

# CAPITULO I

## INTRODUCCION

### 1.1.-Introduccion

El creciente uso de composiciones maquinarias de carga vehículos bitren en las carreteras internacionales es una acción de las compañías para reducir sus costos de operación.

Pero corresponde al Gobierno para evaluar el impacto de estos vehículos de gran tonelaje, y longitud para la seguridad del tráfico.

Se seleccionaron rutas o tramos específicos para el estudio del impacto en la seguridad de operación, pavimentación o puentes.

Estas rutas se podrían caracterizar según la incidencia de los accidentes de tráfico, los volúmenes de carga y el transporte de mercancías peligrosas (donde los accidentes en carreteras bioceánicas han expandido repercusiones de los riesgos ambientales).

El operativo de seguridad está directamente relacionado con la interacción, la función de diseño de pavimento de la carretera bioceánica.

Se realizara estudios de impacto sobre el diseño de pavimentos teniendo en cuenta el peso bruto (cargas de los vehículos bitren) total y el eje, autorizado en los últimos acuerdos de tránsito.

Se debe brindar seguridad, análisis de la distribución de carga para disminuir el número o gravedad de posibles accidentes y la evaluación de los procedimientos de diseño de pavimentos con respecto al uso de estos vehículos tipo bitren.

Adecuación del diseño o rediseño de pavimentos en corredores bioceánicos, tal como se realiza actualmente, y los efectos que podría ocurrir en su desgaste.

También se deberá tomar en cuenta el análisis puentes, viaductos, la compatibilidad con las diferentes normas de diseño utilizados en la construcción de las estructuras existentes en la red de carreteras bioceánicas.

Por lo tanto, para fines de diseño es necesario examinar todo tipo de vehículos, la selección de ellos en las clases y el establecimiento de la representación de los tamaños de los vehículos dentro de cada clase.

La gran variedad de vehículos existentes conduce a elegir, a efectos prácticos, los tipos representativos de los cuales en las dimensiones y limitaciones de maniobra, superiores a la mayor parte de su clase.

Para estos vehículos bitren se da la designación vehículo del proyecto, que se definen como vehículos cuyo peso, dimensiones y características de funcionamiento será la base para establecer los parámetros del proyecto del diseño de pavimentos en carreteras bioceánicas y sus intersecciones.

El estudio se ocupara de las siguientes reflexiones en la zona en la seguridad del tráfico relacionado con el diseño de las carreteras. Se realizaran entonces ciertos cambios que deben ser considerados en el diseño o rediseño de pavimentos carreteras bioceánicas, debido al tamaño de los vehículos introducidos los valores: súper largura en curvas, plantillas para el diseño de las ramas de las intersecciones, parando distancias de visibilidad y de adelantamiento, y en distancias de visibilidad intersecciones.

## **1.2.-Justificacion**

Este tema se quiere hacer para saber más a detalle cómo se realiza el diseño de pavimentos carreteras en corredores bioceánicos y así también observar sus respectivos manteamientos que se debe realizar.

También el tema podría beneficiar a la universidad Autónoma Juan Misael Saracho como así también así poder plantearlo a las autoridades del gobierno como una propuesta de proyecto para que se realice en nuestro país.

Como también podríamos mencionar nuestro proyecto podrían utilizarlo y la ves beneficiar dos o más países ya que es un medio de comunicación internacional así puede establecer más unidos e integración de países vecinos.

El tipo de carreteras en corredores bioceánicos, será de internacionales ya que atravesara como también unirá continentes y océanos

Tal vez se presente la dificultad en la aplicación de las cargas del Bitren al diseño de pavimentos flexibles y rígidos en carreteras bioceánicas para así poder obtener resultados satisfactorios.

Nuestro tema podría aportar al diseño de pavimentos flexibles y rígidos de carreteras en corredores bioceánicos beneficiando a la economía e integración de varios países.

Como dificultad Se podría mencionar a los problemas ambientales y de salud que generen los vehículos, las estaciones y las cargas en corredores que atraviesan regiones no preparadas para enfocar tales aspectos.

La integración de países por medio de los corredores bioceánicos, la economía podría incrementar mediante medios de comunicación, exportación e importación de productos.

Permitirán transportar mayor cantidad de carga por unidad de manera más segura, ya que los equipos están dotados de tecnología de última generación en sus sistemas hidráulicos, de frenado y de giro.

En tanto, sobre las dificultades marcó que "la infraestructura vial tiene que estar acorde a estos vehículos.

La integración de países por medio de los corredores bioceánicos, la economía podría incrementar mediante medios de comunicación, exportación e importación de producto.

### **1.3.-Planteamiento del Problema**

### 1.3.1.-Situación Problemica

La situación problemática de este tema es que en estos momentos todas las carreteras que se tienen que diseñar son parte integrante de los corredores bioceánicos, así también deben tener ciertas características geométricas y estructurales para así poder soportar el tipo de tráfico ya que por estas carreteras bioceánicas transitarán diferentes tipos de vehículos, que recorrerán de un océano a otro.

Las carreteras no están diseñadas con capacidad de soportar vehículos tipo bitren por lo tanto el diseño de los pavimentos actuales, no corresponde a la presencia de circulación de vehículos bitrenes.

Como también las carreteras no están diseñadas y no están aptas para soportar los diferentes tipos de vehículos más grandes, altos, de mayor volumen y peso, de gran envergadura pues ya que en nuestro país gran parte de las carreteras no están siendo diseñadas a base de parámetros en base al tipo de vehículo a soportar y así no sabemos si van a aguantar en su geometría como en su condición estructural, peso, por eso es necesario estudiar que tanto va variar el tipo de vehículo Bitren ya que va ser el tipo de vehículo con el cual se tendrá que diseñar y dimensionar los pavimentos.

También mencionar los problemas ambientales y de salud que podrían generar los vehículos tipo bitren, las estaciones y las cargas en corredores bioceánicos que atravesaran regiones no preparadas para enfocar tales aspectos

Los bitrenes son convoys y podrían ser muy difíciles de operar en las rutas y autopistas provinciales, y superan las normas establecidas internacionalmente respecto al peso y dimensiones.

También el ingreso de vehículos bitrenes significaría una pérdida de fuentes de trabajo, para los vehículos camiones, porque tanto los choferes como los vehículos de transporte pesado quedarían perjudicados con el ingreso de este tipo de vehículo.

Por lo tanto, para fines de diseño será necesario examinar todo tipo de vehículos, la selección de ellos en las clases y el establecimiento de la representación de los tamaños de los vehículos dentro de cada clase. Ya que la gran variedad de vehículos existentes

conduce a elegir, a efectos prácticos, los tipos representativos de los cuales en las dimensiones y limitaciones de maniobra, superiores a la mayor parte de su clase.

Para estos vehículos se da la designación vehículo del proyecto, que se definen como vehículos cuyo peso, dimensiones y características de funcionamiento será la base para establecer los parámetros del proyecto de la carretera y sus intersecciones.

### **1.3.2.-Problema**

¿A través del estudio y análisis de la incidencia del tipo de vehículo bitren en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos, obtendremos los elementos necesarios para la elaboración en corredores bioceánicos?

### **1.4.-Objetivos**

#### **1.4.2.-Objetivo General**

- Verificar la incidencia en el tipo de vehículo Bitren en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos de carreteras en corredores bioceánicos.

#### **1.4.3.-Objetivos Específicos**

- Analizar los aspectos generales y de diseño de pavimentos de los tramos Puente Jarcas – Piedra Larga y Campo Pajoso - Carapari.
- Describir las características del pavimento y de tráfico de los tramos en estudio evaluando las condiciones considerando tipo de vehículo bitren.
- Determinar el efecto de incidencia en el pavimento y tráfico del vehículo tipo Bitren en pavimentos flexibles y rígidos.
- Dimensionar el pavimento flexible y rígido de los tramos viales considerado y definiendo los espesores de las sucesivas capas que van a conformar el mismo.
- Se definirán los espesores de cada una de las capas que componen el paquete estructural, para el diseño de éstas se cuidarán los aspectos técnicos y económicos, con el fin de lograr un diseño óptimo y que satisfaga ambas premisas.
- Realizar el análisis resultado e interpretar mediante graficas la variación de espesores y ejes equivalentes.

- Analizar la diferencia de ejes equivalentes que existen para tráfico normal y para tráfico con vehículo bitren.
- Realizar el cálculo para los años de soporte del pavimento actual con presencia del vehículo bitren.

### **1.5.-Hipótesis**

Para el tema: Incidencia del Tipo de Vehículo Bitren en el Diseño de Pavimentos Flexibles y Rígidos de Carreteras en Corredores Bioceánicos:

Si incluyo en el diseño vehículos tipo bitren para el cálculo de los pavimentos entonces los resultados del dimensionamiento de los pavimentos flexibles y rígidos, estarán en la proporción que nos den ese resultado para ese tipo de vehículo, nos quiere decir que nuestro pavimento estará diseñado para ese tipo de vehículo.

### **1.6.-Diseño metodológico**

#### **1.6.1.-Componentes**

##### **Unidad**

Estudio de los Pavimentos de carreteras en corredores bioceánicos.

##### **Población**

Diseño de pavimentos flexibles y Rígidos

##### **Muestra**

Incidencia del vehículo Bitren para esos pavimentos

#### **1.6.2.- Métodos**

##### **Método Inductivo**

Este método se refiere al movimiento de pensamiento que va de los hechos particulares y afirmaciones de carácter general. Esto implica pasar de los resultados obtenidos de observaciones y experimentos (que se refieren siempre a un número limitado de casos)

al planteamiento de hipótesis, leyes y teorías que abarcan no solamente de los casos de los que se partió, sino otros de la misma clase; es decir generaliza los resultados (pero esta generalización no es mecánica se apoya en las formulaciones teóricas existentes en las en la ciencia respectiva) y al hacer esto hay una superación, un salto en el conocimiento al no quedarnos en los hechos particulares sino que buscamos su comprensión más profunda en síntesis racionales (hipótesis, leyes, teorías.)

### **Método Deductivo**

El método deductivo es el que permite pasar de afirmaciones de carácter general a hechos particulares. Proviene de deductivo que significa descender.

En este proceso deductivo tiene que tomarse en cuenta la forma como se definen los conceptos (los elementos y relaciones que comprenden) y se realiza en varias etapas de intermediación que permite pasar de afirmaciones generales a otras particulares hasta acercarse a la realidad concreta a través de indicadores o referentes empíricos.

En el tema del proyecto se aplicara el tipo de método inductivo, porque se está induciendo que a partir del vehículo bitren se tendrá diferente dimensionamiento de pavimentos.

### **1.6.3.- Técnicas**

Las técnicas de recolección de información son procedimientos especiales utilizados para obtener y evaluar las evidencias necesarias, suficientes y competentes que le permitan formar un juicio profesional y objetivo, que facilite la calificación de los hallazgos detectados de la materia examinada.

Las técnicas de información se clasifican en:

- Verbales: Las técnicas verbales pueden ser entrevistas, encuestas y cuestionarios.
- Oculares: las técnicas oculares se clasifican de la forma siguiente: observación, comparación o confrontación, revisión selectiva y rastreo.
- Documentales: estas pueden ser comprobación y revisión analítica.

- Físicas: reconocimiento real sobre hechos o situaciones dadas en tiempo y espacio determinado y se emplea como técnicas de la inspección.
- Escritas: Esta técnica se aplica de las formas siguientes: Análisis, conciliación, confirmación, calculo y tabulación.

La técnica a utilizar es deductiva, porque se está deduciendo que la fórmula de los espesores del pavimento depende del tipo de vehículo Bitren.

#### **1.6.4.- Tratamiento Estadístico**

Para el tema a realizar los únicos datos estadísticos a necesitar serán:

##### **Media Aritmética**

La media aritmética, también llamada promedio o media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos los valores dividida entre el número de sumandos.

Como habitualmente dispondremos de una tabla de datos con su frecuencia aplicaremos:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

##### **Moda**

Se define como el valor de la variable estadística que tiene la frecuencia absoluta más alta.

##### **Varianza**

La varianza (que suele representarse como  $\sigma^2$ ) de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable. Su unidad corresponde al cuadrado de la unidad de la media de la variable. Por lo tanto la varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto de una distribución estadística.

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{N}$$

### **1.6.5.-Alcance**

Los caminos constituyen uno de los más valiosos factores de desarrollo económico y cualquier región. El transporte desempeña papel esencial en lo que se refiere a la producción de las tierras, comercialización de productos agrícolas y posibilidades de acceso a la riqueza forestal, ganadera, industrial y minera.

Es un factor significativo en el desarrollo de la industria, expansión del comercio, conducción de programas sanitarios, educativos, turísticos, etc.

De ahí que la decisión de construir un corredor bioceánico pavimentada surge como uno de los más importantes propósitos de desarrollo de una región.

Para todo el Departamento de Tarija, la carretera (Campo Pajoso –Carapari); (Puente Jarcas- Piedra Larga), en forma general tiene un innegable alcance, ya que este medio de comunicación en la región tiene finalidad principal y urgente integrar las diferentes zonas del Departamento, o áreas de producción y consumo, posibilitando la apertura de regiones potencialmente productivas a los mercados internos y externos.

En un análisis global salta a la vista la enorme importancia el hecho de tener carreteras pavimentadas, ya que en la actualidad, la misma forma parte del Corredor Bioceánico Central, lo que de por sí generaría un movimiento económico muy notable en nuestro Departamento.

en este proyecto de incidencia del tipo de vehículo bitren en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos de carreteras en corredores bioceánicos en los tramos: (Campo Pajoso –Carapari); (Puente Jarcas- Piedra Larga) se planteara cuatro capítulos, cada uno con sus respectivos subtítulo.

En el capítulo 1 será la introducción se tomara en cuenta los siguientes aspectos, introducción, justificación, planteamiento del problema subdivido en: situación problemica y problema, otro en los puntos en el capítulo serán los objetivos general y específicos, diseño metodológico, componentes, métodos técnicas y tratamiento estadístico, y el alcance.

En Capitulo II constara de todo el marco teórico uno de los subtítulos será los aspectos generales de las carreteras en corredores bioceánicos: estarán formado por los siguientes títulos y subtítulos: carreteras, clasificación de carreteras: según administración, según su transitabilidad, según condiciones técnicas, partes de una carretera, componentes de una carretera.

Como también se tratara otro punto importante sobre pavimentos: definición, clasificación de los pavimentos, factores a considerar en el diseño de pavimentos, pavimentos flexibles, diseño de pavimentos flexibles método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles, método Racional para el diseño de pavimentos flexibles, método de “La Portland Cement Association” (PCA), para pavimentos flexibles, también otro punto muy importante es sobre los pavimentos rígidos, diseño de pavimentos rígidos, método AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, diseño de pavimentos rígidos de la Portland Cement Asociation (PCA).

