor uso de equipos mecánicos importado, reducción en el costo de transporte de materiales, la posibilidad de hacer la construcción en etapas, y como ya se señaló, la generación de empleo en el medio rural.

Fig.- 3 Colocación de Adoquines en Vía Rural

Un factor nada despreciable que se deriva de estas recomendaciones es la necesidad de impulsar investigación en diversos aspectos relacionados con este tipo de vía, tales como:

- El proceso de deterioro de las diferentes superficies de rodamiento.
- El costo de operación de los vehículos usuarios de las vías de bajo volumen de tránsito.
- La viabilidad de utilizar bases con materiales locales estabilizados, en particular con asfaltos, que funcionen sin necesidad de una capa de rodamiento.
- Uso de superficies de rodamiento que resistan la acción del agua.

Se pudo ubicar una referencia de la Universidad del El Salvador, lamentablemente sin autor, ni fecha del estudio. Básicamente esta referencia centroamericana, usa una adaptación del método AASHTO-93. Gran parte del trabajo se centra en definiciones básicas sobre la estructura del pavimento, períodos de diseños, ensayos estandarizados de suelos y materiales, y realmente no aporta conceptos novedosos para el tema de este trabajo. Por estas razones, no se tomó en cuenta esta referencia.

Un trabajo interesante es el del "Instituto para el Desarrollo de los Pavimentos en el Perú (IDPP)" (7) que ha realizado un trabajo muy amplio, iniciándolo con la división climática del Perú en 6 zonas, adaptadas de una clasificación similar de los Estados Unidos de Norteamérica. El trabajo está basado- al igual que otros trabajos- en el procedimiento de diseño AASHTO-93, utilizando el módulo resilente del material en cada una de las regiones, y utilizando acabados de diseño modificados, así como un coeficiente de confiabilidad del 50%. Todo el proceso está diseñado para un periodo de aplicaciones de carga entres 50.000 y 1.000.000 de cargas equivalentes de ejes de 18.000 lbs.

Una vez establecidas las 6 Regiones con sus características climáticas para el Perú, se puede utilizar el Módulo Resilente de acuerdo a las características del suelo en cada región, según las tablas desarrolladas por el I.D.P.P. Una vez conocidos estos datos, así como el número de ejes equivalentes a 18000 lbs, el I.D.P.P. ha preparado unas tablas de diseño que permiten al ingeniero calcular los espesores de las capas del pavimento para la vía de bajo volumen de transito.

El IDPP tiene esta metodología desarrollada para el caso de pavimentos flexibles -es decir de mezclas asfálticas- así como para pavimentos rígidos o sea con losas de concreto.

Este estudio, realizado por el I D P.P., le permite a un ingeniero seguir paso a paso un procedimiento que lo va guiando hasta llegar al diseño deseado.

Es obvio, y el I.D.P.P. así lo resalta, que los valores que se dan en base a una clasificación climática del Perú, dividido en 6 zonas, es apropiado, a menos que se disponga por estudios locales, de mejor información.

Ahlvin y Hammitt (1) basan su trabajo en los estudios realizados por el Cuerpo de Ingeniero del Ejército de los Estados Unidos de Norteamérica. Señalan que el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos tuvo que desarrollar estudios y establecer criterios para estructuras de pavimentos formado por materiales de menor calidad; caminos de tierra, superficies de pavimentos formados por agregados y, en general, desarrollar criterios en caminos de poco uso o facilidades construidas en poco tiempo, para uso inmediato con propósito militares.

Los autores enfatizan que toda la investigación y los estudios de pavimentos han sido orientados- durante muchos años- predominantemente a vías de un gran volumen de tránsito.

Muy pocas investigaciones de tránsito se han realizado para evaluar el diseño y comportamiento de vías de bajos volúmenes de tránsito. Sin embargo, existe la

necesidad de tener información para este tipo de vías, para operaciones militares, caminos de penetración para limpieza de bosques, caminos de acceso a áreas rurales de poca población, caminos para obras, acceso a líneas de transmisión o gasoductos y otros usos.

Los autores señalan igualmente que pavimentos rígidos, y los pavimentos asfálticos de alta calidad en raras ocasiones pudieran justificarse para aplicaciones en caminos de bajo volumen.

Cualquier uso de los conceptos sobre vías de bajo volumen requieren de un estudio de cargas del tránsito, en términos de la mezcla existente en el flujo de tránsito y el número de repeticiones de cargas pesadas son equivalentes a un número mucho mayor de cargas más livianas. El estudio también reflejó una manera de convertir todas las cargas a cargas de equivalentes por eje de 18.000 lbs.

Otro factor importante que señala este estudio, avalado en una investigación de Brown y Ahlvin (3), es que no todas las cargas pasan exactamente por el mismo sitio de forma que no todo vehículo produce la misma repetición de esfuerzo. Para propósitos prácticos los autores recomiendan, usar 2 2/3 de pasada de una carga, como equivalente, en promedio, a una carga de un eje equivalente de 18.000 lbs.

Vaswani (17) del consejo de Investigaciones de Carreteras y Transporte, del estado de Virginia, presenta un método de diseño de pavimento para vías secundarias y de parcelamientos de suburbios, basado en la experiencia de los ingenieros de Distritos y Condados de ese Estado, tomando en cuenta los resultados de la prueba vial AASHO desarrollada en el Estado de Illinois a finales de los 50 y principio de los 60.

En resumen, el método presentado en este trabajo es una variante, simplificada, del viejo método AASTHO.

Los investigadores de la Universidad Nacional del Litoral, Jorge Páramo y Rosana Cassan (11) presentan en su escrito un "Manual de diseño para pavimentos para vías de bajo volúmenes de tránsito", en la región litoral de Argentina.

Los autores presentan un procedimiento de diseño para vías de bajos volúmenes de tránsito. El Manual pretende presentar para uso de los ingenieros una especie de catálogo de posibles soluciones estructurales basado en las características del suelo, el volumen del tránsito y las condiciones de drenaje en el camino.

Señalan Páramo y Cassan (11) que el Laboratorio Vial del Instituto de Mecánica Aplicada y Estructuras tiene más de 15 años estudiando el problema de vías de bajo volumen de tránsito.

Los lineamientos básicos para producir este manual fueron:

- Bajo costo inicial de la estructura.
- Transitabilidad bajo cualquier condición climática.
- Mantenimiento sencillo y de bajo costo.

Estos tres lineamientos de inmediato centran la atención en las siguientes condiciones: La condición de bajo costo inicial, nos señala la necesidad de utilizar suelos existentes en el sitio, pero protegidos de la acción destructiva del agua. Esto obliga a considerar de inmediato el uso de materiales estabilizadores del suelo tales como asfalto, cemento o cal, para garantizar la transitabilidad permanente de la vía. La tercera condición de mantenimiento sencillo y de bajo costo está asociada a preservar las inversiones en los dos puntos anteriores.

Los autores recomiendan un período de diseño de 5 a 6 años, como algo razonable para este tipo de vía. Recomiendan igualmente algunos procedimientos constructivos y presentan como parte del Manual secciones típicas, estabilizadas por diferentes métodos, para lograr lo recomendado.

Uno de los trabajos de mayores detalles, y de nuestro propio país, es el del Dr. Augusto Jugo, profesor de pavimentos en el Postgrado de Ingeniería Vial en la UCV y un profesional del área de pavimentos quizás de mayor experiencia en el país.

En su trabajo titulado: "Metodología para Diseño de Pavimentos Asfalticos para vías de bajo volumen de tráfico" (8), el Dr. Jugo desarrolla una metodología de diseño estructural de pavimentos, específicamente para Venezuela, para vías con menos de 2 millones de repeticiones de Ejes Equivalentes.

El autor sugiere que, en nuestro país, para el caso de vías extraurbanas clasificarían como vías de bajo volumen las que tengan menos de 800 vehículos por día, en cada sentido y en el caso de vías urbanas, debido a la baja incidencia de vehículos de carga, pudieran clasificar como vías de bajo volumen, las que tengan hasta 12.000 vehículos por día.

La metodología consiste en una aplicación del método AASHTO-93, pero con características de tráfico, cargas, materiales y condiciones climática aplicables a nuestro país.