También se tratara sobre el estudio de trafico como ser transito: cálculo del tránsito de acuerdo al manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, niveles de tránsito, componentes de tránsito, transito acumulado en ejes equivalentes de 8,2 tn en el carril de diseño durante el periodo de diseño, pronóstico de la componente de transito atraído, pronóstico de la componente transito generado, cálculo de transito de acuerdo al manual de diseño de concreto para

vías con bajos y medios y altos volúmenes de tránsito, cuantificación de tránsito de una vía, módulo de la reacción de la subrasante, leyes de fatiga.

Otro punto muy importante a tratar es sobre los corredores bioceánicos: definición, corredores bioceánicos en América del Sur, corredores bioceánicos en Bolivia, repensando los corredores bioceánicos.

Como también trataremos sobre el vehículo tipo bitren: definición, origen del bitren, tipos de vehículos bitren, configuraciones posibles de bitrenes, caracterización de cargas del bitren.

Y por último en este capítulo II se tratará de incidencia del tipo vehículo bitren en el diseño pavimentos, factor de carga equivalente para el vehículo bitren, daño sobre puentes, clasificación de vehículos camiones y factores que intervienen la circulación del vehículo bitren en el sistema vial.

En el capítulo III se hará el relevamiento de información y análisis e interpretación de resultados estará conformado por los siguientes puntos, la ubicación del tramo en estudio, sus características del tramo (Campo Pajoso - Carapari) y (Puente Jarcas – Piedra Larga), información preliminar (para pavimentos) tanto para los tramos en estudio, parámetros de cálculo (estudio de tráfico, índice de crecimiento para calcular los ejes equivalentes) que constará con los siguientes títulos y subtítulos, ubicación del tramo, características del tramo en estudio, condiciones de diseño con y sin Bitren, dimensionamiento del pavimento con vehículo tipo normal, y este título constará de los siguientes subtítulos dimensionamiento del pavimento flexible y dimensionamiento del pavimento rígido.

Como igual también se tendrá; dimensionamiento con vehículo tipo bitren y este título tendrá sus subtítulos, dimensionamiento del pavimento flexible y dimensionamiento del pavimento rígido, se realizará el análisis de resultados de los dimensionamientos con y sin bitren y por último un análisis de resultados en general.

Por último, se tratará el capítulo IV que estará compuesto por conclusiones y recomendaciones.

El proyecto a realizarse será compuesto por todos estos capítulos ya mencionados así para lograr obtener un resultado que satisfaga con el objetivo principal de análisis y también se lograra verificar los espesores de los pavimentos flexible y rígido con y sin vehículo tipo bitren y observar los efectos e incidencias que podrían causar en el diseño de pavimentos de carreteras en corredores bioceánicos.

## **CAPITULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS CARRETERAS EN CORREDORES BIOCEANICOS**

#### **2.1.- Carreteras**

Una carretera es un sistema de transporte que permite la circulación de vehículos en

condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo y que requiere de cierto nivel de seguridad, rapidez y comodidad, Puede ser de una o varias calzadas, cada calzada puede estar conformada por uno o varios carriles y tener uno o ambos sentidos de circulación, de acuerdo a los volúmenes en la demanda del tránsito, la composición vehicular, su clasificación funcional y distribución direccional.

### **2.1.1.-Clasificación de carreteras**

La clasificación de carreteras es la distinta tipología de vías, (en función al número de carriles diseño geométrico) ancho de la calzada, tráfico, que existe dentro de la red vial de un territorio.

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persigue o por su transitabilidad.

En la práctica vial se pueden distinguir varias clasificaciones dadas en otros países. Ellas son: según administración, transitabilidad y condiciones técnicas.

#### **2.1.1.1.-Según Administración**

En Bolivia existe una clasificación definida en el Decreto Supremo 25134 de 1998 que define el Sistema Nacional de Carretera. Esta clasificación no está orientada al diseño, sino a la administración de las redes viales del país,

Definiendo tres niveles dentro del sistema:

Red fundamental.

Redes departamentales.

Redes municipales

La red fundamental está bajo la responsabilidad de la Administración Boliviana de Carreteras, la red departamental está bajo la responsabilidad de las prefecturas y las redes municipales bajo la responsabilidad de las alcaldías.

#### **2.1.1.2.-Según su transitabilidad**

La clasificación por su transitabilidad corresponde a las etapas de instrucción de las

carreteras y se divide en:

**Terracerías:**

Cuando se ha construido una sección de proyecto hasta su nivel de sub-rasante transitable en tiempo de secas. Para un proyecto de urbanización consiste básicamente en construir una infraestructura necesaria para un ordenamiento urbano. En este contexto se define como terracerías los trabajos realizados en el terreno natural como el resultado del movimiento de materiales de suelos para alojar las plataformas, el tipo de estructura que la sección transversal del ancho de las calles..

**Revestida**

Cuando sobre la sub-rasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.

**Pavimentada**

Cuando sobre la sub-rasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

**2.1.1.3.-Según condiciones técnicas**

La clasificación para diseño consulta seis categorías divididas en dos grupos, ellas son:

Carreteras: Autopistas, autorrutas y primarias.

Caminos: Colectores, locales y de desarrollo.

Cada categoría se subdivide según las Velocidades de Proyecto consideradas al interior de la categoría. Las  $V_p$  más altas corresponden a trazados en terrenos llanos,

las intermedias en terrenos ondulados y las más bajas a terreno montañoso o cuyo entorno presenta limitaciones severas para el trazado. El alcance general de dicha terminología es:

**Terreno llano**

Está constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre, lo que permite seleccionar con libertad

el emplazamiento del trazado haciendo uso de muy pocos elementos de características mínimas. El relieve puede incluir ondulaciones de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre  $\pm 3\%$ .

### **Terreno ondulado**

Está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota que, si bien no son demasiado importantes en términos absolutos, son repetitivos, lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 al 6%, según la Categoría de la ruta. El trazado en planta puede estar condicionado en buena medida por el relieve del terreno, con el objeto de evitar cortes y terraplenes de gran altura lo que justificara un uso más frecuente de elementos del orden de los mínimos. Según la importancia de las ondulaciones del terreno es ondulado medio o uno franco o fuerte.

### **Terreno montañoso**

Está constituido por cordones montañosos o "cuestas" en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9%, según la Categoría del Camino, ya sea subiendo o bajando. La planta está controlada por el relieve del terreno (Puntillas, laderas de fuerte inclinación transversal, quebradas profundas, etc.) y también por el desnivel a salvar" que en oportunidades puede obligar al uso de curvas de retorno. En consecuencia, el empleo de elementos de características mínimas será frecuente y obligado.

En trazados por donde se atraviesan zonas urbanas o suburbanas salvo casos particulares, no es el relieve del terreno el que condiciona el trazado, siendo el entorno de la ciudad, barrio industrial, uso de suelo, etc., el que los impone.

Situaciones normalmente reguladas por el Plan Regulador y su Seccional correspondiente.

## **Tabla N°1: Clasificación funcional para el diseño de carreteras y caminos rurales**

Categoría		Sección transversal		Velocidad de proyecto (km/h)	Código tipo
		N° Carriles	N° Calzada		
Autopista	(O)	4 o + UD	2	120-100-80	A(n)-xx
Autoruta	(IA)	4 o + UD	2	100-90-80	AR(n)-xx
Primario	(I.B.)	4 o + UD	2(1)	100-90-80	P(n)-xx
		2 BD	1	100-90-80	P(2)-xx
Colector	(II)	4 o +UD	2(1)	80-70-60	C(n)-xx
		2BD	1	80-70-60	C(2)-xx
Local	(III)	2BD	1	70-60-50-40	L(2)-xx
Desarrollo		2BD	1	50-40-30*	D-xx
UD= Unidireccionales		(n) Número total de carriles			
BD= Bidireccionales		-xx velocidad de proyecto			
Menor sector de 30 km/h en sectores puntales conflictivos					

**Fuente:** Manual de carreteras. Edición 2004

En los proyectos de nuevos trazados, todas las carreteras o caminos con calzadas unidireccionales deben contar con un cantero central que separe físicamente las calzadas.

#### **a. Autopista (O)**

Son carreteras nacionales diseñadas desde su concepción original para cumplir con las características y niveles de servicio que se describen a continuación. Normalmente su emplazamiento se sitúa en terrenos rurales donde antes no existían obras viales de alguna consideración, que impongan restricciones a la selección del trazado y pasando a distancias razonablemente alejadas del entorno suburbano que rodea las ciudades o poblados (circunvalaciones).

Están destinadas a servir prioritariamente al tránsito de paso, al que se asocian longitudes de viaje considerables, en consecuencia, deberán diseñarse para velocidades de desplazamiento elevadas, pero en definitiva compatibles con el tipo de terreno en que ellas se emplazan.

Todo lo anterior debe lograrse asegurando altos estándares de seguridad y comodidad.

La sección transversal estará compuesta por dos o tres carriles unidireccionales dispuestos en calzadas separadas por un cantero central de al menos 13m de ancho si está previsto pasar de 2 carriles iniciales por calzada a 3 carriles futuros. En ese caso las estructuras deberán construirse desde el inicio para dar cabida a la sección final considerada.

Las velocidades de proyecto, según el tipo de emplazamiento son:

Terreno llano a ondulado medio 120 km/h

Terreno ondulado fuerte 100 km/h

Terreno montañoso 80 km/h

#### **b. Autorrutas (I.A)**

Son carreteras nacionales existentes a las que se les ha construido o se le construirá una segunda calzada prácticamente paralela a la vía original. Normalmente se emplazan en corredores a lo largo de los cuales existen extensos tramos con desarrollo urbano, industrial o agrícola intensivo, muy próximo a la faja de la carretera.

Están destinadas principalmente al tránsito de paso, de larga distancia, pero en muchos sub-tramos sirven igualmente al tránsito interurbano entre localidades próximas entre sí.

Podrán circular por ellas toda clase de vehículos motorizados incluso aquellos que para hacerlo deban contar con una autorización especial, y que no estén expresamente prohibidos o cuyo tipo de rodado pueda deteriorar la calzada.

La sección transversal deberá contar con al menos dos carriles unidireccionales por calzada debiendo existir un cantero central entre ambas cuyas dimensiones mínimas se especifican.

Las velocidades de proyecto consideradas son:

Terreno llano - ondulado fuerte 100 y 90 km/h

Terreno montañoso 80 km/h

Las autorrutas deberán contar con control total de acceso respecto del salida de vehículos a ella; preferentemente se dará también control de respecto de los peatones y animales a todo lo largo de la ruta, previéndose obligatorio este tipo de control de acceso en las zonas de enlaces, pasarelas y zonas adyacentes a poblados, con longitudes suficientes como para forzar a los peatones a usar los dispositivos especialmente dispuestos para su cruce.

El distanciamiento entre enlaces sucesivos lo regulará la Administradora Boliviana de Carreteras según las circunstancias particulares de cada emplazamiento: en todo caso resulta conveniente que el espacio libre entre extremos de carriles de cambio de velocidad de enlaces sucesivos no sea menor que 3,0 Km.

### **c. Carreteras primarias (I.B)**

Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda medios a altos. que sirven al tránsito de paso con recorridos de mediana y larga distancia, pero que sirven también un porcentaje importante de tránsito de corta distancia, en zonas densamente pobladas.

La sección transversal puede estar constituido por dos carriles unidireccionales se paradas por un cantero central que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas más 1,0m libre desde el área al borde interior de los carriles adyacentes, pero por lo general estará de una calzada con dos carriles para tránsito bidireccional.

Velocidades de Proyecto consideradas son las mismas que para las autorrutas de modo que en el futuro mediante un cambio de estándar puedan adquirir las características de autorruta:

**Tabla N° 2: Velocidades de diseño para carreteras primarias**

	<b>Terreno llano y ondulado fuerte</b>	<b>Terreno montañoso</b>
Calzadas unidireccionales	100-90 km/h	80km/h
Calzadas unidireccionales	100-90 km/h	80km/h

**Fuente:** Manual de carreteras. Edición 2004

#### **d. Caminos colectores (II)**

Son caminos que sirven tránsitos de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. El servicio al tránsito de paso y a la propiedad colindante tiene una importancia similar.

Podrán circular por ellos toda clase de vehículos motorizados. En zonas densamente pobladas se deberán habilitar carriles auxiliares destinados a la construcción de ciclovías.

Su sección transversal normalmente, es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener calzadas unidireccionales. Las velocidades de proyecto consideradas son:

Terreno llano - ondulado medio 80 km/h

Terreno ondulado fuerte 70 km/h

Terreno montañoso 60 km/h

Normalmente este tipo de caminos poseerá pavimento superior, o dentro del horizonte del proyecto será dotado de él, consecuentemente la selección de la Velocidad del Proyecto debe ser estudiada detenidamente. Podrán circular por ellos toda clase de

vehículos motorizados y vehículos a tracción animal que cuenten con los dispositivos reglamentarios señalados en la ordenanza del tránsito. En zonas de desmonte pobladas se construirán carriles auxiliares en que se habitaran ciclovías.

#### **e. Caminos locales (III)**

Son caminos que se conectan a los caminos colectores. Están destinados a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Son pertinentes las Ciclovías.

La sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales de las dimensiones especificadas y las velocidades de proyecto consideradas son:

Terreno llano a ondulado medio 70 km/h

Terreno ondulado fuerte 60 km/h

Terreno montañoso 50 y 40 km/h

#### **f. Caminos de desarrollo**

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas transitarán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal.

Sus características responden a las mínimas consultadas para los caminos públicos, siendo su función principal la de posibilitar tránsito permanente aun cuando las velocidades sean reducidas, de hecho, las velocidades de proyecto que se indican a continuación son niveles de referencia que podrán ser disminuidos en sectores conflictivos.

Velocidades referenciales de proyecto son:

Terreno llano a ondulado medio 50 y 40 km/h

Terreno ondulado fuerte a montañoso 30 km/h

### **2.1.2.-Partes de una carretera**

Las carreteras, según su complejidad constan de las siguientes partes:

- **Calzada:** La parte de la calle o de la carretera destinada a la circulación de los vehículos, puede estar compuesta de uno o varios carriles.

- **Cuneta o drenaje:** Es una zanja o canal localizada a los lados de las calles y que, debido a su menor nivel, recibe las aguas pluviales y las conduce hacia un lugar que no provoquen daños o inundaciones.
- **Acera:** Es una superficie pavimentada a la orilla de una calle para uso de personas que se desplazan andando o peatones. Usualmente se sitúa a ambos lados de la calzada.
- **Paso de peatones:** Son la zona de intersección una o más calles y el tránsito peatonal; es la parte del itinerario peatonal que cruza la calzada de circulación de vehículos, al mismo o a diferente nivel.
- **Ciclovía:** Es un nombre genérico dado a las calles destinadas de forma exclusiva o compartida para la circulación de bicicletas.
- **Arcén:** Es la berma o faja de terreno sin pavimentar junto con las exteriores de los arcenes, suele presentar una ligera pendiente debido principalmente a encontrarse entre las plataformas, cuneta porque es zona de dominio público, zona de servidumbre y zona de afección.