El autor presenta, como parte del procedimiento propuesto tablas de clasificación de la subrasante, conducente a valores de CBR, con unos valores de saturación, dependiendo de la zona del país donde esté ubicado el pavimento.

Se presentan igualmente valores de repetición de cargas en el periodo de diseño.

El trabajo del Dr. Jugo es muy completo y muy detallado, lo cual permite que un ingeniero, aunque no sea especialista en el tema pueda aplicar este método simplificado.

Más recientemente, en este año, el Dr. Jugo publicó otro trabajo que ahora abarca el diseño –por el mismo método- de pavimentos asfalticos y también los de concreto, como una ampliación de los publicado en el 2010.

Otro trabajo interesante, del Ing. Juan Apacila C. (2) del Ministerios de Transporte y Comunicaciones del Perú, comenta el "Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito".

Este Manual, aparte de indicaciones técnicas de diseño y construcción de caminos no pavimentados, tiene una riqueza de fotografías de varios países que demuestran, gráficamente, los diferentes tipos de pavimentos en existencia en los países andinos en zonas rurales, obviamente con bajos volúmenes de tránsito.

Fig.- 4Camino empedrado en Bolivia

Fig.- 5 Camino empedrado en Ecuador

Fig.- 6 Colocación de piedras, Camino empedrado en Bolivia

Fig.- 7 Camino empedrado en Ecuador

Un detalle que llama la atención en estas fotografías es que los métodos constructivos se parecen lejanamente al método de McAdam de construcción de los pavimentos llamados "macadam", aun cuando muy elementales en su ejecución.

Un dato interesante del Manual descrito por el Ing. Apacila, es que señala que este Manual cubre casi el 85% de la red vial nacional del Perú.

Otra referencia de gran interés que se encontró, fue el trabajo de los Ingenieros Guillermo Thenoux; Felipe Halles y Álvaro González de la Pontificia Universidad Católica de Chile, realizado para la dirección de Vialidad del Ministerio de Obras Publicas. Trabajo realizado en el año 2002 (15).

En este trabajo, los autores señalan que los caminos de bajo volumen de tránsito constituyen un porcentaje importante de la red vial chilena.

La metodología propuesta por estos autores de la Pontificia Universidad Católica de Chile, es igualmente una modificación del Método AASHTO – 93, con la particularidad que ellos llevan el diseño al uso de unas "cartillas" de diseño. Esto posibilita que Ingenieros, aun los que no estén muy familiarizados con el método AASHTO-93, puedan usar las cartillas de diseño y llegar a soluciones satisfactorias.

Estas características nos llama mucho la atención, puesto que en nuestro país es muy frecuente que ingenieros agrónomos o ingenieros forestales, los cuales no necesariamente tienen un conocimiento técnico del área de pavimentos, son colocados en posiciones de construcción o inspección de obras de vialidad. En estos casos, "cartillas de diseño", como las propuestas en este trabajo serían de gran utilidad, puesto que servirían de apoyo muy eficaz para estos casos.

VI.- CONCEPTOS BÁSICOS APLICADOS A VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO

Como ya fue mencionado en un capitulo anterior, en general, todo los métodos de diseño de pavimentos son empíricos. La prueba de carretera AASHO, un esfuerzo monumental hecho por el Consejo de Investigaciones de Transportes, organismo adscrito a las Academias Nacionales de Ciencias y de Ingeniería de los EEUU de Norteamérica, a finales de los años 50 y principio de los 60, permitió recolectar una cantidad enorme datos, establecer conceptos nuevos como el de serviciabilidad de Pavimentos, etc.

De ahí se deriva el método AASTHO-93 que es el método de diseño de pavimentos más usado que hay hoy en día

La ecuación de diseño del método AASTHO – 93 toma en cuenta repeticiones de carga en el período de diseño, traducidas a ejes equivalentes de 18.000 lbs; se considera la reducción de serviciabilidad, que representa el comportamiento del pavimento a lo largo de su vida útil; tiene incorporado el Número Estructural (SN) que representa la capacidad estructural del pavimento en función de los componentes de la estructura del pavimento; tiene como valor básico el Módulo Resilente, que representa el valor de soporte del suelo de la subrasante, corregido en función de la saturación de ese suelo; y tiene un valor probabilístico, como un número de confiablidad estadística.

Esencialmente, el Dr. Jugo en nuestro país; el Instituto de Desarrollo de Pavimentos del Perú (I.D.P.P); el trabajo de la Pontificia Universidad Católica de Chile, así como el trabajo de la Universidad Nacional del Litoral, en Argentina, todas se basan en el método AASHTO-93, con algunas variantes en su aplicación.

En el caso venezolano, el Dr. Jugo presenta una clasificación de subrasantes que va desde "muy pobre" a "muy buena" en función del valor CBR saturado de la subrasante.

Clasificación de Subrasante	
Calidad de subrasante	CBRsat (%)
Muy pobre	2
Pobre	3
Regular	4
Buena	5
Muy buena	8

Tabla 1.- Clasificación de Subrasante

Este valor es ponderado en función del tiempo de saturación de esa subrasante, tal como se muestra en la tabla 2 de Jugo.

Zona climática o condición de subrasante	Número de meses de subrasante saturada
Seca	2
Semi-seca	4
Semi-Húmeda	6
Húmeda	8
Muy Húmeda	10

Tabla 2.- Condición de saturación de la subrasante

Luego se calcula el número de repeticiones de cargas en término de repeticiones de Ejes Equivalentes en el período de diseño del pavimento. Para ese cálculo se presenta una tabla que permite estimar el número de cargas en el período de diseño.

Clasificación de tráfico en vías de bajo volumen	
Clasificación	Repetición de EE en periodo periodo de diseño (REE)
Bajo	Menos de 400.000
Medio	400.000 a 1.400.000
Alto	1.400.000 a 2.000.000

Tabla 3.- Clasificación de tráfico en vías de bajo volumen

Finalmente se incluyen valores referenciales de coeficiente estructurales para diferentes materiales. Adicionalmente, hay una serie de tablas que permite determinar el número estructural SN en función del valor CBRsat, la condición de saturación y la confiabilidad del diseño, tal como se muestra a continuación:

Fig.- 8 Concepto de Número Estructural (SN)

	Material	Coeficiente	Requisitos
Capa1 (rodamiento)	Concreto asfáltico (CA)	0.38-0.42	Estabilidad min. 1000 lbs
Capa 2 (base)	Concreto asfáltico (CA)	0.38-0.42	Estabilidad min. 1600 lbs
	Base Asfáltica Caliente (BAC)	0.22-0 32	Estabilidad min. 1000 lbs
	Arena Asfalto en Caliente (AAC)	0.22-0 30	Estabilidad min. 1000 lbs
	Grava Asfalto en Frío (GAF)	0.18-0.30	Estabilidad min. 600 lbs
	Arena Asfalto en Frío (AAF)	0.15-0.22	Estabilidad min. 400 lbs
	Piedra Picada (PP)	0.14	CBR min. 80 %
	Piedra Integral o grava (PI/GR)	0.12	CBR min. 50 %
	Grava (GR)	0.11	CBR min. 40 %
	Grava (GR)	0.10	CBR min. 30 %
	Grava (GR)	0.08	CBR min. 20 %