### 2.1.3.-Componentes de una carretera

Diez elementos representativos que conforman el diseño geométrico de las carreteras:

#### **Ancho de la zona o derecho de vía**

**Figura N° 1: Derecho de vía**



**Fuente:** Elaboración propia

Faja de terreno determinada dentro de los siguientes rangos, salvo condiciones particulares del proyecto que justifiquen extrapolar el límite superior

**Tabla N°3: Derecho de vía**

<b>Categoría de la carretera</b>	<b>Ancho de zona (m)</b>
Primaria de dos calzadas	> 30
Primaria de una calzada	24-30
Secundaria	20-24
Terciaria	12

**Fuente:** Elaboración propia

**Función:** Destinada a la construcción, mantenimiento futuras ampliaciones de la vía, servicios de seguridad, servicios auxiliares y desarrollo paisajístico. El derecho de vía incluye bermas taludes y toda al área aledaña a la plataforma dentro de los límites que establece a la reglamentación Boliviana según D.S.25134.

### **Sobreancho**

**Figura N° 2: Sobreancho de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Aumento en la sección transversal de una calzada en las curvas.  
**Función:** Asegurar espacios libres adecuados entre los vehículos que se cruzan en

calzadas bidireccionales o unidireccionales, y entre el vehículo y el borde de la carretera.

### Corona

**Figura N°3: Corona de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Los anchos varían según los siguientes rangos:

**Tabla N°4: En función del ancho de la calzada**

<b>Categoría de la carretera</b>	<b>Ancho de calzada (m)</b>	<b>Ancho de berma (m)</b>
Primaria de dos calzadas	7,30	1,8/0,5-2,5/1,0*
Primaria de una calzada	7,00-7,30	1,50-2,50
Secundaria	6,00-7,30	0,50-1,80
Terciaria	6,00	0,50-1,00**
*Berma derecha e izquierda **Berma cuneta		

**Fuente:** Manual de carreteras ABC

**Función:** La calzada está destinada a la circulación de vehículos, y está constituida por dos o más carriles. Si está pavimentada, queda comprendida entre los bordes internos de las bermas.

La demarcación que ayuda a definir los carriles y el ancho total se debe ejecutar de acuerdo con el manual de dispositivos para la regulación del tránsito en calles y carreteras.

Las bermas protegen el pavimento y sus capas inferiores (que de otro modo se verían afectadas por la erosión y la inestabilidad), permiten detenciones ocasionales de vehículos y ofrecen espacios adicionales para maniobras de emergencia.

Deben estar libres de obstáculos y quedar compactadas homogéneamente en toda su sección.

Conjunto formado por la calzada (zona de la vía pavimentada o acondicionada con algún tipo de material de afirmado) y las bermas (fajas comprendidas entre los bordes de la calzada y las cunetas).

### **Cuneta**

**Figura N°4: Cuneta de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Zanja revestida en concreto o no, construida paralelamente a las bermas. Su dimensión se deduce de cálculos hidráulicos, teniendo en cuenta la intensidad de la lluvia prevista, la naturaleza del terreno, la pendiente y el área que drenan.

**Función:** Recoge y canaliza longitudinalmente las aguas superficiales y de infiltración. Las cunetas revestidas en concreto se diseñan para que al final de su longitud su sección llegue al nivel de rebosamiento.

El control de rebosamiento aplica para el caso más crítico, cuando la cuneta tiene la pendiente longitudinal igual a la pendiente mínima de la vía (0,5 %).

Las cunetas recubiertas en tierra se diseñan para asegurar que el agua no las erosione. El control por erosión depende del tipo de suelo de la subrasante, de la pendiente longitudinal de la vía y de la intensidad de la lluvia de diseño.

## **Talud**

**Figura N°5: Talud de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Paramento o superficie inclinada que limita lateralmente un corte o un terraplén. Su inclinación se mide por la tangente del ángulo que forman tales planos con la vertical en cada sección de la vía

La inclinación de los taludes de corte es variable a lo largo de la vía según sea la calidad y estratificación de los suelos encontrados. Los taludes de corte y el terraplén se deben diseñar de acuerdo con el (Manual de estabilidad de taludes), del INVÍAS.

Si un terraplén debe cimentarse sobre terrenos que presenten inclinaciones superiores a 20 %, es necesario realizar obras especiales para minimizar los peligros de deslizamiento o asentamientos diferenciales excesivos.

En el caso de la construcción de terraplenes en laderas con pendientes pronunciadas, deben erigirse escalones que minimicen el riesgo de movimientos de masa de tierra.

Función: Limitar la explanación.

- **Carril especial de ascenso**

**Figura N° 6: Carril especial de ascenso**



**Fuente:** Elaboración propia

Parte de la calzada creada cuando se excede la longitud crítica de pendiente. La longitud mínima debe corresponder a un tiempo de recorrido de 20 s. a la Velocidad Específica de la tangente vertical (VTV), y no ser menor de 300 m. Como mínimo, debe tener 3m de ancho

**Función:** facilitar el ascenso de vehículos pesados en rampas largas con pendientes superiores a 3 %, evitando la disminución de su velocidad

**Andén y sendero**

**Figura N°7: Andén y sendero de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Espacios peatonales cuyo diseño debe ser continuo y a nivel, sin obstáculos con los predios colindantes, y tratado con materiales duros y antideslizantes.

El ancho mínimo requerido para una persona es de 0,75 m y para garantizar el cruce de varias, de por lo menos 1,50 m.

La elevación respecto de la corona adyacente debe estar entre 0,10 y 0,25m.

Función: Destinados para la circulación peatonal, articula el acceso a los espacios públicos, edificaciones y sistemas de transporte.

Son de uso restringido en áreas rurales debido al escaso número de transeúntes.

- **Señalización vertical**

**Figura N°8: Señalización vertical de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella.  
Función: Prevenir a los conductores sobre la existencia de peligros y cambios en la topografía de la zona, además de reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto al uso de las carreteras.

## **Separador**

**Figura N°9: Separador de una carretera**



**Fuente:** Elaboración propia

Zona verde o dura ubicada paralelamente al eje de la carretera y que se extiende entre las cunetas interiores de ambas calzadas. En terreno plano, su ancho suele ser constante, pero en terreno montañoso es variable. Si esta medida varía entre 4 m y 10 m, es necesario instalar barreras de seguridad solo si el volumen de tránsito así lo demanda.

Función: Además de dividir la circulación de las calzadas, contribuye a disminuir cualquier interferencia como el deslumbramiento nocturno.

Aunque es más costoso el desarrollo de un separador considerablemente ancho, es conveniente para futuras ampliaciones de las calzadas.

## **2.2.-Pavimento**

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

Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la sub-rasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento.

Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Debe ser económico
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.
- Deber poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

### **2.2.1.-Clasificación de los pavimentos**

En nuestro medios los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles y rígidos.

### **2.2.2.-Factores a considerar en el diseño de pavimentos**

#### **El tránsito**

Interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado.

La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo.

A demás, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc.

#### **La sub-rasante**

De la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que deber tener un pavimento, sea este flexible o rígido.

Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de sub-rasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura.

Otra forma de enfrentar este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medios los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.

#### **El clima**

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel

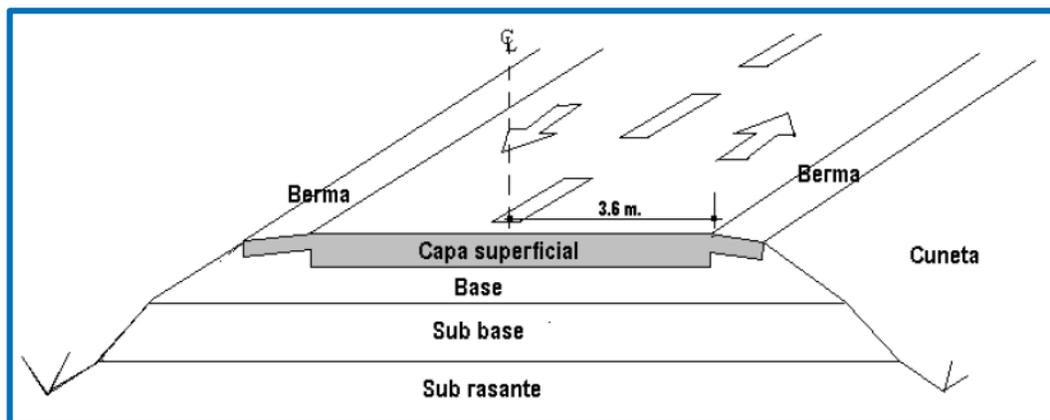
freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de sub-rasante especialmente.

Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

### 2.2.3.-Pavimentos flexibles

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante puede prescindirse de cualquiera de estas dependencias de las necesidades particulares de cada obra.

**Figura N°10: Estructura típica de un pavimento asfáltico (flexible)**



Fuente: Diseño de pavimentos flexibles y rígidos (2012) (Universidad de QUINDIO)

### **Funciones de las capas de un pavimento flexible:**

#### **Sub-base granular**

- Capa de transición: La sub-base bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la sub-rasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la sub-rasante la contaminen menoscabando su calidad.
- Disminución de la deformación: Algunos cambios volumétricos de la capa sub-

rasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa sub-base, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

- Resistencia: La sub-base debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la sub-rasante.

### **Base granular**

- Resistencia: La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la sub-base y a la sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

### **Carpeta asfáltica**

- Superficie de rodadura: La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- Resistencia: Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.
- Impermeabilidad: Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

#### **2.2.3.1.-Diseño de pavimentos flexibles**

El primer antecedente en el diseño de pavimento según el método AASHTO se tiene con el AASHO Road Test fue un ensayo realizado sobre pavimentos de determinadas características bajo diferentes cargas en Ottawa, Illinois entre 1958 y 1960. De estos ensayos se obtuvo información para ser aplicada en la metodología de diseño de pavimentos. Así parece la “AASHO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement” (1962) que contenía procedimientos de diseño basados en modelos empíricos deducidos de datos recolectados en el AASH Road Test.

### 2.2.3.2.-Método AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles

Aparece la “AASHTO “ Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement Structures” en 1972 y luego de hacer observaciones a partir de 1983 la AASHTO “Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavement Structures” con muchas modificaciones con respecto a la de 1972 (se tiene una confiabilidad, módulos resilientes de materiales, coeficientes de drenaje y efectos de la subrasantes expansivas y sometidas a congelación y deshielo) y finalmente en 1993 fue hecha una versión revisada de esta guía, que no ofrece cambios en lo que a diseño de pavimentos flexibles se refiere.

La fórmula original deducida del AASHO Road Test era:

$$\log W = \log \rho + \frac{G}{B} \quad (1)$$

W=Numero de cargas de ejes tipo aplicadas hasta la serviciabilidad final.

G=Una función (el logaritmo ) de la relación de perdida de serviciabilidad en el tiempo t con respecto a la perdida potencial para una de serviciabilidad 1,5.

$\beta$ =Función del diseño y de las cargas que influyen en la forma de la curva p (serviciabilidad) vs W.

$$\beta = 0,40 + \frac{0,081 \cdot (L_1 + L_2)^{3,23}}{(SN+1)^{5,19} \cdot L_2^{3,23}} \quad (2)$$

Dónde:

SN=Número estructural

$L_1$  =Carga por eje simple o eje tándem.

$L_2$ =Código de eje ( 1 para eje simple, 2 para eje tándem)

Es una función del diseño y de las cargas que tiene en cuenta el número de aplicaciones de cargas para llevar la calzada a una serviciabilidad de 1,5.

$$\log p = 5,93 + 9,36 \log(SN+1) - 4,79 \log(L_1 + L_2) + 4,33 \log L_2 \quad (3)$$

Para el método de diseño AASHTO 86 y 93 la fórmula de diseño es:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} M_R - 8,07 \quad (4)$$

Dónde:

SN=Número estructural (pulg)

$W_{18}$ =Número de cargas de 18 kips (80KN) previstas

$Z_R$ =Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

$S_0$ =Desvío entandar en todas las variables.

$\Delta PSI$  =Perdida de serviciabilidad

$M_R$ =Módulo resiliente de la subrasante en (psi)

Se itera lo dicho, en cuanto a la modificación que aparece en el numero estructural SN con motivo de implementación del programa DARWin que permite el diseño de un pavimento flexible en unidades inglesas o métricas. La modificación consiste en que el número estructural deja de ser adimensional para convertirse en un parámetro con unidades de longitud, que representa un espesor ficticio de pavimento. En unidades inglesas viene ser expresados en pulgadas y conserva el valor numérico obtenido

mediante la expresión (4). En el sistema métrico viene ser expresado en mm y su valor es igual a SN (en pulg) multiplicado por 25,4.

### **Variables de entrada**

Se describen a continuación las variables a considerar en el método AASTHO.

### **Variable de tiempo**

Hay dos variables de tiempo a tener en cuenta: periodo de análisis y vida útil del pavimento. La vida útil es el periodo que media entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que este alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El periodo de análisis es el tiempo total de cada estrategia de diseño debe cubrir. Puede ser igual que la vida útil, pero en casos en donde se prevén reconstrucciones a lo largo del tiempo, el periodo de análisis comprende varios periodos de vida útil, el del pavimento original y el de los distintos refuerzos: los periodos de análisis recomendados son:

**Tabla N° 5: Variable de tiempo**

<b>Tipo de camino</b>	<b>Periodo de análisis</b>
Gran volumen de transito urbano	30-50 años
Gran volumen de transito rural	20-50 años
Bajo volumen pavimentado	15-25 años

**Fuente:** Diseño de pavimento (AASHTO -93)

### **Confiabilidad**

Se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar a fin de su periodo de análisis en buenas condiciones.

Para una construcción por etapas (vida útil < periodo de análisis) se deben componer las confiabilidades de cada etapa para tener la confiabilidad en todo el periodo de diseño. Así se tiene:

$$R = (R_{\text{total}})^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

N es el número de etapas previstas;  $R_{etapa}$  es la confiabilidad de cada etapa y  $R_{total}$  es la confiabilidad para toda la vida útil de diseño, es decir que si se quiere diseñar un pavimento para una confiabilidad de 80% para que dure 20 años en dos etapas, cada una de las etapas (en ste caso un primer pavimento y luego una sobrecarpeta) debe diseñarse con una confiabilidad de:

$$R_{etapa} = (0,80)^{\frac{1}{2}} = 0,89$$

En este aspecto es sumamente importante en el diseño, puesto que si se ignora esta recomendación y se diseña cada etapa con un factor de 0,80 la confiabilidad total sería;

$$R_{etapa} = (0,80 \cdot 0,80) = 0,64$$

Que expresado de otra manera significa que el 36% de las secciones tendrán deterioros antes de cumplir la vida útil de diseño, lo cual es una probabilidad de falla muy grande, y si las etapas fueran 3, por ejemplo un tratamiento superficial al inicio y luego dos sobrecarpetas, y se diseña ignorando esta recomendación, la confiabilidad real será:

$$R_{etapa} = (0,80 \cdot 0,80) = 0,51$$

En otras palabras la mitad del pavimento no alcanza la vida útil de diseño. Por este motivo es importante establecer el número de etapas de construcción y confiabilidad compuesta.

### **Subrasante expansivas o sometidas a expansión por congelación**

Si se tiene una subrasante expansiva, o bien sometida a expansión por congelamiento, habrá una perdida adicional de serviciabilidad que debe ser tomada en cuenta. Esto se hace analizando la perdida de serviciabilidad por esta causa en función del tiempo mediante estudios hechos sobre materiales existentes en el proyecto. Alternativamente, se puede adoptar por procedimientos que eliminen está perdida de

serviciabilidad como el uso de capas estabilizadas de suelo - cemento o suelo - cal que sirvan como una barrera contra la expansión:

### **Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviability index ) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones ) y 5 (perfecto). En el diseño de pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial  $P_O$  es función del diseño de pavimento y de la calidad de construcción. La final o terminal  $P_t$  es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHO Road Test:

Serviciabilidad inicial:

$P_O = 4,5$  para pavimentos rígidos

$P_O = 4,2$  para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

$P_t = 2,5$  o más para caminos muy importantes

$P_t = 2,0$  para caminos de menor tránsito

Es importante considerar además que estos valores significan un buen acabado de construcción, si el trabajo se va a realizar con herramientas manuales o equipos gastados es probable que el pavimento nuevo no alcance los niveles de serviciabilidad establecidos y por tanto dure menos.

### **Propiedades de los materiales**

Como ya se había expresado en el capítulo correspondiente, la variable que se usa para el diseño de pavimentos flexibles es el módulo resiliente, tanto para la determinación del número estructural SN así como para, en función de los materiales que componen cada capa del paquete estructural, obtener los coeficientes estructurales o de capa.

## Drenaje

En el método AASHTO los coeficientes de capa se ajustan con factores mayores o menores que la unidad para tener en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de humedad próximos a la saturación.

## Determinación de Espesores

Ya se ha presentado la ecuación de diseño para pavimentos flexibles y las variables de entrada. En este sentido, es posible desarrollar una hoja excel para determinar el valor de SN o bien hacer uso del programa DIPAV que permite con gran facilidad determinar espesores, diseños alternativos y sensibilidad.

Con la fórmula de diseño se obtiene un valor llamado número estructural SN (structural number) y en función del mismo, se determinan los distintos espesores de capas que forman el paquete estructural.

La expresión que liga el número estructural con los espesores de capa es:

$$SN = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3 \dots \dots \quad (6)$$

Dónde:

$a_1, a_2, a_3$  = Son los coeficientes estructurales o de capa dimensionales

$m_1, m_2, m_3$  = Son los coeficientes de drenaje.

$D_1, D_2, D_3$  = Son los espesores de capas, en pulg o mm en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

Esta ecuación no tiene una única solución, hay prácticamente un infinito de combinaciones espesores que la pueden satisfacer, no obstante esto, se dan normativas tendientes a dar espesores de capas que puedan ser construidas y protegidas de deformaciones permanentes por las capas superiores más resistentes. A este método se denomina "Diseño con verificación por capas".

## Limitaciones en el método de diseño AASHTO

Las limitaciones del método AASHTO son las siguientes:

- Materiales y subrasantes limitados. El AASHTO Road Test fue realizado con una clase típica de materiales y un único tipo de subrasante.

La extrapolación de los resultados obtenidos a aplicaciones generales conlleva el hecho de que los materiales y suelos de un determinado lugar pueden ser muy diferentes a los usados en el AASHTO Road Test. Este problema se salva con el uso de factores de ajuste,  $M_R$ ,  $a_i$ ,  $m_i$ , etc., pero pese a todo, muchos de estos factores están basados en relaciones empíricas y deben usarse con precaución.

- Tránsito no mezclado: El AASHTO Road Test consideraba el tránsito acumulado de vehículos con cargas Y configuraciones por eje idénticos.

En la realidad los pavimentos están expuestos a un gran número de configuraciones y cargas por eje. El proceso para convertir un tránsito mixto en un número equivalente de pasadas de ESALs se basa en una relación empírica.

- Períodos de vida útil muy cortos en el Road Test. El número de años y las cargas aplicadas en el AASHTO Road Test representan sólo una fracción de la vida de diseño y de las aplicaciones de cargas vistas en la realidad.

Con períodos muy largos en servicio, el deterioro del pavimento por condiciones ambientales empieza a ser importante.

- Factores equivalentes de carga. Los factores equivalentes de carga usados para pasar del tránsito mixto al número de ESALs son válidos para los materiales, composición del pavimento, clima y subrasante del AASHTO Road Test. La extrapolación de estos factores a otras condiciones es desconocida.

Estos factores, a su vez están dados para niveles finales de serviciabilidad variables entre 2,0 y 2,5. Para caminos muy importantes de alto volumen de tránsito pueden adoptarse serviciabilidades finales mayores y estos LEFs no se adecuan correctamente.

- Variabilidad: Una de las principales limitaciones del método AASHTO es que está basado en tramos muy cortos de pavimentos con un gran control de calidad en lo que respecta a materiales y construcción. La variabilidad en construcción y materiales en casos reales es mucho mayor. Los proyectos diseñados con valores medios tendrán fallas localizadas antes de que su serviciabilidad descienda a su nivel final, a menos que se use un alto nivel de confiabilidad en el diseño.
- Falta de guía en el diseño: Los coeficientes estructurales o de capa y los factores de drenaje  $m$ , tienen una gran importancia en la determinación de los espesores de pavimentos, pero se han dado muy pocas guías en este rubro. Lo mismo ocurre con la confiabilidad. La selección de estos valores debe estar basada en el buen juicio y experiencia del proyectista.

### **Tendencias futuras en el diseño de pavimentos flexibles**

El pavimento flexible es en realidad un sistema elástico multicapa. Hay dos maneras básicas de encarar el diseño de un pavimento. Uno de ellos considera un procedimiento general de diseño aplicable a diferentes condiciones de tránsito y clima. Este es un método empírico y simplista. Se basa en la correlación entre el comportamiento observado in situ y mediciones de propiedades de materiales y espesores. El AASHTO es un método de este tipo, el otro tipo de método de diseño está basado en métodos mecánico-empíricos y se fundamentan en la correlación entre la respuesta predicha de un pavimento a través de modelos elásticos o mediante análisis por elementos finitos y las mediciones observadas in situ.

La AASHTO consideró la posibilidad de implementar un método mecánico -empírico en la guía de diseño AASHTO de 1986, pero finalmente se adoptó un método empírico como los anteriores por la gran aceptación que habían tenido estos entre los usuarios y por el hecho de que un método mecánico - empírico necesita muchas verificaciones. No obstante, la tendencia es a ir hacia soluciones mecánicas y hacia allí apuntan las investigaciones.

### **2.2.3.3.-Método racional para el diseño de pavimento flexible**

El método racional consiste en asumir unos espesores para cada una de las capas de la estructura del pavimento. A partir del módulo resiliente y los espesores asumidos, se caracterizan dichas capas.

El módulo resiliente se obtiene mediante la siguiente relación:

$$M_R = 0,206 \cdot h \cdot 0,45 \cdot (M_{R \text{ sub rasante}}) \quad (7)$$

Dónde:

$h$  = Espesor de la capa asumida

$M_R$  = Módulo resiliente de la capa inferior a la analizada

El método racional, al igual que el método de la AASHTO, se apoyan en modelos computacionales, para determinar las deformaciones de la estructura del pavimento ante las cargas de diseño.

Para el método racional se usa el DIPAV y se compararán los resultados obtenidos, con las leyes de fatiga.

#### **2.2.3.4.-Método de la portland cement association (PCA) para pavimentos flexibles**

La versión actual del método de la PCA fue publicada en el año 1984. En la misma se han introducido numerosos cambios con respecto a la anterior aparecida en 1966.

El propósito de este método al igual que el de los anteriores es determinar los espesores mínimos de pavimento que permiten optimizar costos en una obra.

Este método consiste en una hoja de cálculo que reúne una serie de datos para el análisis de la estructura por fatiga y por erosión.

El análisis de fatiga se basa en el cálculo de esfuerzos por caga en el borde de las losas y el análisis de erosión se basa en que la deflexión más crítica ocurre en la esquina de la losa.

### 2.2.4.-Pavimentos rígidos

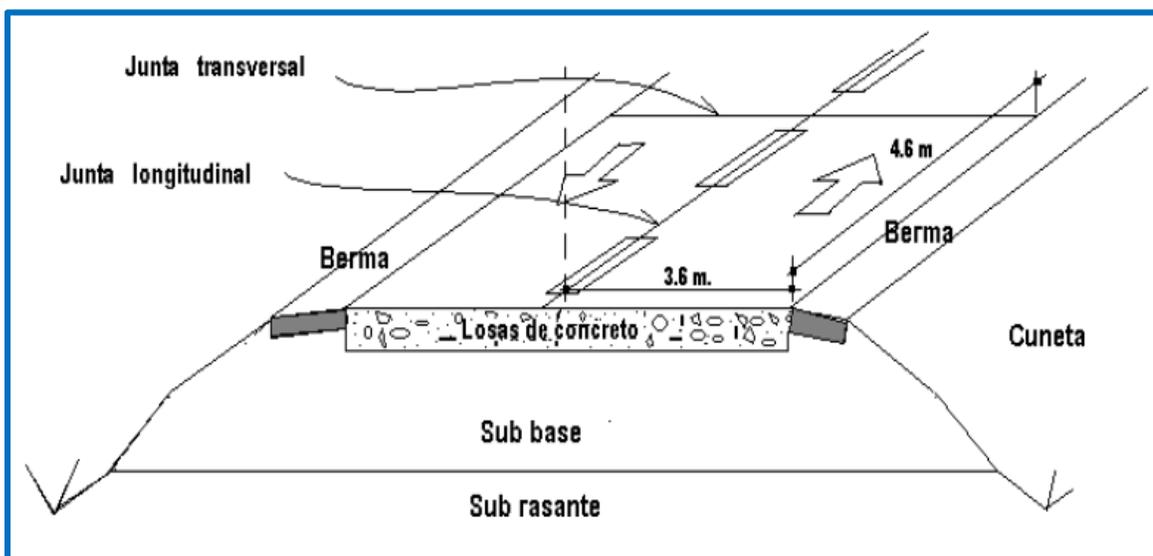
Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub-rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub-base del pavimento rígido.

Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia.

Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub-rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

**Figura N°11: Estructura típica de un pavimento rígido**



Fuente: Diseño De Pavimentos Flexibles y Rígidos (2012) (Universidad de QUINDIO)

### Funciones de las capas de un pavimento rígido.

#### Sub-base

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas,

grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de materiales fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas.

- El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la sub-rasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimento
- Mejorar el drenaje y reducción por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la sub-rasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.

#### **Losa de concreto**

- Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

#### **2.2.4.1.-Diseño de pavimentos rígidos**

La primera guía AASHO para diseño de pavimentos rígidos se publicó en 1962 (AASHO Interim Guide of Design of Pavement Structures). Esta fue evaluada y revisada en 1972 y 1981. Entre 1984 Y 1985, el 1 Subcomité en Diseño de Pavimentos y consultores revisaron la guía en vigencia y así sale la "AASHTO Guide of Design of Pavement Structures (1986) con muchas variaciones al respecto a las versiones anteriores. En 1993 se publica una nueva versión de la guía, pero sin cambios en lo que concierne al diseño de pavimentos rígidos.

El programa DIPAV surge como un desarrollo Boliviano y un aporte del IBCH para el diseño de pavimentos rígidos, puesto que, a pesar de que está en consulta el método mecánico - empírico de AASHTO, aún tomará varios años para su implementación completa y de todos modos se requiere una herramienta de diseño, puesto que el método mecánico empírico es iterativo en base a deterioros esperados y requiere una calibración local no muy fácil de realizar.

#### **2.2.4.2.-Método AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos**

El criterio para diseño de pavimentos rígidos se basa en los resultados de los ensayos del AASHTO Road Test realizados en Ottawa, Illinois, entre 1958 Y 1960.

La fórmula original deducida de este ensayo es:

$$\log W = \log \rho + \frac{G}{\beta} \quad (8)$$

Siendo:

W=Numero de cargas de ejes tipo aplicadas hasta la serviciabilidad final.

G=Una función (el logaritmo) de la relación de perdida de serviciabilidad en el tiempo t con respecto a la perdida potencial para una serviciabilidad de 1,5.

$\beta$ = Función del diseño y de las cargas que influyen en la forma de la curva  $\rho$  (serviciabilidad) vs W.

Las expresiones de  $\rho$  y  $\beta$  son diferentes a las elaboradas para pavimentos flexibles.

$$\log \rho = 5,85 + 7,35 \log(D+1) - 4,62 \log(L_1 + L_2) + 3,82 \log L_2 \quad (9)$$

$$\beta = \frac{3,63(L_1 + L_2)}{(D+1)^{8,46} L_2^{3,52}} \quad (10)$$

Dónde:

D=Espesor de la losa

$L_1$ =Carga en un eje simple o tándem, en kips.

$L_2$ =Código de ejes ( 1 para eje simple, 2 para eje tándem)

La ecuación (8) fue modificada en 1962 usando la ecuación de tensiones en esquina de Spangler para tener en cuenta las propiedades del material: resistencia a la flexión, módulo de elasticidad y reacción de soporte de subrasante.

Las innovaciones presentadas en la guía de 1986 son: confiabilidad R, desvío estándar de las variables  $S_0$ , coeficiente de drenaje  $C_d$  y también la posibilidad de considerar la acción de suelos expansivos y efectos de hinchamiento por helada.

El factor LS (pérdida de soporte) fue agregado para tener en cuenta la pérdida de soporte por erosión de la subbase o por movimientos verticales diferenciales del suelo.

Este

Factor LS reduce el valor efectivo de k.

La fórmula resultante es:

(11)

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 7,35 \cdot \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1,65 \cdot 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot P_t) \cdot \log_{10} \left[ \frac{S'_C \cdot C_d (D^{0,75} - 1,13)}{215,63 \cdot J (D^{0,75} - 18,42 \cdot (\dots))} \right]$$

Dónde:

$W_{18}$ =Número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

$Z_R$  =Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución

normalizada.

$S_o$ =Desvío estándar de todas las variables.

$D$ =Espesor de la losa del pavimento, en pulg.

$\Delta PSI$ = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

$P_t$ =Serviciabilidad final

$S'_c$  =Módulo de rotura del hormigón, en psi

$J$  =Coeficiente de transferencia de cargas

$C_d$ =Coeficiente de drenaje

$E_c$  =Módulo de elasticidad del hormigón, en psi

$K$  =Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balasto), en psi/pulg -  $i$ )

### **Variables de entrada**

Se describen a continuación las variables a tener en cuenta en el diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO.

### **Variables de tiempo**

Son ellas la vida útil del pavimento y el período de análisis. Tienen el mismo significado que para pavimentos flexibles, por lo que no se las describirá aquí.

### **Tránsito**

Al igual que para pavimentos flexibles, el tránsito es reducido a un número de pasadas de ejes tipo de 18 kips ( 80 KN) a través de los factores equivalentes de carga, LEF, que difieren de los usados para pavimentos flexibles.