Fig.-9 Valores referenciales del coeficiente estructural ai

SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
		50	60	70
CBRsat (Clasificacion)	Condicion de Saturacion/humedad (meses saturada)	NUMERO ESTRUCTURAL Total (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	2.61-2.73	2.61-2.83	2.81-2.94
	Semi-seca (4)	2.65-2.77	2.65-2.87	2.85-2.98
	Semi-húmeda (6)	2.69-2.81	2.69-2.91	2.89-3.03
	Húmeda (8)	2.73-2.85	2.73-2.96	2.94-3.07
	Muy húmeda (10)	2.78-2.90	2.78-3.01	2.99-3.12
3 (Pobre)	Seca (2)	2.38-2.49	2.47-2.58	2.56-2.68
	Semi-seca (4)	2.41-2.52	2.50-2.62	2.60-2.72
	Semi-húmeda (6)	2.45-2.56	2.54-2.65	2.64-2.76
	Húmeda (8)	2.49-2.60	2.58-2.70	2.68-2.80
	Muy húmeda (10)	2.53-2.65	2.62-2.74	2.73-2.85
4 (Regular)	Seca (2)	2.22-2.32	2.30-2.41	2.39-2.50
	Semi-seca (4)	2.25-2.36	2.34-2.45	2.43-2.54
	Semi-húmeda (6)	2.29-2.39	2.37-2.48	2.47-2.58
	Húmeda (8)	2.32-2.43	2.41-2.52	2.51-2.62
	Muy húmeda (10)	2.37-2.48	2.45-2.57	2.55-2.67
5 (Buena)	Seca (2)	2.10-2.20	2.19-2.29	2.03-2.38
	Semi-seca (4)	2.14-2.24	2.22-2.32	2.06-2.42
	Semi-húmeda (6)	2.17-2.27	2.25-2.36	2.09-2.45
	Húmeda (8)	2.20-2.31	2.29-2.40	2.13-2.49
	Muy húmeda (10)	2.24-2.35	2.33-2.44	2.17-2.53
8 (Muy Buena)	Seca (2)	1.88-1.97	1.98-2.04	2.03-2.13
	Semi-seca (4)	1.90-2.00	1.98-2.08	2.06-2.16
	Semi-húmeda (6)	1.94-2.03	2.01-2.11	2.09-2.19
	Húmeda (8)	1.97-2.06	2.14-2.14	2.13-2.23
	Muy húmeda (10)	2.00-2.10	2.18-2.18	2.17-2.27

Fig.-10 Número estructural SN
Tráfico Bajo (hasta 400.000 EE)

SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
		50	60	70
CBRsat (Clasificación)	Condicion de Saturación humedad (meses saturada)	NUMERO ESTRUCTURAL Total (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	3.04-3.27	3.14-3.38	3.26-3.51
	Semi-seca (4)	3.08-3.31	3.19-3.43	3.31-3.56
	Semi-húmeda (6)	3.12-3.36	3.23-3.48	3.36-3.61
	Húmeda (8)	3.17-3.41	3.28-3.53	3.41-3.66
	Muy húmeda (10)	3.22-3.47	3.34-3.59	3.46-3.72
3 (Pobre)	Seca (2)	2.77-2.98	2.87-3.09	2.98-3.21
	Semi-seca (4)	2.81-3.02	2.91-3.13	3.02-3.25
	Semi-húmeda (6)	2.85-3.07	2.95-3.18	3.07-3.30
	Húmeda (8)	2.89-3.12	3.00-3.23	3.11-3.35
	Muy húmeda (10)	2.94-3.17	3.05-3.28	3.17-3.41
4 (Regular)	Seca (2)	2.59-2.75	2.69-2.90	2.79-3.01
	Semi-seca (4)	2.63-2.83	2.72-2.94	2.83-3.05
	Semi-húmeda (6)	2.67-2.87	2.77-2.98	2.87-3.09
	Húmeda (8)	2.71-2.92	2.81-3.03	2.92-3.14
	Muy húmeda (10)	2.76-2.97	2.86-3.08	2.97-3.19
5 (Buena)	Seca (2)	2.46-2.65	2.55-2.75	2.65-2.86
	Semi-seca (4)	2.50-2.69	2.59-2.79	2.69-2.90
	Semi-húmeda (6)	2.53-2.73	2.63-2.83	2.73-2.94
	Húmeda (8)	2.57-2.78	2.67-2.88	2.77-2.99
	Muy húmeda (10)	2.62-2.82	2.72-2.92	2.82-3.04
8 (Muy Buena)	Seca (2)	2.20-2.38	2.29-2.47	2.38-2.57
	Semi-seca (4)	2.23-2.41	2.32-2.50	2.41-2.60
	Semi-húmeda (6)	2.27-2.45	2.36-2.54	2.45-2.64
	Húmeda (8)	2.31-2.49	2.39-2.58	2.49-2.69
	Muy húmeda (10)	2.35-2.53	2.44-2.63	2.53-2.73

Fig.- 11 Número Estructural SN
Tráfico Medio (400.000 a 1.200.000)

SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
		50	60	70
CBRsat (Clasificacion)	Condicion de Saturación/humedad (meses saturada)	NÚMERO ESTRUCTURAL Total (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	3.34-3.43	3.45-3.55	3.58-3.68
	Semi-seca (4)	3.38-3.48	3.50-3.60	3.63-3.73
	Semi-húmeda (6)	3.43-3.52	3.55-3.65	3.68-3.78
	Húmeda (8)	3.48-3.58	3.60-.70	3.74-3.84
	Muy húmeda (10)	3.54-3.64	3.66-3.76	3.80-3.90
3 (Pobre)	Seca (2)	3.05-3.13	3.16-3.25	3.28-3.37
	Semi-seca (4)	3.09-3.18	3.20-3.29	3.32-3.41
	Semi-húmeda (6)	3.13-3.22	3.25-3.34	3.37-3.46
	Húmeda (8)	3.18-3.27	3.30-3.39	3.42-3.52
	Muy húmeda (10)	3.24-3.33	3.35-3.44	3.48-3.57
4 (Regular)	Seca (2)	2.86-2.94	2.96-3.04	3.07-3.16
	Semi-seca (4)	2.90-2.98	3.00-3.08	3.12-3.20
	Semi-húmeda (6)	2.94-3.02	3.04-3.13	3.16-3.25
	Húmeda (8)	2.98-3.07	3.09-3.18	3.21-3.30
	Muy húmeda (10)	3.03-3.12	3.14-3.23	3.26-3.35
5 (Buena)	Seca (2)	2.71-2.79	2.81-2.89	2.92-3.01
	Semi-seca (4)	2.75-2.83	2.83-2.93	2.99-3.05
	Semi-húmeda (6)	2.79-2.87	2.89-2.98	3.01-3.09
	Húmeda (8)	2.84-2.92	2.94-3.02	3.05-3.14
	Muy húmeda (10)	2.89-2.97	2.99-3.07	3.11-3.19
8 (Muy Buena)	Seca (2)	2.43-2.50	2.53-2.60	2.63-2.70
	Semi-seca (4)	2.47-2.54	2.56-2.63	2.66-2.74
	Semi-húmeda (6)	2.51-2.58	2.60-2.67	2.70-2.78
	Húmeda (8)	2.55-2.62	2.64-2.72	2.74-2.82
	Muy húmeda (10)	2.59-2.67	2.69-2.76	2.79-2.87

Fig 12.- Número Estructutal (SN)
Tráfico Alto (1.400.000 a 2.000.000)

Finalmente, el Dr. Jugo sugiere unos espesores mínimos para una capa de concreto asfáltico, la cual puede ir colocada sobre distintos tipos de base granular, en función del tráfico y del valor CBR de la base granular.

Espesor mínimo de CA (cm)			
CBR (base Granular)	Nivel de tráfico		
	Bajo	Medio	Alto
20	11.0	14.0	15.0
30	10.5	13.5	14.5
40	10.0	13.0	13.5
50	9.5	12.5	13.0
80	9.0	11.5	12.5

Tabla 4.- Espesor mínimo de CA (cm)

El instituto de Desarrollo de Pavimentos del Perú (IDPP) parte exactamente del mismo método AASTHO-93. Lo primero que hace el IDPP es dividir el Perú en 6 regiones, basadas en las condiciones climáticas del país.

REGION	CARACTERISTICAS
I	Húmeda, No Helada
II	Húmeda, con Ciclos de Hielo-Deshielo
III	Húmeda, Fuerte Congelamiento, Deshielo Primaveral
IV	Seca, No Helada
V	Seca, con Ciclo de Hielo- Deshielo
VI	Seca, Fuerte Congelamiento, Deshielo Primaveral

Tabla 5.- Las 6 Regiones Climática del Perú

A cada región le asigna unas características climáticas, de lo cual se derivan las condiciones de humedad en los suelos.

Tabla 6.- Duración Sugerida (en Meses) de las estaciones para las Seis Regiones Climáticas del Perú

Región Climática del Perú	Estación (Condición de Humedad del Suelo de Fundación)			
	Invierno (suelo Congelado)	Primavera - Deshielo (Suelo Saturado)	Primavera/ Otoño (Suelo Húmedo)	Verano (Suelo Seco)
I	0.0*	0.0	7.5	4.5
II	1.0	0.5	7.0	3.5
III	2.5	1.5	4.0	4.0
IV	0.0	0.0	4.0	8.0
V	1.0	0.5	3.0	7.5
VI	3.0	1.5	3.0	4.5

* Número de meses para la estación.