### **Confiabilidad y desviación estándar**

Tiene el mismo significado que para pavimentos flexibles, es decir que se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño puede llegar al fin de su período de análisis en buenas condiciones. En cuanto al desvió estándar de las variables  $S_o$ , se recomienda para pavimentos rígidos un valor de 0,34 para el caso en que se considere la varianza del tránsito futuro y  $S_o= 0,39$  para el caso en que ésta no este considerada.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de valores de  $Z_R$  en función al valor de confiabilidad:

**Tabla N° 6: Relación de confiabilidad y valor  $Z_R$**

<b>Confiabilidad (%)</b>	<b>Desviación estándar normal (<math>Z_R</math>)</b>
50	0,000
60	0,253
70	0,524
75	0,674
80	0,841
85	1,037
90	1,282
91	1,340
92	1,405
93	1,476
94	1,555

95	1,645
96	1,751
97	1,881
98	2.054
99	2,327
99,9	3,090
99,99	3,750

**Fuente:** Diseño de pavimentos (AASTHO 93) y DIPAV -2

Con este método se puede prever la pérdida de serviciabilidad por estas causas, las que se suman a las de tránsito. Se hace el mismo análisis que para pavimentos flexibles.

### **Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad**

Vale lo expresado en el capítulo correspondiente a pavimentos flexibles.

### **Caracterización de los materiales que forman el pavimento**

El módulo elástico del pavimento se determina con la ecuación:

$$E_C = 57,00 (f'_c)^{0,5} \quad (12)$$

Dónde:

$E_c$  =Módulo elástico del hormigón (psi)

$f'_c$ =Resistencia a la compresión simple del hormigón (psi)

La misma ecuación expresada en unidades métricas:

$$E_C = 150,000 (f'_c)^{0,5} \quad (13)$$

Dónde:

$E_C$  =Módulo elástico del hormigón (KPa)

$f'_c$ =Resistencia a la compresión simple del hormigón (KPa)

El módulo de rotura o resistencia a la tracción por flexión del hormigón  $f'$  se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio y está relacionado con  $f'_c$  través de la ecuación:

$$f'_r = k \cdot (f'_c)^{0,5} \quad (14)$$

$f'_r$  y  $f'_c$  están dados en psi, K es una constante que varía entre 7 y 12.

La resistencia a la tracción indirecta está relacionada con  $f'_r$  a través de:

$$f'_c = 1,02 \cdot f'_i + 210 \quad (15)$$

Con las resistencias en psi.

Alternativamente, con las resistencias en kpa se puede expresar:

$$f'_r = 1,02 \cdot f'_i + 1450 \quad (16)$$

## Drenaje

En este caso se usa un coeficiente de drenaje  $C_d$  que puede variar entre 0,70 y 1,25 según sea la calidad del drenaje, a mayor  $C_d$ , mejor drenaje.

### **Transferencia de cargas**

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina.

De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde.

Como puede apreciarse, para lograr una efectiva transferencia de cargas en sentido longitudinal, para tráficos pesados, especialmente en carreteras, se debe usar barras pasajuntas en todas las juntas transversales. En caso de no usarlas, lo cual es común en pavimentos urbanos de tráfico liviano, el sistema constructivo de vaciar todas las losas en una sola franja y cortar las juntas en aproximadamente  $1/3$  del espesor de la losa, permite que se desarrolle una fricción entre agregados gruesos en la zona de contacto en las juntas, para lo cual se recomienda espaciamientos de juntas no muy grandes a fin de reducir la apertura entre las juntas, mejorando este tipo de transferencia de cargas al tener los agregados un mayor contacto.

Por otra parte, la capacidad de transferencia de cargas en el sentido transversal tiene una importante influencia desde el punto de vista del diseño, de manera que en sentido transversal, el uso de bermas de hormigón atadas, o sobreanchos (losas con parte de la berma maciza incorporada), tiene un efecto positivo en la reducción de esfuerzos en las losas. De acuerdo con estudios de deflexión elaborados por la American Concrete Pavement Association (ACPA), si se carga una losa sin barras pasajuntas en una esquina, se producirá una deflexión 5 veces mayor que si la carga se colocara en el centro de la losa. Esta misma deflexión sería 3 veces mayor si la esquina estuviera vinculada con la losa adyacente mediante barras pasajuntas. Este estudio muestra la importancia de utilizar sobreanchos y barras pasajuntas para tráficos pesados puesto

que puede reducirse notablemente los esfuerzos de tensión en bordes y esquinas o bien optimizar el diseño reduciendo los espesores de diseño.

Como se ha indicado, el desempeño de un pavimento mejora con la adición de barras pasajuntas y sobrecanchos, factores que se toman en cuenta en el diseño a través del "coeficiente de transferencia de carga (J)" que permite considerar el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa; los dispositivos de la transferencia de cargas; interacción de agregados, y la presencia de bermas de hormigón vinculadas a coeficientes de transferencia de carga más altos corresponden a menor soporte.

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, mayores coeficientes deben ser usados con valores bajos de k; altos coeficientes térmicos y mayores variaciones de temperatura. La siguiente tabla provee recomendaciones para la selección de coeficientes de transferencia de carga:

**Tabla N°7: Coeficientes de transferencia de cargas**

Tipo de pavimento	Berma de asfalto		Berma de H° vinculada	
	Disp. de transferencia		Disp. de transferencia	
	Si	No	Si	No
Junta sencilla y reforzada	3,2	3,8-4,4	2,5-3,1	3,6-4,2
Continuamente reforzada	2,9-3,2	N/D	2,3-2,9	N/D

Fuente: Diseño De Pavimentos (AASHTO 93) Y DIPAV -2

El diseño de pavimentos rígidos es sumamente sensible a esta variable y es importante su consideración en función de las características de clima, de suelo y condiciones generales de apoyo a fin de seleccionar un valor dentro de los rangos previstos. Los rangos inferiores de "J" son sólo aplicables si se tienen suelos duros y condiciones climáticas apropiadas. Las columnas que indican "Berma de asfalto" implican que no existe ningún soporte lateral, es por tanto aplicable a berma de tierra, losa suelta y separada de un cordón en calles etc. Mientras que "Berma de Hormigón" significa un sobrecancho macizo de al menos 50 cm con acceso restringido; cunetas atadas; cordones vinculados a la losa o berma de hormigón vinculada propiamente dicha.

#### **Diferencia de temperatura de diseño**

Es la diferencia entre la temperatura media de curado del hormigón y la temperatura mínima. Para la temperatura media de curado del hormigón se toma la temperatura media máxima durante el mes en que se piensa construir el pavimento. La temperatura mínima es la temperatura media mensual mínima de la zona donde está el pavimento.

$$DT_O = T_H - T_L \quad (17)$$

$DT_O$  = Diferencia de temperatura de diseño en °C ó °F

$T_H$  = Temperatura máxima media en el mes de la construcción, en °C ó °F

$T_L$  = Temperatura mínima media durante el mes más frío del año, en °C ó °F

### **Factor de fricción**

Este factor es el mismo que para pavimentos con juntas.

### **Procedimiento para determinación del espesor de losa**

Este puede ser determinado mediante el empleo de la fórmula de diseño, procedimiento algo tedioso por lo complicado de la misma, o mediante programas de computación como DIPAV.

### **Construcción por etapas**

Un pavimento rígido normalmente se debe diseñar para soportar el período de análisis completo mediante un espesor adecuado de losa, este aspecto es muy importante al momento de tomar decisiones, puesto que, al incrementar 2 a 3 cm el espesor de losa prácticamente se puede duplicar la capacidad estructural del pavimento, por este motivo, desde el punto de vista del costo.

Es mucho mejor diseñar un pavimento rígido para períodos de vida de 25 a 30 años, siendo común que las carreteras de alto tráfico de países industrializados consideren períodos de vida de hasta 40 años, por este motivo no es recomendable diseñar un pavimento rígido en etapas.

### **Consideraciones de pérdida de serviciabilidad por condiciones ambientales**

La metodología es igual que para pavimentos flexibles, con la diferencia de que se elige un espesor de losa en lugar de un número estructural para comenzar los tanteos.

Normalmente, en el caso de pavimentos rígidos es preferible efectuar un cambio de material, controlando las expansiones mediante mejoramientos de subrasante y bases estabilizadas en lugar de realizar el procedimiento de pérdida de serviciabilidad.

### **Limitaciones en el método de diseño AASHTO**

Las limitaciones son las siguientes:

- Variabilidad: Las ecuaciones ya descritas anteriormente (de diseño) están basadas en tramos de pavimentos muy cortos, donde la construcción y el control de calidad han sido excelentes (pistas AASHO).

En la realidad, con tramos más largos, la variabilidad en la construcción y materiales será mucho mayor y como resultado aparecerán fallas localizadas aún antes de alcanzar la serviciabilidad final. Esto se salva considerando niveles de confiabilidad altos (mayores del 50%).

- Limitación en materiales y subrasantes. La fórmula de diseño fue probada y verificada con los materiales y subrasante del AASHO Road Test. Para distintos materiales es de esperar otro comportamiento del pavimento, pero este inconveniente se salva usando valores de entrada apropiados.
- Período de análisis muy reducido para el Road Test. Los períodos de análisis o de vida útil en los proyectos reales son mucho mayores que los analizados en el AASHO Road Test, y en éste se pudieron analizar las fallas por efecto del tránsito, pero no las debidas a efectos climáticos que tardan más tiempo en desarrollarse (por ejemplo: corrosión de armaduras, levantamiento de juntas por congelamiento, fisuras de durabilidad, reacciones álcali-agregado). Por eso es de esperar que los pavimentos construidos en zonas de clima riguroso duren menos de lo previsto. En zonas de clima moderado, los pavimentos pueden llegar a durar más de lo previsto.
- Diseño de juntas. En el AASHO Road Test sólo se usaron pavimentos con juntas con pasadores. La ausencia de pasadores o el uso de otro dispositivo de

transferencia de cargas pueden cambiar notablemente la vida útil del pavimento. El tipo de base puede modificar también la transferencia de cargas. Las recomendaciones para considerar la transferencia de cargas a través del coeficiente  $J$  son poco claras, motivo por el cual se debería limitar el uso de los valores extremos, especialmente de los muy bajos.

- Diseño de armaduras. El cálculo de armaduras longitudinales en pavimentos de hormigón con juntas tiene muchas simplificaciones. En primer lugar, se supone que la losa está totalmente libre, lo cual no es rigurosamente cierto. Si hay una cierta restricción en una o más juntas, habrá un incremento en las tensiones del acero que pueden provocar fluencia o rotura. Tampoco se tiene en cuenta el efecto de corrosión de armaduras. Por último, el efecto de las cargas repetidas del tránsito no está considerado en la determinación de las armaduras longitudinales.

Para pavimentos de hormigón continuos se desprecia el efecto de la fricción de la subbase que se cree que puede llegar a ser un factor crítico determinante. También el ancho admisible de fisura de 1 mm (0,04 pulg) puede considerarse muy alto, siendo recomendable un valor de 0,58 mm (0,023 pulg).

- Clima. El comportamiento de los pavimentos de hormigón no es independiente de las condiciones climáticas. Dado que el AASHO Road Test fue hecho en dos años, los efectos climáticos para este caso no tuvieron el mismo efecto que tienen para un pavimento real, aún sometido a la misma sollicitación de cargas, pero en un período mucho mayor (20-40 años). La corrosión en el acero tarda varios años en desarrollarse, lo mismo que las reacciones entre álcalis y agregados.
- Factores equivalentes de carga. Estos factores son válidos para los materiales del AASHO Road Test, la composición del pavimento, la pérdida de serviciabilidad y el tipo de subrasante. La extrapolación de estos valores a otras condiciones no está bien conocida, pero es cuestionable. Además los camiones usados actualmente difieren mucho de los de la década del 50.
- Tránsito no mixto. El AASHO Road Test consideraba vehículos con idénticas configuraciones de ejes lo que no ocurre en la realidad donde los vehículos tienen

distintas configuraciones. El procedimiento de convertir un número equivalente de ejes de 80 KN (18 kips) no ha sido verificado in situ.

- Falta de directivas en la elección de varias variables de entrada. La pérdida de soporte y el coeficiente de drenaje tienen una gran influencia en el espesor de la losa, pero hay muy pocas directivas en lo que concierne a su correcta elección. Finalmente, el método AASTHO permite determinar el espesor de la losa, pero no da directivas en cuanto a la determinación de espesor de subbase.

### **Tendencias futuras en el diseño de pavimentos rígidos**

Al igual que para pavimentos flexibles, hay dos maneras de encarar el cálculo: una de ellas es la que usa el método AASTHO, ósea con fórmulas empíricas, desarrolladas a partir de pruebas en pavimentos hechos a este fin (AASHO Road Test). Otra forma de encararlo es a través de métodos mecánicos como el de la PCA (Portland cement Association).

Aunque se ha avanzado mucho hacia la implementación de métodos mecánicos, estos métodos no han tenido mucho uso, en primer lugar por la complejidad de los cálculos a realizar y también por la falta de pruebas que verifiquen la teoría. Se deben hacer más investigaciones para determinar la respuesta de pavimentos de hormigón al alabeo por temperatura, a la deformación por gradiente de humedad, a la transferencia de cargas, etc. También es necesario estudiar el efecto de las características de diseño en las fisuras transversales y otro tipo de fallas.

#### **2.2.4.3.-Diseño de pavimentos rígidos de portland cement asociation (PCA)**

El procedimiento de diseño de la PCA está basado en información obtenida de diferentes fuentes, incluyendo investigaciones, desarrollos teóricos, ensayos de pavimentos a escala real, y el monitoreo de la performance de pavimentos en servicio. Un programa de investigación llevado a cabo por la Portland Cement Association correlacionó la información de diseño de estas fuentes obteniendo como resultado un procedimiento desarrollado únicamente para pavimentos suelo cemento.

### **Bases para el procedimiento de diseño de espesores**

Desde 1935 más de 140,000 km de pavimentos suelo-cemento han sido construidos en Norteamérica. La performance demostrada por estos pavimentos a través de los años provee una valiosa información para el diseño, para los niveles de espesor que fueron utilizados.

La mayoría de estos pavimentos en servicio son de 15 cm de espesor. Este espesor ha probado ser satisfactorio para las condiciones de servicio de caminos secundarios, calles residenciales y pistas de aterrizaje de tráfico ligero. Algunos pavimentos de 10 cm y 12,5 cm han sido construidos y han dado un buen servicio bajo condiciones favorables de tráfico ligero y fuerte resistencia del suelo. Muchos kilómetros de pavimentos de 17,5 cm y 20 cm de espesor están en servicio en caminos principales y vías secundarias de alto tráfico.

Pavimentos con suelo cemento con espesores de 22,5cm o mas no son numerosos, aunque algunos proyectos de aeropuertos han sido construidos con espesores de hasta 40 cm. En carreteras interestatales en algunas áreas de tráfico comparativamente más bajos, un amplio rango de espesores de suelo cemento, de 10 a 30 cm, han sido incorporados en la estructura total de los pavimentos.

Se ha obtenido también información valiosa de diseño de ensayos de caminos a escala real y de investigaciones de laboratorio conducidas por universidades, departamentos de carreteras, y por la Portland Cement Association.

### **Propiedades estructurales básicas**

Las propiedades estructurales del suelo-cemento dependen del tipo de suelo, condiciones de curado, y edad. Los rangos típicos para una amplia variedad de tipos de suelo- cemento, a sus respectivos contenidos de cemento requeridos para durabilidad, son;

**Tabla N°8: Propiedades estructurales básicas**

Propiedad	Valores a 28 días
-----------	-------------------

Resistencia a la compresión, saturada	400 - 900 psi
Módulo de ruptura	80 - 180 psi
Módulo de elasticidad (módulo estático a la flexión)	600,000 - 2'000,000 psi
Relación de Poisson	0.12 – 0.14 <sup>1</sup>
Radio de curvatura crítico <sup>2</sup> , en viga de 6 x 6 x 30 pulg	4,000 – 7,500 pulg.

**Fuente:** Diseño De Pavimentos Flexibles y Rígidos (2012) (Universidad de QUINDIO)

### 2.2.5.-Trasito

- Para pavimentos flexibles: Se usa el número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips, (80) kN. La conversión de una carga por eje ESAL se hace a través de los LEF (factores equivalentes de carga).
- Para pavimentos rígidos: Al igual para los pavimentos flexibles, el tránsito es reducido a un número de ejes tipo de 18 kips (80 kn) a través de los factores equivalentes de carga, LEF que difieren de los usados para pavimentos flexibles.

#### 2.2.5.1.-Cálculo del tránsito de acuerdo al manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

Para el dimensionamiento de los pavimentos interesan las cargas por eje esperadas en el carril de diseño, estas se determinarán la estructura del pavimento para el periodo de diseño adoptado. Es por esto que, probablemente, la variable más importante en el

diseño de un pavimento de una vía es el tránsito; éste se define como la determinación del número, tipo y peso de vehículos que transitan por determinada vía. Es necesario cuantificar la variable tránsito existente ya que ésta genera cargas y deformaciones sobre el pavimento. El Instituto Nacional de Vías INVIAS ha designado la siguiente terminología para los vehículos que circulan en el país:

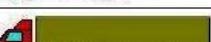
**A:** Vehículos livianos (automóviles)

**B:** Buses

**C:** Camiones

Además se ha clasificado el tipo de vehículos de acuerdo con el número y disposición de los ejes, como se muestra en la figura 12.

**Figura N° 12. Esquema de clasificación de vehículos**

Codigo	Tipo de vehiculo	Figura
1	Automoviles y vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2tn)	
3	Mínibuses (hasta 15 pasajeros)	
MB	Microbuses (hasta 21 pasajeros de 2 ejes)	
B2	Buses grandes (mas de 35 pasajeros de 2 ejes)	
B3	Buses grandes (mas de 35 pasajeros de 3 ejes)	
C2m	Camiones medianos (de 2,5 a 10 tn de 2 ejes)	
C2	Camiones grandes (mas de 10 tn de 2 ejes)	
C3	Camiones grandes (mas de 10 tn de 3 ejes)	
CSR	Camiones semirremolque	
CR	Camiones remolque	
12	Otros vehiculos	

Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

#### 2.2.5.1.1.-Niveles de tránsito

El Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en su manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito clasifica el tránsito de diseño en dos niveles, en función del número de ejes equivalentes de 8.2 ton previstos durante el periodo de diseño en el carril.

**Tabla N° 9: Niveles de tránsito**

Nivel de tránsito	Numero de ejes equivalentes durante el periodo de diseño en el carril de diseño
T1	<1500

T2	150,000-500,000
----	-----------------

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

### 2.2.5.1.2.-Componentes de tránsito

Para cuantificar adecuadamente los volúmenes de tránsito, se divide en:

- Tránsito normal: Tránsito que circularía por la red si no se realizara el proyecto
- Tránsito atraído: Tránsito que utilizará el proyecto, por las ventajas o beneficios que ofrece.
- Tránsito generado: Se origina por el proyecto debido a mejores condiciones de oferta (tránsito nuevo por efecto del desarrollo del área de influencia).

### Determinación del nivel de confianza en la proyección del tránsito

El proyectista deberá considerar en el cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton para el diseño, el nivel de confiabilidad que considere pertinente.

En el caso en que existe serie histórica del tránsito, el modelo estadístico que se adopte, a través de los errores estándar del modelo y de predicción para cada uno de los años del periodo de diseño, considerara la confiabilidad indicada por el proyectista.

### Conversión de vehículos a ejes equivalentes de 8,2 ton factores de daño por tipo de vehículo

Los factores de daño se indican en la tabla 10, y serán los que se deberán aplicar para calcular los ejes equivalentes de 8,2 ton.

**Tabla N°10. Factor daño por tipo de vehículo**

Tipo de vehículo	Factor Daño (FD)	
	Factor Daño	Cargado
Autos	-	0,0

Bus grande	-	1,0
C2p	0,01	1,01
C3-C4	0,24	3,72
C5	0,25	4,88
>C5	0,26	5,23

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

### **Tránsito en el carril de diseño en función el ancho de la calzada factor direccional (Fd)**

En la tabla 11 Se indica el factor direccional (Fd) por adoptar para el diseño según el ancho de la calzada.

**Tabla N° 11: Tránsito por adoptar para el diseño según el ancho de la calzada Factor direccional (Fd)**

Ancho de calzada	Tránsito de diseño	Fd
Menos de 5m	Total en todos los sentidos	1,0
Igual o mayor de 5m y menor de 6 m	$\frac{3}{4}$ del total en los sentidos	0,75
Igual o mayor de 6m	$\frac{1}{2}$ de total en los sentidos	0,50

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

### **2.2.6.-Tránsito acumulado en ejes equivalentes de 8.2 ton, en el carril de diseño durante el periodo de diseño**

#### **Pronostico de la componente de tránsito normal**

Cuando existe serie histórica de tránsito:

Cuando en el tramo de vía analizado se encuentra una estación de conteo de tránsito, con información continua de por lo menos 5 años.

El procedimiento para la determinación del tránsito normal se describe a continuación:

- Identificación de la serie histórica del tránsito en la estación de conteo

seleccionada.

- Conversión de la serie histórica del tránsito a ejes equivalentes de 8.2 ton.

$$N_{8,2\text{ton diario año } i} = \text{TPDS}_{\text{año } i} = \sum_{\text{vehículo } k}^{\text{vehículo } k} (\%V_{\text{año } i} \cdot \text{FD}_{k \text{ año } i}) \quad (18)$$

Dónde:

$N_{8,2\text{ton diario año } i}$  = Número de equivalentes de 8.2 ton en cada año  $i$  de la serie histórica

$\text{TPDS}_{\text{año } i}$  = Transito promedio diario semanal en cada año  $i$  de la serie histórica

$\%V_{k \text{ año } i}$  = Porcentaje del tipo de vehículo  $k$  en cada año  $i$  de la serie histórica expresada en tanto por uno.

$\text{FD}_{\text{año } i}$  = Factor del daño del tipo de vehículo  $K$  para cada año  $i$ . normalmente es el mismo para todos los años  $i$  del periodo de la serie histórica.

- Análisis estadístico de la serie histórica:

Se establecen los modelos de crecimiento factibles para las condiciones del estudio.

- Selección del modelo factible de crecimiento de tránsito: se acepta o rechaza un

modelo sobre la base de los resultados de los coeficientes estadísticos, del análisis de las variables independientes adoptadas y de consideraciones acerca de las particularidades del proyecto.

- Estimación del tránsito proyectado para el periodo de diseño, en el carril de diseño y considerando un nivel de confianza predeterminado. El deseo de las personas por movilizarse, la flexibilidad ofrecida por el vehículo y la producción industrial de más vehículos cada día, hacen que esta componente del tránsito siga aumentando

- a) Cálculo del error estándar ( $\sigma$ ) del modelo de crecimiento del tránsito seleccionado.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n'} (Y_i - Y_{i \text{ modelo}})^2}{n' - 2}} \quad (19)$$

$\sigma$  =Error estándar del modelo seleccionado

$Y_i$  = Valor observado o medido en el año  $i$

$Y_{i \text{ modelo}}$  =Valor calculado con el modelo, en el año  $i$

$n'$  =Número de años analizados

$i$  = Varía de 1 a  $n'$

Cálculo del error estándar en la predicción del tránsito, error de pronóstico ( $\sigma_{\text{pronostico}}$ ) año por año en el periodo de diseño.

$$\sigma_{\text{pronostico}} = \sqrt{\frac{(X_j - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^{n'} (X_i - \bar{X})^2} + \frac{1}{n'}} \quad (20)$$

Dónde:

$i$  =Representa los años de serie histórica

$j$  =Representa los años de proyección en el periodo de diseño

Error estándar de la estimación del tránsito, en el año, en el año  $j$  del periodo de diseño.

$\sigma$  =Error estándar del modelo seleccionado

$X_j$  =Cada uno de los años del periodo de diseño

$X_i$  =Cada uno de los años de la serie histórica

$\bar{X}$  = Año medio de la serie histórica

- b) Cálculo de los valores de corrección ( $C_j$ ) para el tránsito equivalente proyectado en cada uno de los años del periodo de diseño, con base en el nivel de confianza deseado. En la tabla 9 se muestran los valores de  $Z_r$  para diferentes niveles de

confianza.

$$C_j = (\sigma_{\text{pronostico}}) \cdot j \cdot Z_r \quad (21)$$

**Tabla N°12: Valores del parámetro  $Z_r$  (suponiendo una distribución normal)**

Confiabilidad	$Z_r$
70%	0,524
75%	0,674
80%	0,842
85%	1,036
90%	1,282
95%	1,645
96%	1,751
97%	1,881
98%	2,055
99%	2,328

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito, INVIAS

- c) Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton diarios, corregidos por confiabilidad, en cada uno de los años del periodo de diseño ( $N' j$ )

$$N'_j = N_j + C_j \quad (22)$$

Dónde:

$N_j'$ =Ejes equivalentes diarios para el año j del periodo de diseño

$N_j$ =Ejes equivalentes diarios calculados por el modelo seleccionado, para el año j.

$C_j$ =Corrección para el año j, en ejes equivalentes, que permite asegurar el nivel de confianza deseado.

- d) Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton acumulados durante el periodo de diseño.

$$N_{8,2 \text{ ton acumulado ambas direcciones}} = 365_{\text{días/año}} \cdot \sum_{i=1}^n N_j' \quad (23)$$

- e) Cálculo del número de ejes equivalentes de 8.2 ton acumulados en el carril de diseño durante el periodo de diseño, por concepto de la componente normal del tránsito.

$$N_{8,2 \text{ ton acumulado ambas direcciones}} = [365_{\text{días/año}} \cdot \sum_{i=1}^n N_j'] \cdot Fd \quad (24)$$

Dónde:

$Fd$ =Factor dirección normal.

### 2.2.6.1.-Pronóstico de la componente de tránsito atraído

Para iniciar la discusión de este tipo de análisis, se debe estar seguro que el proyecto vial si ocasionará cambios en el comportamiento de los usuarios. Entre los métodos para estimar el tránsito atraído, se cuentan los siguientes:

- Estudio de origen y destino: Aplicación de un estudio de origen y destino que permita establecer los flujos entre pares origen-destino, flujos básicos, que en forma potencial, podrían utilizar el proyecto en el futuro.

Estudio de utilización del proyecto por usuarios potenciales.

Se lleva a cabo a través de una encuesta a usuarios potenciales, en las que se indaga si harían uso o no del nuevo proyecto.

### **2.2.6.2.-Pronóstico de la componente de tránsito generado**

Crecimiento que se presenta por el incremento que se presenta por el incremento que en la producción agrícola, pecuaria, minera, industrial, comercial o turística que se genera en una zona por la construcción de una nueva carretera o el mejoramiento y/o pavimentación de una vía existente.

Cuando no se dispone de información detallada, se puede hacer uso de los factores relacionados en la tabla 13, obtenidos del seguimiento a proyectos de pavimentación en vías de bajo tránsito en el país.

**Tabla N°13: Porcentaje de tránsito generado como función del tránsito normal**

<b>Clasificación del área del proyecto</b>	<b>Población beneficiada</b>	<b>Porcentaje de tránsito generado como función de tránsito normal</b>
Área potencial minero alto	Menos de 5000	3,0
	5000 o mas	6,0
Área potencial agrícola alto	Menos de 5000	2,5
	5000 o mas	5,5
Área potencial turístico alto	Menos de 5000	2,0
	5000 o mas	3,5
Área de bajo potencial de desarrollo	-	1,5

**Fuente:** Manual de diseño de pavimentos asfálticos para vías con bajos volúmenes de tránsito

### **2.2.7.-Cálculo del tránsito de acuerdo al manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito**

La determinación de la variable tránsito se puede hacer con diferentes grados de aproximación. Las más precisas parten del análisis de registros históricos de conteos y pesajes sobre la vía que se va a pavimentar.

Los conteos permiten que se haga una proyección con la idea de que el tránsito pasado permite predecir el que pasará. Por su parte los menos precisos se hacen teniendo en cuenta el ancho y el tipo de la vía que se tiene, o con base en algunas consideraciones acerca del servicio que va a prestar la vía..

Los vehículos se clasifican así:

**A:** Automóviles, camperos, camionetas y microbuses

**B:** Busetas y buses.

**C:** Vehículos de carga.

Los vehículos de carga se designan de acuerdo a la configuración de sus ejes de la siguiente manera:

- Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tracto camión.
- La letra S significa semirremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra B significa el remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

#### **2.2.8.-Control de pesos y dimensiones**

Todos los vehículos de carga y pasajeros (buses) están obligados a detenerse y someterse al control de pesos y dimensiones en todos los puestos fijos de control.

A requerimiento del personal de los puestos móviles de control, los vehículos indicados en el párrafo anterior deberán detenerse para su correspondiente control de pesos y dimensiones. El control de peso será acreditado mediante una boleta (no valorada) que el Personal de Control entregará a los conductores.

Estas boletas deberán ser conservadas obligatoriamente hasta el final del viaje y presentadas ante los requerimientos de otros Puestos de Control. La presentación de esta boleta, no eximirá al vehículo de un nuevo control de peso a lo largo de su

recorrido. El control móvil de peso se realizará donde existan condiciones mínimas de seguridad para este cometido, con la finalidad de que el infractor descargue el exceso de peso, reacomode la carga o reduzca las dimensiones. El exceso de carga no podrá depositarse sobre la superficie de rodadura, bermas o cunetas de la carretera.