En base a esas condiciones se definen los Módulos Resilentes de las subrasantes, para llegar finalmente a valores del Módulo Resilente efectivo para cada región.

Tabla 7.- Módulo Resilente del Suelo de Fundación Sugerido, Mr (psi), en Función de la Calidad Relativa del Material

Calidad Relativa del Suelo de Fundación	Estación (Condición de Humedad del Suelo de Fundación)			
	Invierno (suelo Congelado)	Primavera - Deshielo (Suelo Saturado)	Primavera/ Otoño (Suelo Húmedo)	Verano (Suelo Seco)
Muy Buena	20,000	2,500 *	8,000	20,000
Buena	20,000	2,000	6,000	10,000
Regular	20,000	2,000	4,500	5,500
Pobre	20,000	1,500	3,300	4,900
Muy Pobre	20,000	1,500	2,500	4,000

* Los valores mostrados son para el Módulo Resilente en psi.

Región Climática del Perú	Calidad Relativa del Suelo del Afirmado				
	Muy Pobre	Pobre	Regular	Buena	Muy Buena
I	2,800 *	3,700	5,500	6,800	9,500
II	2,700	3,400	4,500	5,500	7,300
III	2,700	3,000	4,000	4,400	5,700
IV	3,200	4,100	5,600	7,900	11,700
V	3,100	3,700	5,000	6,000	8,200
VI	2,800	3,100	4,100	4,500	5,700

Tabla 8.- Calidad Relativa del Suelo Afirmado

Con esos valores, el procedimiento permite calcular – mediante ábacos – y con una pérdida de serviciabilidad admisible, cuantas aplicaciones de Ejes Equivalentes de 18.000 lbs puede resistir el pavimento.

Adicionalmente, presentan tablas para rangos recomendados del Número Estructural (SN), según sea la región del país.

El número total de cargas, por Ejes Equivalentes de 18.000lbs, que considera el IDPP es hasta 1.000.000 de aplicaciones.

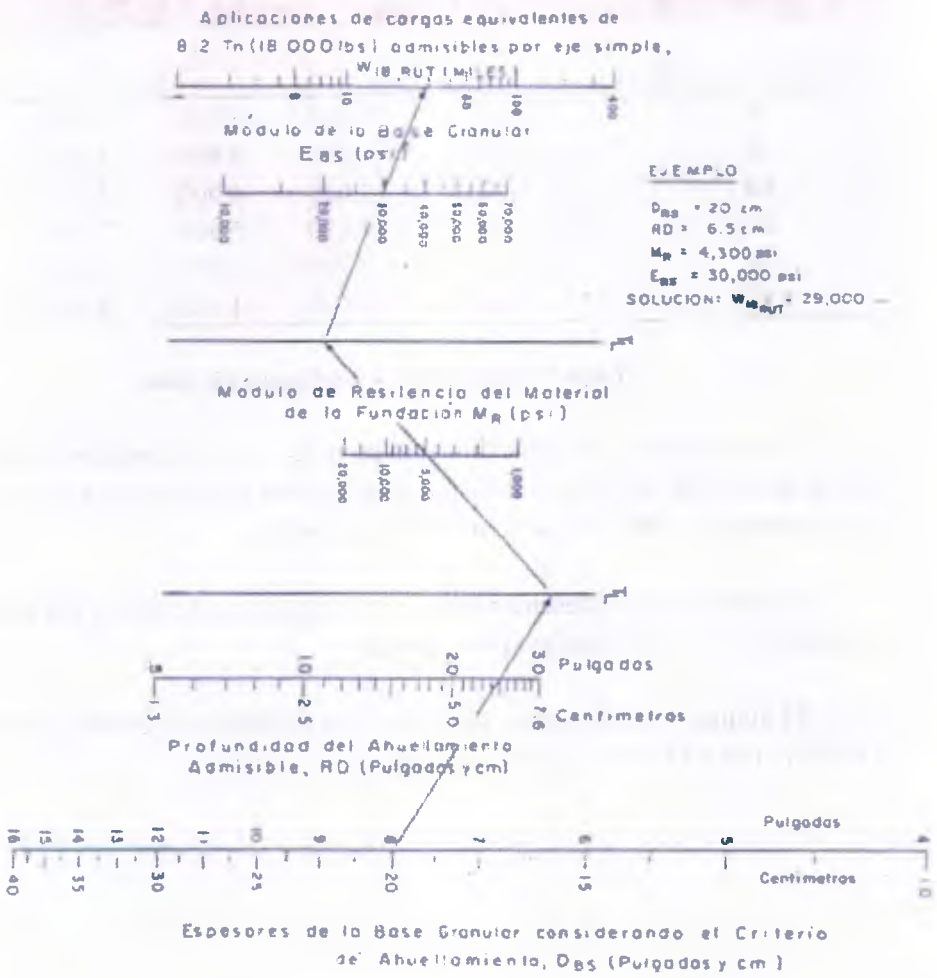


Fig.- 13 Carta de Diseño para Caminos Afirmados, Considerando un Ahuellamiento Permisible

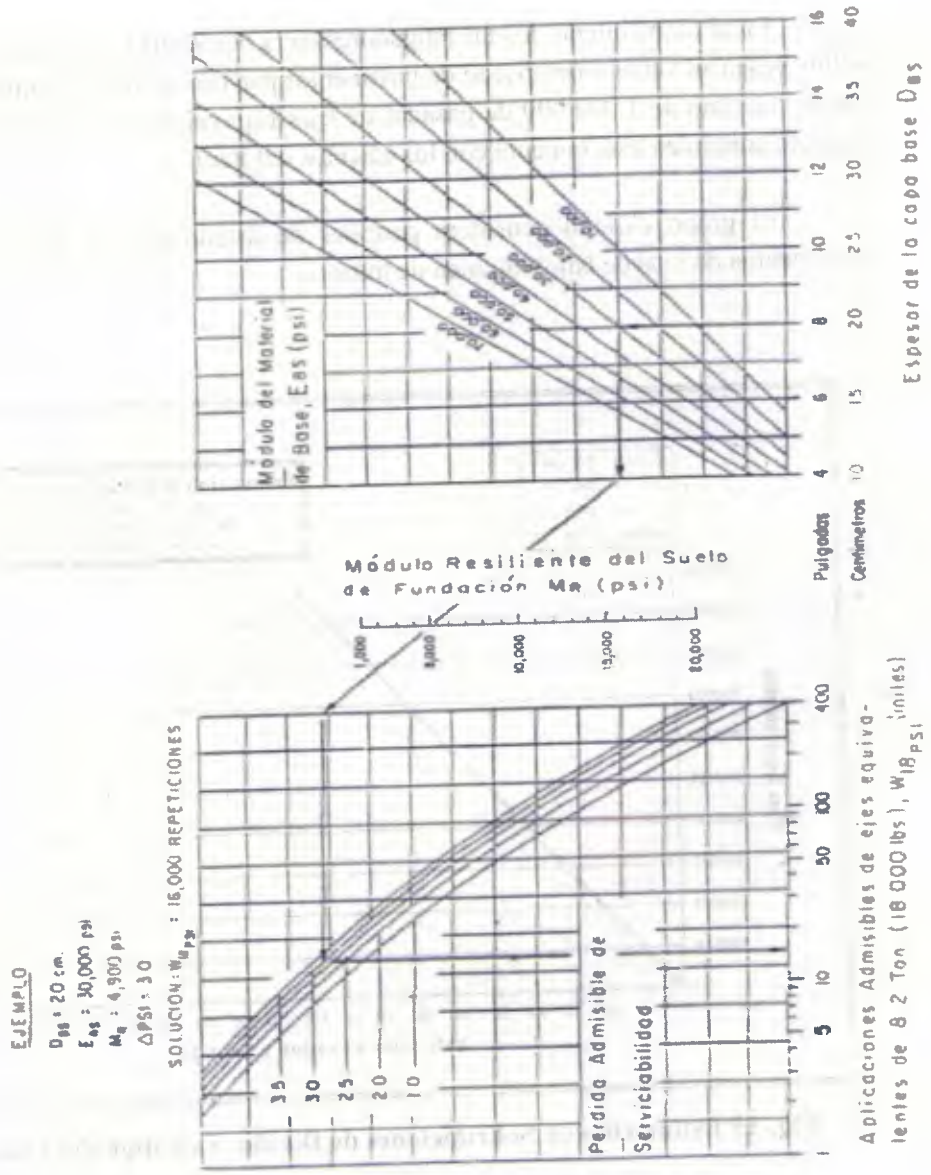


Fig.- 14 Carta de Diseño para Caminos Afirmados, Considerando una Pérdida de Serviciabilidad Admisible.