El Servicio Nacional de Caminos (hoy ABC-Vías Bolivia) en la red fundamental, los Servicios Prefecturales de Caminos en las rutas bajo su jurisdicción o los operadores privados contratados para efectuar control de pesos y dimensiones, están obligados a colocar en lugar visible junto a los puestos fijos de Control de Pesos y Dimensiones, así como en lugares especiales de las carreteras, letreros informativos, especificando los pesos por eje, peso bruto total máximo y dimensiones máximas permitidos, de acuerdo a la Ley N° 1769. Los pesos y dimensiones permitidos para la circulación de vehículos de transporte en carretera, son los siguientes:

**Tabla N° 14: Dimensiones de vehículos permitidos para la circulación**

<b>Dimensiones</b>	<b>Metros</b>
Ancho total máximo	2,60
Altura total máxima	4,10
<b>Longitudes totales máximas</b>	
Bus	13,30
Camión con dos ejes	11,50
Camión con tres ejes (rígidos)	12,20
Tracto camión con semirremolque	18
Camión con remolque u otra combinación	20,50

**Fuente:** Decreto Supremo N° 25629 ( Ley de Cargas)

**Tabla N° 15: Pesos de vehículos permitidos para la circulación**

<b>Carga</b>	<b>Peso bruto máximo permitido en toneladas métricas</b>
Peso bruto total para vehículos (más carga) será:	45
Peso bruto total para eje sencillo (direccional o fijo) con dos llantas:	7
Peso bruto total para eje sencillo de cuatro llantas:	11
Peso bruto total para eje doble de 8 llantas:	18
Peso bruto total para eje doble de 4 llantas:	10
Peso bruto total para eje doble de 6 llantas:	14
Peso bruto total para eje triple de 12 llantas:	25
Peso bruto total para eje triple de 6 llantas:	17
Peso bruto total para eje triple de 10 llantas:	21

**Fuente:** Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

Es obligación del Servicio Nacional de Caminos (hoy ABC-Vías Bolivia) en la Red Fundamental y de los Servicios Prefecturales de Caminos, en las rutas bajo su jurisdicción colocar señales adecuadas en las carreteras y puentes cuyo uso esté limitado a vehículos con pesos y dimensiones menores a los especificados en la Ley N° 1769. Está prohibida la circulación en carreteras de tractores de oruga u otras máquinas similares, por sus propios medios.

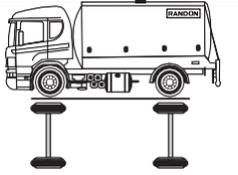
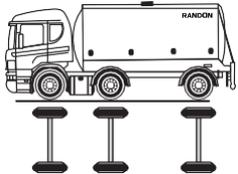
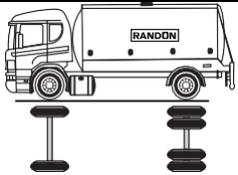
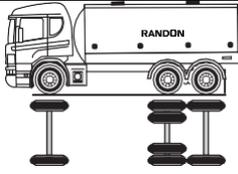
Los camiones-volquetes del tipo "fuera de carretera", sólo podrán circular sin carga en las carreteras, siempre y cuando no excedan los pesos permitidos.

#### **Para cargas de 45 a 55 toneladas**

Para cargas técnicamente indivisibles a ser transportadas con un peso bruto vehicular entre 45 y 55 toneladas, se otorgará un Permiso Especial únicamente a vehículos con 22 llantas como mínimo, de acuerdo a la siguiente modalidad:

El permiso será otorgado siempre y cuando la transmisión del peso a la carretera, puentes y obras de arte no someta a éstos a estados tensionales que comprometan su estabilidad. El interesado para obtener el permiso Especial, presentará en formulario tipo la solicitud al Servicio Nacional de Caminos (ABC-Vías Bolivia), en la Red Fundamental y a los Servicios prefecturales de caminos en las rutas bajo su jurisdicción, cada uno de los controles de pesos y dimensiones que tengan instaladas las prefecturas por los que tenga que pasar el vehículo en su recorrido.

**Tabla N°16: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

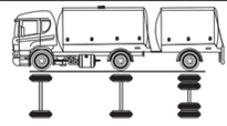
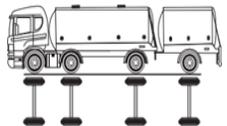
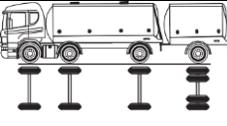
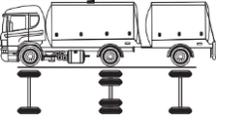
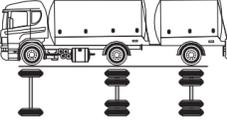
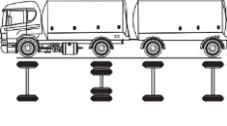
N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/ llantas	Lonj. max	Eje delan	Peso por eje en Ton.				Peso max. Ton.
					eje 2	eje 3	eje 4	eje 5	
<b>Camiones</b>									
1		1RS-1RS	11,50	7	7				14
2		1RS-1RS-1RS	12,20	7	7	7			21
3		1RS-1RD	11,50	7	11				18
4		1RS-1RD1RS	12,20	7	14				21

5		1RS-2RD	12,20	7	18				25
6		1RS- 1RS-2RD	12,20	7	7	18			32
7		1RS- 2RD1RS	12,20	7	21				28

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

**Tabla N°17: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

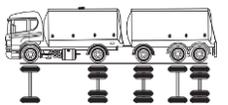
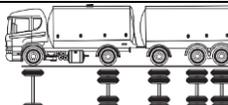
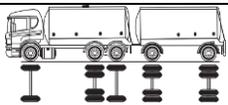
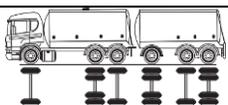
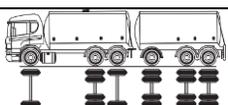
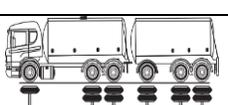
N°	Descripción gráfica de los vehículos	N° de ejes/llantas	Lonj. max.	Eje delan.	Peso por eje en Ton.				Peso max. Ton.
					Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
8		1RS-3RD	12,20	7	25	7			32
9		2RS-2RD	12,20	10	18				28
<b>Camiones con remolques</b>									
10		1RS-1RS 1RS	20,50	7	7	7			21

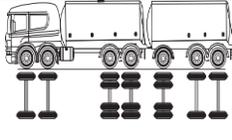
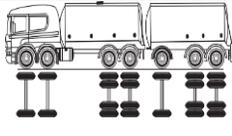
11		1RS-1RS 1RD	20,50	7	7	11			25
12		1RS- 1RS-1RS 1RS	20,50	7	7	7	7		28
13		1RS- 1RS-1RS 1RD	20,50	7	7	7	11		32
14		1RS-1RD 1RS	20,50	7	11	7			25
15		1RS-1RD 1RD	20,50	7	11	11			29
16		1RS-1RD 1RS-1RS	20,50	7	11	7	7		32
17		1RS-1RD 1RD- 1RD	20,50	7	11	11	11		40

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

**Tabla N°18: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

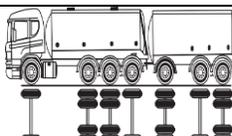
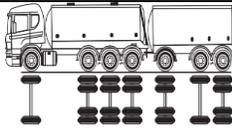
N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/llantas	Long. max	Eje delan.	Peso por eje en ton.				Peso max. ton.
					eje 2	eje 3	eje 4	eje 5	

18		1RS-1RD 1RD-1RS1RD	20,50	7	11	11	14		43
19		1RS-1RD 1RD-2RD	20,50	7	11	11	18		45
20		1RS-1RD1RS 1RD-1RD	20,50	7	14	11	11		43
21		1RS-1RD1RS 1RD-1RS1RD	20,50	7	14	11	14		45
22		1RS-1RD1RS 1RD-2RD	20,50	7	14	11	18		45
23		1RS-2RD 1RD-1RD	20,50	7	18	11	11		45
24		1RS-2RD 1RD-1RS1RD	20,50	7	18	11	14		45
25		1RS-2RD 1RD-2RD	20,50	7	18	11	18		45
26		2RS-2RD 1RD-1RS	20,50	10	18	11	7		45

27		2RS-2RD 1RD-2RS	20,50	10	18	11	10		45
28		2RS-2RD 1RS-2RD	20,50	10	18	7	10		45

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

**Tabla N°19: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

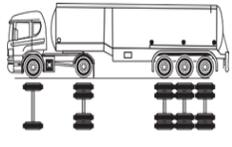
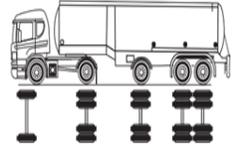
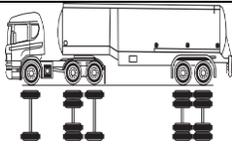
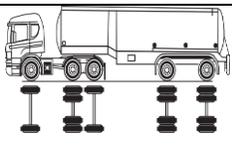
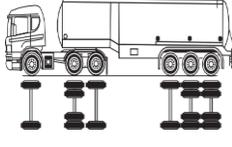
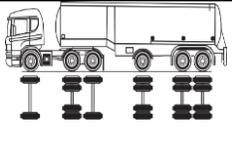
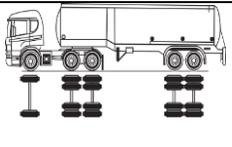
N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/ llantas	Long. max	Eje delantero	Peso por eje en ton.				Peso max. ton.
					eje 2	eje 3	eje 4	eje 5	
29		1RS-2RD1RS 1RD-1RD	20,50	7	21	11	11		43
30		1RS-2RD1RS 1RD-1RS1RD	20,50	7	21	11	14		45
31		1RS-2RD1RS 1RD-2RD	20,50	7	21	11	18		43
32		1RS-3RD 1RD-1RD	20,50	7	25	11	11		45
33		1RS-3RD 1RD-1RS1RD	20,50	7	25	11	14		45

34		1RS-3RD 1RD- 2RD	20,50	7	25	11	18		45
35		2RS-2RD 1RD- 1RD	20,50	10	18	11	11		45
36		2RS-2RD 1RD- 1RS1RD	20,50	10	18	11	14		45
37		2RS-2RD 1RD- 2RD	20,50	10	18	11	18		45
<b>Tractocamiones con semirremolque</b>									
38		1RS-1RD 2RD	20,50	7	17	18			36

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

**Tabla N°20: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

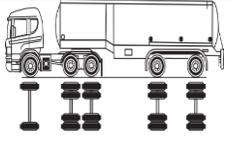
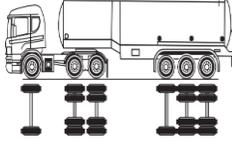
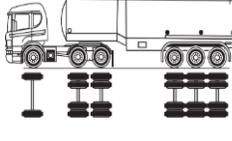
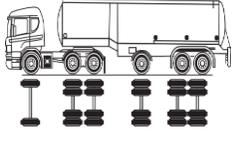
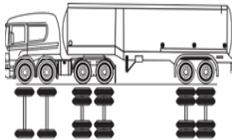
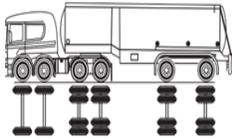
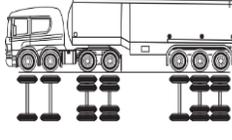
N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/llantas	Long. max	Eje delantero	Peso por eje en ton.				Peso max. ton.
					eje 2	eje 3	eje 4	eje 5	
39		1RS-1RD 1RD- 1RD	18	7	11	11	18		40

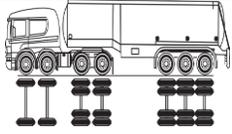
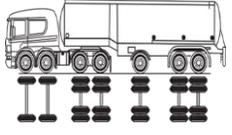
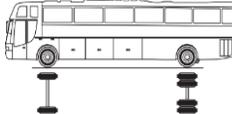
40		1RS-1RD 1RS2RD	18	7	11	21		39
41		1RS-1RD 3RD	18	7	11	25		43
42		1RS-1RD 1RD- 2RD	18	7	11	11	18	45
43		1RS- 1RD1RS 2RD	18	7	14	18		39
44		1RS- 1RD1RS 1RD- 1RD	18	7	14	11	11	43
45		1RS- 1RD1RS 1RS2RD	18	7	14	21		42
46		1RS- 1RD1RS 3RD	18	7	14	24		45
47		1RS- 1RD1RS 1RD- 2RD	18	7	14	11	18	45
48		1RS-2RD	18	7	18	18		43

		2RD							
--	--	-----	--	--	--	--	--	--	--

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

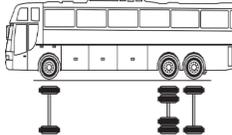
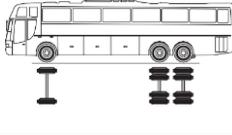
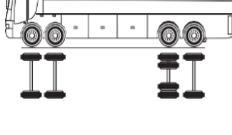
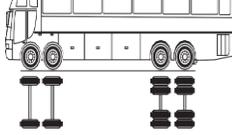
**Tabla N°21: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

N°	Descripción gráfica de los Vehículos	N° de ejes/llantas	Long. max	Eje delantero	Peso por eje en ton.				Peso max. ton.
					eje 2	eje 3	eje 4	eje 5	
49		1RS-2RD 1RD- 1RD	18	7	18	11	11		45
50		1RS-2RD 1RS2RD	18	7	18	21			45
51		1RS-2RD 3RD	18	7	18	25			45
52		1RS-2RD 1RD- 2RD	18	7	18	11	18		45
53		2RS-2RD 2RD	18	10	18	18			45
54		2RS-2RD 1RD- 1RD	18	10	18	11	11		45
55		2RS-2RD 1RS2RD	18	10	18	21			45

56		2RS-2RD 3RD	18	10	18	25			45
57		2RS-2RD 1RD- 2RD	18	10	18	11	18		45
<b>Ómnibus</b>									
58		1RS-1RD	13,20	7	18				18

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

**Tabla N° 22: Pesos y dimensiones máximas por tipo de vehículo**

N°	Descripción gráfica de los vehículos	N° de ejes/llantas	Long. max	Eje delan.	Peso por eje en ton.				Peso max. ton.
					eje 2	eje 3	eje 4	eje 5	
59		1RS- 1RD1RS	13,20	7	14				21
60		1RS-2RD	13,20	7	18				25
61		2RS- 1RD1RS	13,20	10	14				24
62		2RS-2RD	13,20	7	10	18			28

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

En caso de determinarse una infracción por sobrepeso, además de descargar y/o reacomodar con carácter irrestricto, obligatorio e inmediato el exceso de carga, en el mismo acto la autoridad encargada del control de pesos y dimensiones vehiculares expedirá la boleta de infracción de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla N° 23: Boleta de infracción de acuerdo al exceso de carga**

<b>Exceso de peso por eje, grupo de eje o peso bruto total más su correspondiente tolerancia (en toneladas)</b>	<b>Monto de la multa en bs. por eje o grupo de ejes o peso bruto total</b>
De 0,01 hasta 1,00	500
De 1,01 hasta 2,00	2250
De 2,01 hasta 3,00	4000
De 3,01 hasta 4,00	5750
De 4,01 hasta 5,00	7500

**Fuente:** Decreto Supremo N° 25629 ( Ley de Cargas)

En la tabla N°24 se registra la carga máxima admisible para los vehículos más comunes en nuestro país.