En el caso chileno, los investigadores de la Pontificia Universidad Católica de Chile basan su versión del diseño de pavimentos par vías de bajo volumen de tránsito en un máximo de 1 000.000 de pasadas de Ejes Equivalentes de 18.000 lbs. En este aspecto coinciden exactamente con los cálculos del Perú.

El grupo chileno considera períodos de diseño de 5 y 10 años para los pavimentos de vías de bajo volumen de tránsito.

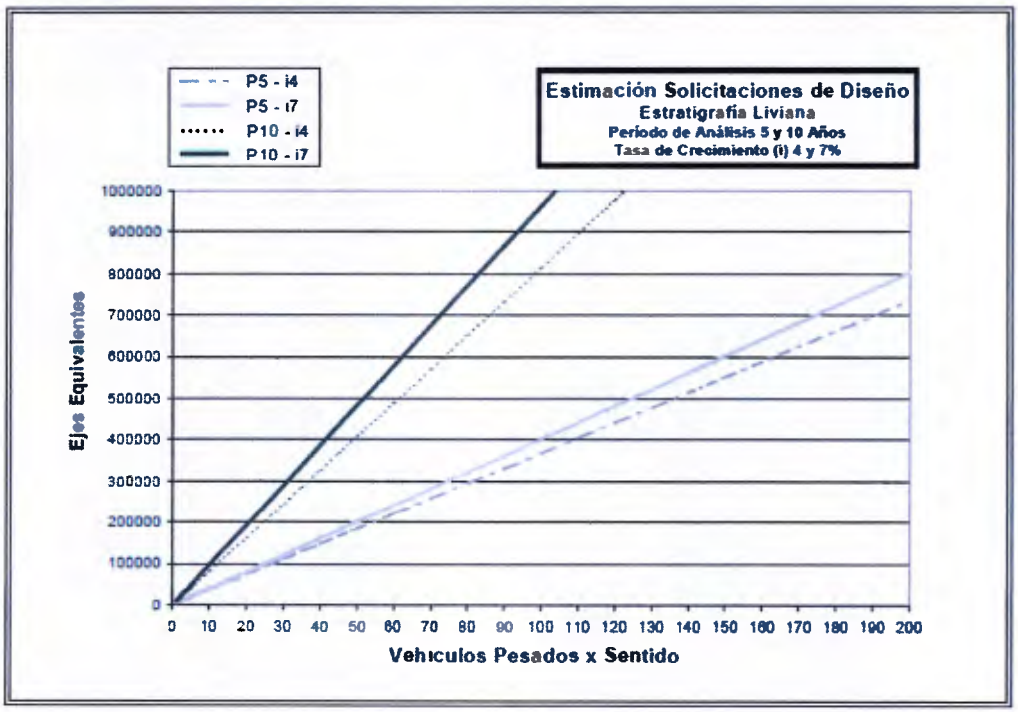


Fig.-15 Estimación de Solicitaciones de Diseño. Estratigrafía Liviana

Estos gráficos del estudio chileno permiten calcular el número de Ejes Equivalentes de 18.000 lbs, conociendo el número de vehículos pesados, por canal de diseño seleccionando el período de diseño (5 ó 10 años) y estimando la tasa de crecimiento entre las dos posibilidades previstas.

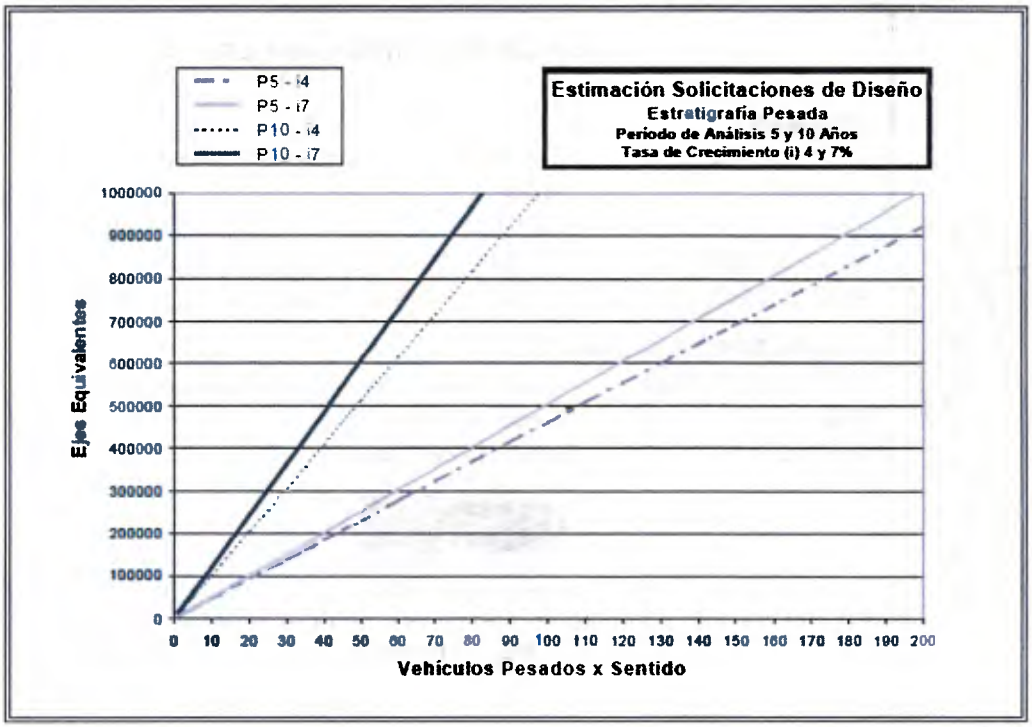


Fig.- 16 Estimación Solicitaciones de Diseño. Estratigrafía Pesada

Luego, el método chileno define, según el tipo de clima y estructura tipo, cual "cartilla" de diseño usar:

	Estructura Tipo			
CLIMA	**1**	**2**	**3**	**4**
Seco	Cartilla N°4			
Normal	Cartilla N°5	Cartilla N°7	Cartilla N° 9	Cartilla N° 10
Saturado	Cartilla N°6	Cartilla N°8	Cartilla N° 9	Cartilla N° 10

Fig.- 17 Estructura Tipo

Una vez definido el número de "cartilla" de diseño a ser usada, el Ingeniero toma esa cartilla, la cual ilustramos con dos ejemplos, y tiene su diseño listo.

ESPECIFICACIONES CARTILLA Nº 4

APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	Estructuras Granulares con Capa de Protección	
TRÁNSITO	Pesado	
CLIMA	Seco	
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300.000); T2 (300.000 - 500.000)	
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14) S5 (15 - 19); S6 (> 20)	

ESPECIFICACIONES ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Granular CBR 100%	(2)
SUBBASE	Granular CBR 50% y 40%	(3)

(1)
(2)
(3)

Espesor de Capas en cm

Fig.- 18 Ejemplo Cartilla

Ejes Equivalentes (x Sentido)	Tránsito T1 (150.000 - 300.000 EE)		Tránsito T2 (300.000 - 500.000 EE)	
TIPO DE SUELO	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2	Opción de Diseño 1	Opción de Diseño 2
Suelo S1 (CBR < 3%)				
Suelo S2 (3% < CBR < 6%)				
Suelo S3 (7% < CBR < 10%)				
Suelo S4 (11% < CBR < 14%)	14 / 14	12 / 16	16 / 16	12 / 22
Suelo S5 (15% < CBR < 19%)	13 / 13	24	16 / 14	12 / 18
Suelo S6 (CBR > 20%)	12 / 12	20	14 / 12	12 / 14

GUIA DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS PARA CAMINOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO EN CHILE

CARTILLA Nº4

TRÁNSITO PESADO CLIMA SECO
Estructuras Granulares con Capa de Protección

SIMBOLOGIA

- Capa de Protección
- Base Granular CBR 100%
- Subbase Granular CBR 50%
- Subbase Granular CBR 40%

Fig.- 19 Ejemplo de Cartilla

ESPECIFICACIONES CARTILLA N° 9

APLICACIÓN

TIPO PAVIMENTO	**Estructuras con Base Estabilizada con Asfalto y Capa de Protección**
TRÁNSITO	**Pesado**
CLIMA	**Normal y Saturado**
RANGO DE TRANSITO (EEq)	T1 (150.000 - 300 000); T2 (300.000 - 500.000)
	T3 (500.000 - 700.000); T4 (700.000 - 1.000.000)
RANGOS DE SUELO (CBR %)	S1 (< 3); S2 (3 - 6); S3 (7 - 10); S4 (11 - 14); S5 (15 - 19); S6 (> 20)

ESPECIFICACIÓN ESTRUCTURA TIPO

SUPERFICIE DE RODADO	Capa de Protección (Sello Asfáltico; Tratamiento Superficial)	(1)
BASE	Estabilizada con Asfalto Modulo > 2.000 Mpa	(2)
SUBBASE	Granular CBR 40%	(3)

Espesor de Capas en cm

Fig.- 20 Ejemplo Cartilla

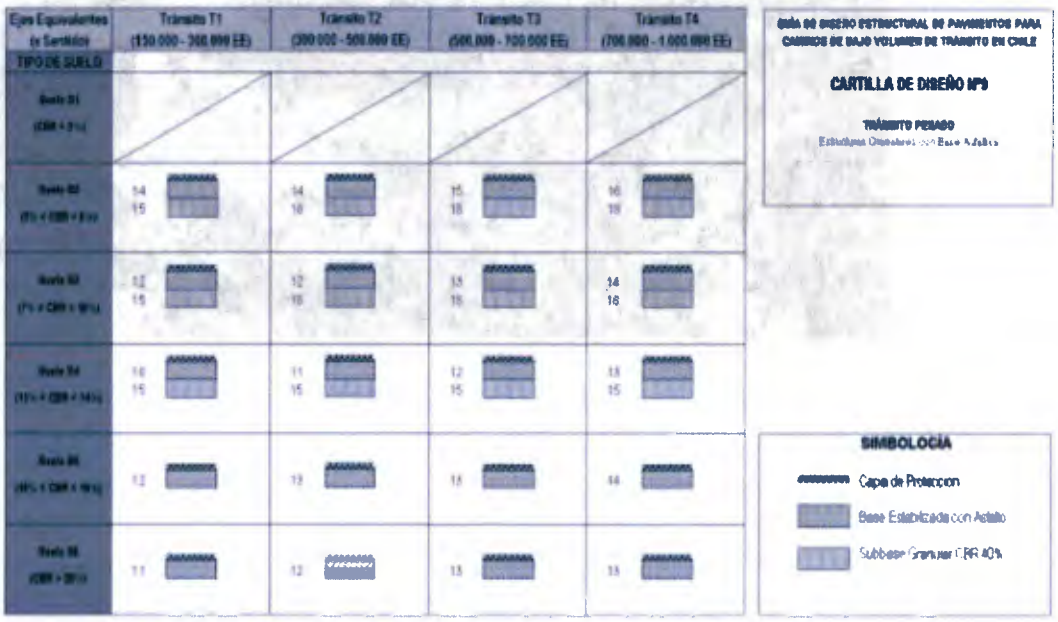


Fig.- 21 Ejemplo Cartilla

VII.- APLICACIÓN PARA VÍAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO SEGÚN MÉTODO DEL DR. JUGO.

Ejemplo práctico carretera Altagracia- Lezama

DATOS:

NETWORK TRAFFIC DE VENEZUELA

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS DE TRAFICO

VOLUMEN DE VEHICULOS POR FECHA

ESTACION	Altagracia de Orituco - Lezama	INTERVALO	Deteccion
IDENTIFICACION	009-1012	FINAL	28/10/2009
INICIO	15/10/2009	CIUDAD	Altagracia de O.
VIA	Altagracia de Orituco - Lezama	ESTADO	Guarico
UBICACIÓN	Km 7+950	ARCHIVO	AOLZ
SENTIDO	AMBOS SENTIDOS	CLIENTE	Mayer 97 Ing. Asoc.

	CLASES									
Fecha	(1) Autos	(2) Autobus	(3) Carga Liviana 2 ejes	(4) Carga Pesada 2 ejes	(5) Carga Pesada 3 ejes	(6) Carga Pesada 4 ejes	(7) Carga Pesada 5 ejes	(8) carga Pesada 6 o mas ejes	Totales	
15/10/2009	403	9	44	30	3	5	26	10	530	Jueves
16/10/2009	467	9	51	25	9	1	20	14	596	Viernes
17/10/2009	438	9	46	20	1	2	13	5	534	Sábado
18/10/2009	387	10	29	4	0	1	5	7	443	Domingo
19/10/2009	405	14	40	13	1	0	8	0	481	Lunes
20/10/2009	429	10	45	31	3	1	15	10	544	Martes
21/10/2009	405	12	49	26	1	3	16	11	523	Miércoles
22/10/2009	392	9	42	39	3	3	16	11	515	Jueves
23/10/2009	460	11	53	29	1	2	19	13	588	Viernes
24/10/2009	374	8	46	20	0	1	11	7	467	Sábado
25/10/2009	381	8	33	9	1	3	7	2	444	Domingo
26/10/2009	420	10	56	24	6	0	11	12	539	Lunes
27/10/2009	399	9	54	31	4	2	13	10	522	Martes
28/10/2009	417	9	43	25	6	2	13	10	525	Miércoles
	5.777	137	631	326	39	26	193	122	7.251	
Porcentajes	79,67%	1,89%	8,70%	4,50%	0,54%	0,36%	2,66%	1,68%		

Promedio diario de trafico: 517 vehiculos p((de lunes a domingo) (ambos sentidos)

Total Vehiculos Livianos	5.777	79,67%
Total Carga Liviana	768	10,59%
Total Carga Pesada	706	9,74%

Clase de vehículo	Total en ambos sentidos	% en la distribuciò	% camiones
Livianos	5.777	79,67%	
Autobús	137	20,33%	9,29%
2RDcarga liviana	631		42,81%
2RDcarga pesad	326		22,12%
3 ejes	39		2,65%
4 ejes	26		1,76%
5 ejes	193		13,09%
6+ ejes	122		8,28%
Total	7.251	100,00%	100,00%

Tipo vehiculo (Traffic Vzla)	Tipo vehículo (FHWA)	Tipo vehículo (COVENIN)	Número Sentido 1 (Altagracia-Lezama)	Número Sentido 2 (Lezama-Altagracia)	Ejes equivalente totales Sentido 1 (Altagracia-)	Ejes equivalente totales Sentido 2 (Lezama-Altagracia)	Factor camión Sentido 1 (Altagracia-Lezama)	Factor camión Sentido 2 (Lezama-Altagracia)	Vehículos totales en ambos sentidos	Camiones totales en ambos sentidos	% en la distribución	FC total
Clase 1	Clase 2	Livianos	2.899	2.878	1,51	1,59	0,001	0,001	5.777			0,001
Clase 2	Clase 4	2RDautobús	69	68	4,72	4,57	0,068	0,067	137	137	9,29%	0,068
Clase 4	Clase 5	2RDcarga pesada	166	160	166,13	126,96	1,001	0,793	326	326	22,12%	0,896
Clase 3	Clase 5	2RDcarga liviana	319	312	6,53	6,14	0,020	0,020	631	631	42,81%	0,029
Clase 5	Clase 6	03E	16	21	31,94	25,46	1,774	1,212	39	39	2,65%	1,472
Clase 6	Clase 8	2B2	15	11	36,02	18,71	2,401	1,701	26	26	1,76%	2,105
Clase 7	Clase 9	3B2	101	92	230,05	155,58	2,278	1,691	193	193	13,09%	1,988
Clase 8	Clase 10	3B3	65	57	122,77	76,58	1,889	1,344	122	122	8,28%	1,634

Total (livianos + camiones)	3.652	3.599	599,66	415,52	0,164	0,115	7.251	1.474	100,00%	0,140	Factor camión total (livianos y camiones)
Total (camiones)	753	721	599,15	414,01	0,794	0,574				0,687	Factor camión total (solo camiones)
	1.474		1012,16								

APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DEL DR. JUGO

CARGA EQUIVALENTE ACUMULADA ⟶

$$EEo = PDT \times \%cam \times FC \times 360$$

Donde:
EEo= Ejes equivalente en el año inicial
PDT = promedio diario de tráfico en un sentido (canal de diseño)
% cam: porcentaje de vehículos pesados /100
FC. Factor Camión

CARGA EQUIVALENTE TOTAL ⟶

$$REE = EEo \times Fcr$$

Donde:
REE = Repeticiones de carga esperados en el periodo
EEo= Ejes equivalente en el año inicial
Fcr. Factor de crecimiento o de acumulación de tráfico en función de periodo de diseño de diseño (n) en años y tasa de crecimiento (r): este factor se obtiene de la Tabla 5 para valores considerados apropiados en vías de bajo volumen.

FACTOR DE CRECIMIENTO ⟶

Tabla 5: FACTOR DE CRECIMIENTO DE TRAFICO (Fcr)

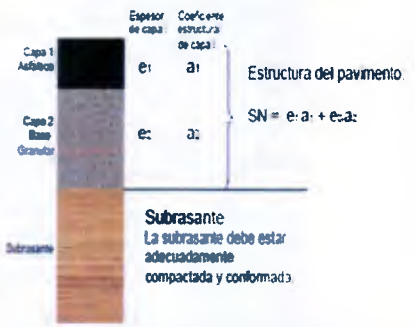
Periodo de Diseño (años)	Tasa de Crecimiento Anual (%)			
	2	4	6	8
8	8.58	9.41	9.90	10.64
10	10.95	12.01	13.18	14.49
12	13.41	15.03	16.87	18.98

REE= 142.321

1) Se define el CBR a utilizar:

Tabla 1: Clasificación de subrasante

Calidad de subrasante	CBRest (%)
Muy pobre	2
Pobre	3
Regular	4
Buena	6
Muy Buena	8



2) Se define la zona climática

Zona climática o condición de *subrasante*.	Número de meses de *subrasante* saturada.
Seca	2
Semi-seca	4
Semi-Húmeda	6
Húmeda	8
Muy húmeda	10

Tabla 2 Condición de saturación de la subrasante

3) Se estima el número de repeticiones de EE

Tabla 4 CLASIFICACION DE TRAFICO EN VIAS DE BAJO VOLUMEN

CLASIFICACION	Repeticiones de EE en periodo de diseño (REE)
BAJO	Menos de 400.000
MEDIO	400.000 a 1.400.000
ALTO	1.400.000 a 2.000.000

4) Se estima el Coeficiente Estructural (a)

	Material	Coeficiente	Requisitos
Capa1 (rodamiento)	Concreto asfáltico (CA)	0.38-0.42	Estabilidad min. 1600 lbs
Capa 2 (base)	Concreto asfáltico (CA)	0.38-0.42	Estabilidad min. 1600 lbs
	Base Asfáltica Caliente (BAC)	0.22-0.32	Estabilidad min. 1000 lbs
	Arena Asfalto en Caliente (AAC)	0.22-0.30	Estabilidad min. 1000 lbs
	Grava Asfalto en Frío (GAF)	0.18-0.30	Estabilidad min. 600 lbs
	Arena Asfalto en Frío (AAF)	0.15-0.22	Estabilidad min. 400 lbs
	Piedra Picada (PP)	0.14	CBR min 80 %
	Piedra integral o grava (PI/GR)	0.12	CBR min. 50 %
	Grava (GR)	0.11	CBR min 40 %
	Grava (GR)	0.10	CBR min 30 %
	Grava (GR)	0.08	CBR min 20 %

5) Se estima el número estructural SN

Tabla 7: NUMERO ESTRUCTURAL (SN)

Tráfico Bajo (hasta 400 000 EE)

SUBRASANTE		CONFIABILIDAD %		
		50	60	70
CBRsat (Clasificacion)	Condicion de Saturacion humedad (meses saturada)	NUMERO ESTRUCTURAL Total (SNT)		
2 (Muy Pobre)	Seca (2)	2.61-2.[illegible]	2.61-2.83	2.81-2.94
	Semi-seca (4)	2.65-2.77	2.65-2.87	2.85-2.98
	Semi-húmeda (6)	2.68-2.81	2.68-2.91	2.89-3.03
	Húmeda (8)	2.73-2.85	2.73-2.96	2.94-3.07
	Muy húmeda (10)	2.78-2.90	2.78-3.01	2.99-3.12
3 (Pobre)	Seca (2)	2.38-2.49	2.47-2.58	2.56-2.68
	Semi-seca (4)	2.41-2.52	2.50-2.62	2.60-2.72
	Semi-húmeda (6)	2.45-2.56	2.54-2.65	2.64-2.76
	Húmeda (8)	2.48-2.60	2.58-2.70	2.68-2.80
	Muy húmeda (10)	2.53-2.65	2.63-2.74	2.73-2.85
4 (Regular)	Seca (2)	2.22-2.32	2.30-2.41	2.39-2.50
	Semi-seca (4)	2.25-2.36	2.34-2.45	2.43-2.54
	Semi-húmeda (6)	2.29-2.39	2.37-2.48	2.47-2.58
	Húmeda (8)	2.32-2.43	2.41-2.52	2.51-2.62
	Muy húmeda (10)	2.37-2.48	2.45-2.57	2.55-2.67
5 (Buena)	Seca (2)	2.10-2.20	2.19-2.29	2.03-2.38
	Semi-seca (4)	2.14-2.24	2.22-2.32	2.06-2.42
	Semi-húmeda (6)	2.17-2.27	2.25-2.36	2.09-2.45
	Húmeda (8)	2.20-2.31	2.29-2.40	2.13-2.49
	Muy húmeda (10)	2.24-2.35	2.33-2.44	2.17-2.53
8 (Muy Buena)	Seca (2)	1.88-1.97	1.98-2.04	2.03-2.13
	Semi-seca (4)	1.90-2.00	1.98-2.08	2.06-2.16
	Semi-húmeda (6)	1.94-2.03	2.01-2.11	2.09-2.19
	Húmeda (8)	1.97-2.06	2.14-2.14	2.13-2.23
	Muy húmeda (10)	2.00-2.10	2.18-2.18	2.17-2.27

6) Se estima el espesor mínimo de la Capa Asfáltica:

Tabla 10. Espesor mínimo de CA (cm)

CBR (porcentaje)	Nivel de tráfico		
	Bajo	Medio	Alto
20	11.0	14.0	16.0
30	10.5	13.5	14.5
40	10.0	13.0	13.5
50	9.5	12.5	13.0
80	9.0	11.5	12.5

CBRsr	4%
REE =	142.321
a_1 (CA)	0,38
a_2 (BG)	0,1
R=	60 %
SNtotal	2,40
e CA=	10,5cm

7) Calculo del Espesor de la Base Granular

SN= e*a

$SN_{MAC} = \frac{10,5}{2,54} * 0,38 = 1,57$

Delta SN= $SN_{TOTAL} - SN_{MAC}$ = 2,40 – 1,57 = 0,83

SN_{BG}= 0,83

SN_{BG}= 0,83= e_{BG}*0,10

e_{BG}= 8,3" =21,08cm = 22cm

VIII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a la revisión de la literatura a nivel internacional, se pueden ofrecer las siguientes conclusiones y recomendaciones como resultado de este trabajo de investigación.

VIII.1.- CONCLUSIONES

1.- Los trabajos consultados sobre las metodologías de pavimentación para vías de bajo volumen de tránsito nos permiten concluir que este tema es de primordial importancia en todos los países del mundo.

2.- Al contrario de lo que podría pensarse, no es un problema solo en países en vías de desarrollo, sino que también es un área de gran interés en los países industrializados.

3.- Los trabajos a los que se ha podido acceder en esta investigación nos muestran que si bien ya ha habido trabajos sobre este tema, tal como en el trabajo del Dr. Jugo en Venezuela, estamos quedando detrás de otros países, los cuales han adelantado investigaciones, e incluso incorporado sus resultados en Normas oficiales en sus países, hace ya varios años.

4.- En nuestro continente, los Estados Unidos de Norteamérica, a través de sus trabajos en este tema hace ya más de 25 años, y Chile, Argentina, y Perú en América Latina. Han adelantado trabajos en este tema, e incluso han desarrollado normas para pavimentos en vías de bajo volumen de tránsito.

5.- Como lo demuestran algunos trabajos en los EEUU de Norteamérica, no solo es necesario estudiar y llegar a soluciones estructurales óptimas para este tipo de vías, sino mas allá habría que ensayar nuevas combinaciones de materiales –no convencionales- que pueden resultar en soluciones innovadoras y aceptables para los habitantes de zonas residenciales periféricas.

6-. Los organismos financieros internacionales, tales como el Banco Mundial, la Agencia Internacional de Desarrollo, y seguramente los Bancos Regionales, están muy interesados en encontrar soluciones correctas y de bajo costo para caminos de bajo volumen de tránsito, a fin de reducir sus costos de financiamiento.

7.-En zonas rurales, en las cuales los caminos rurales son utilizados no solo por vehículos de motor, sino también por carretas con tracción animal, e incluso con tracción humana, es posible utilizar adoquines como superficie de rodamiento, dadas

las ventajas económicas de ese método de construcción cuando se considera la economía en su forma global, dado el empleo que genera ese método constructivo en zonas donde normalmente no hay ofertas de trabajo.

8.-Todas las referencias consultadas para realizar esta investigación, enfatizan el hecho que en las vías de bajo volumen de transito no son aplicables los métodos normales de diseño de pavimentos, como el método AASHTO-93, porque la estructura de los pavimentos resultantes, seria prohibitiva en costos comparado con el volumen de usuarios que lo utiliza.

VIII.2 .- CONCLUSIONES DEL CASO PRACTICO

1- En la mayoría de las vías de bajo volumen de tránsito no se cuenta con conteos de tráfico detallados.

2.-El método propuesto por el Dr. Jugo resuelve ese problema al ofrecer rangos de tráfico y tablas de valores necesarios para el diseño del pavimento.

3.- En este caso, dado que se tuvo acceso a un conteo de tráfico detallado, se aplicó el Método del Dr. Jugo dando como resultado unos espesores razonables para el periodo de diseño del pavimento.

4.- Se concluye por lo tanto, que el Método propuesto por el Dr. Jugo es aplicable para vías de bajo volumen de transito.

VIII.3 .- RECOMENDACIONES

1.- Tomando en cuenta que este trabajo señala –sin lugar a dudas- que el tema es de gran interés y de gran impacto económico se recomienda que el tema de este trabajo se continúe como tema de investigación y estudio en la UCAB.

2.- Visto que las referencias consultadas a nivel internacional parecen indicar que existen otros países que también han estudiado este tema, se recomienda extender la búsqueda bibliográfica a otros países y a otros continentes, buscando obtener una mayor cobertura de la bibliografía existente en el mundo.

3.- Las referencias encontradas en este trabajo señalan que la mayoría de los trabajos efectuados sobre este tema, son una extensión o aplicación del método de diseño AASHTO – 93, y tomando en cuenta que en el país ya hay trabajos con esta misma

orientación, como es el trabajo del Dr. Jugo, sería útil continuar ampliando y mejorando dicho trabajo.

4.- Tomando en cuenta que en nuestro país, en muchos casos los Ingenieros Residentes o Ingenieros Inspectores en este tipo de obra no son especialistas en el área, deberían de enfocarse los esfuerzos no solo en profundizar los estudios en este campo, sino lograr los resultados que permitan llegar a diseños correctos y económicos guiados por tablas o cartillas de diseño que puedan ser manejados por ingenieros, aunque no sean expertos en el tema.

5.- Como una metodología de investigar posibles alternativas de pavimentación de vías de bajo volumen de tránsito, se propone:

- Adoptar la metodología de adecuar el método AASHTO – 93 a las condiciones del país.

- Explorar resultados que se puedan obtener al usar volúmenes de tránsito menores que los señalados por el Dr. Jugo.

- Llevar los resultados para las diferentes variables a unas tablas o cartillas que permitan que un ingeniero, sin experiencia en el campo de pavimentos, pueda llegar a soluciones viables desde el punto de vista técnico y también económico.

IX.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(1) AHLVIN, R.G y G.M. Hammitt II, - "Load – Supporting Capability of Low-Volume Roads" Special Report 160, pág 198-203, Washington. D.C, 1975

(2) APACILA C., Juan – "Manual para el Diseño de Caminos no Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito". Recuperado en Agosto 20, 2011 de : http://www.mtc.gob.pe/portal/transportes/caminos_ferro/Seminario2006/mdnpbvt.pdf

(3) BROWN, D.N. y R.G. Ahlvin –"Revised Methods of Thicknes Design for Flexible Highway Pavements at Military Installations. Techinical Report 3-582, Aug, 1961

(4) CHAMBERLIN, W.P. "Customized Concrete Design and Proportioning", Transportation Research Circular N°. 160; National Research Council, NAS-NAES; Washington, D.C, pág .28, 1974

(5) GUTIERREZ, Carmen y Joaquín Caraballo – "La Gestión de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito" FONTUR, Boletín Novedades Técnicas en Transporte, Año 7, N° ¾ pág 8-16, 2006

(6) HARRAL, Clell G y Surendra K. Agarwal – "Highway Design Standards Study", special Report 160, TRB, NAS-NAE, Washington, D.C. pág 17-24, 1975.

(7) Instituto para el Diseño de los Pavimentos en el Perú (IDPP), "Diseño de Caminos de Bajo Volumen de Tránsito", Recuperado en Septiembre 01,2011 de http://www.idpp-peru.org/aashto.pdf

(8) JUGO, Augusto – "Metodología para el Diseño de Pavimentos Asfalticos para Vías de Bajo Volumen de Tráfico" Agosto 2010. Recuperado en Junio 10, 2011 de http://www.trical.net/documentos/document87.pdf

(9) "Low Volume Roads" – Special Report 160, Transportation Research Board, NAS-NAE, Washington, D.C 1975.

(10) OGLESBY, C.H. – "Low Volume Roads" – Special Report 160, Transportation Research Board, NAS-NAE, Washington, D.C 1975 , pág. 7-16

(11)PÁRAMO, Jorge A. y R.B Cassan – "Manual de Diseño para Pavimentos de Bajos Volúmenes de Tránsito. Región Litoral, Argentina" Recuperado en Julio 30, 2011 de: http://www.camineros.com/docs/cam059.pdf

(12)SALAME, Luis – "Diseño de pavimentos para vías de bajos volúmenes de tránsito". 1980.

(13) SCHNORMEIER, Russell H.- "Use of Asphalt – Rubber on low-cost, low-volume streets". Special Report 160, TRB, NAS-NAE, Washington, D.C. pág 180-85, 1975.

(14) STUART, E., Skok, E and R. Stehly – "Design, Construction and Performance of a Forest service Asphalt- Stabilize Sand Test Road", Special Report 160, TRB, NAS-NAE, Washington, D.C. pág. 166-179, 1975

(15) THENOUX Z, Guillermo, Felipe Halles A. y Álvaro González V. – " Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito"; Recuperado en Julio 15, 2011 de : http://www.vialidad.gov.cl/areasdevialidad/gestionvial/Documents/Informes%20y%20Estudios/GUIA_DE_DISENO_ESTRUCTURAL_DE_PAVIMENTOS.pdf

(16) THOMPSON, Marshall R.- "Lime- Soil Mixtures for Construction of Low Volume Roads", Special Report 160, TRB, NAS-NAE, Washington, D.C. pág. 149-165, 1975.

(17) VASWANI, K. S- "New Design Method for Secondary and Subdivision Roads in Virginia based on thickness Equivalence Values", Special Report 160, TRB, NAS-NAE, Washington, D.C. pág 218-229, 1975.

(18) YODER, Eldon – "Low Volume Roads" Special Report 160, TBR, NAS-NAE, Washington, D.C. pág 1-6, 1975.