Los pesos máximos permitidos por cada eje o por cada grupo de ejes para la circulación de vehículos de transporte de carga y/o de pasajeros en la Red Vial Fundamental, son los siguientes:

**Tabla N°24: Máximo peso por eje para los vehículos de transporte de carga**

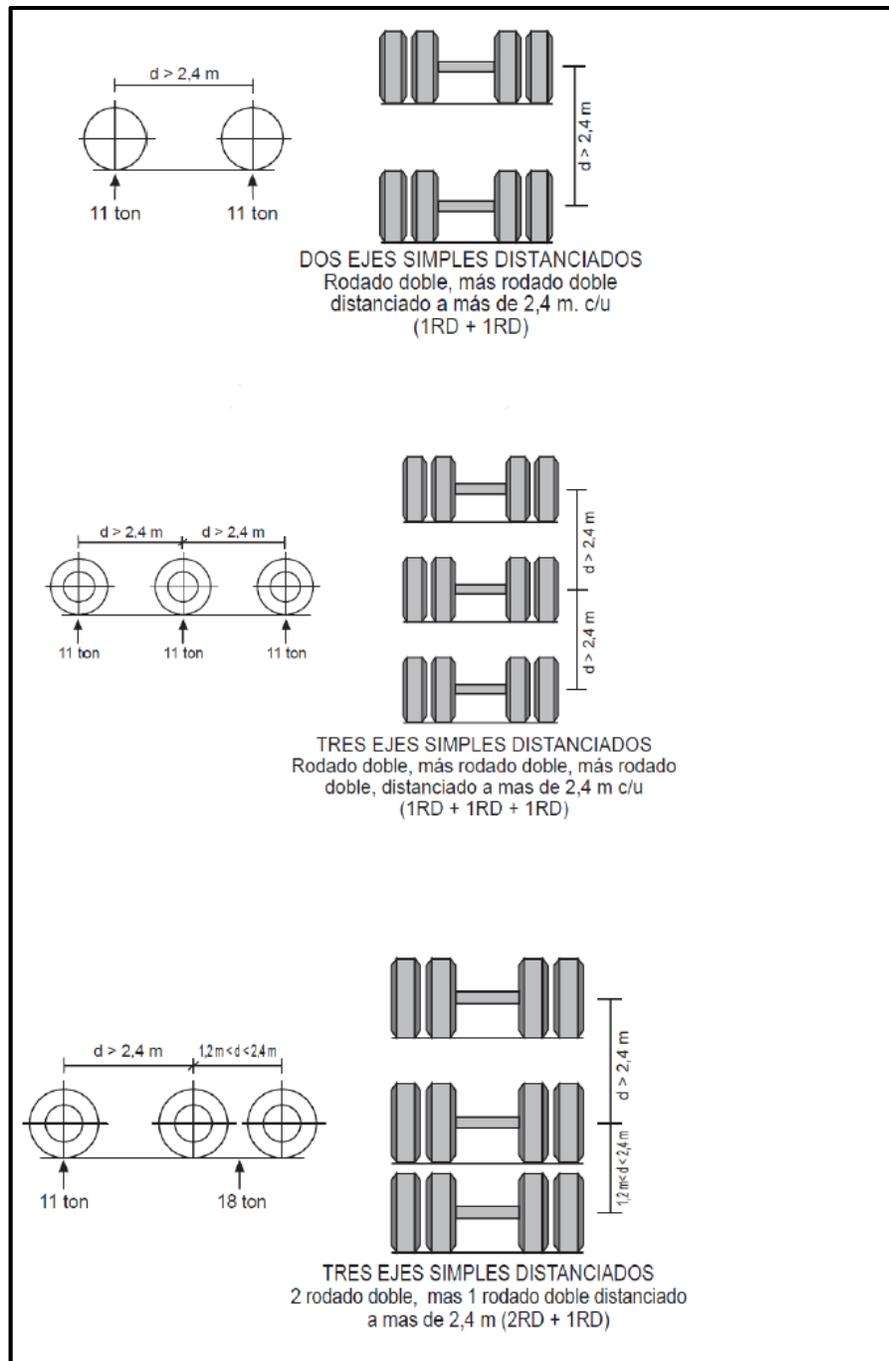
<b>Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares</b>	<b>Peso bruto máximo permitido por eje o grupo de ejes</b>

Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantas	7,00
Eje sencillo de 2 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	7,70
Eje tipo tandem de 4 llantas	10,00
Eje sencillo de 4 llantas	11,00
Eje tipo tandem de 4 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	12,00
Eje tipo tandem de 6 llantas	14,00
Eje tipo tandem de 6 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión neumática	16,00
Eje tipo tridem de 6 llantas	17,00
Eje tipo tandem de 8 llantas	18,00
Eje tipo tridem de 6 llantas con cubierta extra ancha y suspensión neumática	18,00
Eje tipo tridem de 10 llantas	21,00
Eje tipo tridem de 10 llantas con un eje con cubiertas extra anchas y suspensión neumática	22,00
Eje tipo tridem de 12 llantas	25,00

**Fuente:** Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

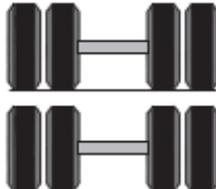
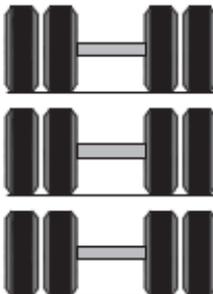
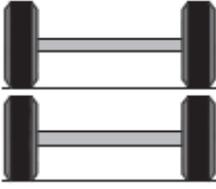
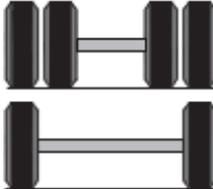
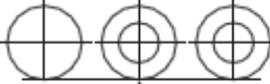
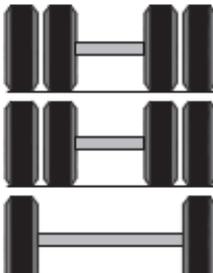
Se considerará como grupo de ejes a aquellos cuyas distancias entre ejes sean menores a 2,40 metros:

**Figura N°13: Distancia entre ejes vehiculares**



Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

Figura N° 14: Esquematzación de los diferentes ejes y su carga máxima

 <p>7 ton.</p>	 <p><b>EJES SIMPLES</b> Direccional o fijo con 2 llantas (1RS) 7 toneladas</p>	 <p>11 ton.</p>	 <p><b>EJES SIMPLES</b> 4 llantas (1RD) 11 toneladas</p>
 <p>18 Ton.</p>	 <p><b>EJES DOBLES</b> 8 llantas (2 RD) 18 toneladas</p>	 <p>25 Ton.</p>	 <p><b>EJES TRIPLES</b> 12 llantas (3RD) 25 toneladas</p>
<b>LIMITES DE PESOS PERMITIDOS POR EJES - OTRAS COMBINACIONES</b> (Expresado en toneladas)			
 <p>10 ton.</p>	 <p><b>EJES DOBLES</b> 4 Llantas (2 RS) 10 toneladas</p>	 <p>14 ton.</p>	 <p><b>EJES DOBLES</b> 6 Llantas (1RD+1RS) 14 toneladas</p>
 <p>17 ton.</p>	 <p><b>EJES TRIPLES</b> 6 Llantas (3 RS) 17 toneladas</p>	 <p>21 ton.</p>	 <p><b>EJES TRIPLES</b> 10 Llantas (2 RD+1RS) 21 toneladas</p>

Fuente: Decreto Supremo N° 25629 (Ley de Cargas)

### Factor Camión (FC)

El factor camión se puede entender como el número de aplicaciones de ejes sencillos

cargados con 8.2 toneladas que es necesario que circulen por un pavimento para hacer el mismo daño que un camión con una carga cualquiera. El factor camión equivale a la sumatoria de los factores de equivalencia calculados para cada eje

### **2.2.9.-Cuantificación del tránsito en una vía**

#### **Tránsito promedio diario (TPD)**

El TPD se hace contando, durante un lapso establecido, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones), luego se saca un promedio diario que se conoce con el nombre de TPD.

#### **Periodo de diseño y vida útil**

Por las características funcionales de los pavimentos de concreto, se recomienda que el periodo de diseño sea igual o superior a 20 años. La vida útil es el número de años en que el pavimento está en condiciones de permitir la circulación de los vehículos en unas condiciones buenas de operación.

#### **Módulo resiliente**

El módulo resiliente se define, como aquel que relaciona las tensiones aplicadas y las deformaciones recuperables (AASHTO, 1993). Se introdujo el termino módulo resiliente como la relación que existe entre la magnitud del esfuerzo desviador cíclico en compresión triaxial y la deformación axial recuperable (Rondon & Reyes 2007).

Matemáticamente la ecuación del módulo resiliente está dada por:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_d} \quad (25)$$

Dónde:

$M_R$  = Módulo resiliente

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_2$  = Esfuerzo desviador dinámico

$\epsilon_r$  = Deformación recuperada

$\sigma_1$  = Esfuerzo axial, esfuerzo principal mayor

$\sigma_2$  = Presión de confinamiento. Esfuerzo principal menor

Sobre las capas del pavimento se producen deformaciones permanentes y recuperables o resilientes. Después de un cierto número de ciclos de carga, el material tiende a poseer casi en su totalidad deformaciones resilientes.

En la teoría elástica tradicional el módulo de elasticidad (E) y la relación de poisson define las propiedades elásticas de un material. Para describir el comportamiento recuperable de un material sujeto a cargas cíclicas cargado en un aparato triaxial se utiliza. El módulo resiliente es no lineal y dependiente del esfuerzo

### **Factores que afectan el módulo resiliente**

Como se ha observado en los estudios llevados a cabo sobre módulo resiliente, este parámetro no es una propiedad constante del pavimento, sino que depende de muchos factores. Factores que afectan el módulo resiliente en pavimentos asfálticos.

Existen diversos factores que afectan al módulo resiliente del pavimento asfáltico. A continuación se muestra un resumen de estos factores:

Nivel de esfuerzos.

Frecuencia de carga.

Contenido de betún.

Tipo de agregado.

Contenido de vacíos.

Tipo y contenido de modificadores.

Tipo de prueba

Temperatura

### **2.2.10.-Módulo de reacción de la sub-rasante**

## Ensayo de placa

Módulo de reacción de sub-rasante  $K [ F/L^3 ]$  , se define como

$$K = \frac{\sigma}{\delta} \quad (26)$$

Donde

$\sigma$ =Esfuerzo normal

$\delta$ =Deformación en la dirección de  $\sigma$

Los ensayos de placa de carga permiten determinar las características resistencia - deformación de un terreno. Consisten en colocar una placa sobre el suelo natural, aplicar una serie de cargas y medir las deformaciones. El resultado del ensayo se representa en un diagrama tensión deformación.

A partir de este ensayo se pueden obtener numerosos datos entre los que se destacan:

- Obtención de la capacidad de carga del suelo para un asentamiento determinado.
- Determinación del módulo de reacción o coeficiente de balasto (K)
- Determinación de las características de la curva carga contra deformación del suelo.
- Realización de estudios sobre la estabilidad de pavimentos o bases de caminos ya existentes.

La información proporcionada es posible usarla en la evaluación y diseño de pavimentos de tipo rígido o flexible de carreteras y aeropuertos y aplicarse tanto a suelos en estado natural como compactados.

### 2.2.11.-Leyes de fatiga

En el modelo tradicional de fatiga las fisuras se originan en la fibra inferior de la mezcla bituminosa (zona donde la tensión de tracción es mayor) y se propaga verticalmente hacia la superficie del pavimento.

Daño por fatiga significa que un estado de tensión provocado por una sollicitación, muy

alejada del valor de rotura, llega a producir por acumulación (es decir, por repetición de la sollicitación un número muy elevado de veces) el agotamiento del material, agotamiento que se manifiesta por la fisuración del mismo.

Ensayos de laboratorio han verificado que la relación entre la deformación,  $\epsilon$ , (producida por la sollicitación) y la duración o vida de la fatiga del material representada por el número  $N$  de veces que soporta la sollicitación antes de romperse por fatiga.  $\epsilon$  y  $N$  están ligadas por la expresión:

$$N = K_1 \cdot \epsilon^{k_1} \quad (27)$$

Dónde:

$N$  = Representa el número de ciclos de carga hasta la fatiga del material al nivel de deformación

$\epsilon$  = Que es la deformación unitaria de tracción (en micro deformaciones  $\mu$  m/m)

$k_1$  y  $k_2$  = Constantes que describen el comportamiento a fatiga del material.

Numerosos estudios se han realizado para establecer que parámetros de la mezcla intervienen de manera significativa en la determinación de los valores de  $k_1$  y  $k_2$ . Se ha comprobado que están principalmente afectados por:

El módulo de la Mezcla.

El contenido de betún.

La viscosidad del betún (medida por el Índice de Penetración, IP).

La granulometría y la naturaleza de los áridos.

El contenido de aire (huecos en la mezcla).

La temperatura del pavimento.

La acumulación de daño de fatiga  $D$  en cada punto a lo largo de la carretera debido al paso de los vehículos se estima mediante la aplicación de la ley de Miner de acumulación lineal del daño.

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_j} \quad (38)$$

Donde

$N_{(i)}$  = Es el número de ciclos al nivel de deformación  $\epsilon_i$ .

$N_{f(i)}$  = Es el número de ciclos a rotura al nivel de deformación  $\epsilon_i$  y  $j$  es el número de niveles diferentes de deformación.

### 2.3.-Corredores bioceánicos

Definir la expresión "Corredores Bioceánicos", que es un puente terrestre que une mercados de continentes distantes, separados por sendos océanos y también es conocido como "Corredores Bioceánicos Intercontinentales". Como ejemplo podemos citar los corredores bioceánicos norteamericanos, los cuales permiten que la carga proveniente desde oriente vía Pacífico transite por el corredor terrestre continental y retome la vía marítima (Atlántico) para arribar a las costas de Europa. Este tráfico se da en ambos sentidos.

Por cierto la situación en Sudamérica es distinta. Por ahora, no está previsto el caso de que cargas arribadas desde un océano, usen el continente sudamericano como corredor para retornar a la vía marítima en el otro océano.

Esto se debe al siguiente factor:

Se considera muy difícil, que en el mediano plazo, se desarrolle un tráfico del continente africano hacia el Pacífico (o en sentido inverso) que justifique tales corredores.

La existencia de los corredores bioceánicos norteamericanos y el canal de Panamá pueden satisfacer al tráfico de Europa hacia el Pacífico, y en sentido inverso.

El caso que se prevé actualmente para Sudamérica, es el desplazamiento de las mercancías en un doble sentido por el Pacífico, provenientes de o destinada a países del Cono Sur Sudamericano, cerrando así el circuito.

Además se prevé la salida de productos del interior del subcontinente (Bolivia, Paraguay y Centro-Oeste brasileño).

Él explica que además de los precios de los servicios marítimos que favorecen al

Atlántico deben tomarse en consideración los cálculos de costos de transporte previo a llegar al puerto.

Nos dice que, por ejemplo, si se quiere exportar soja desde Mato Grosso aunque el costo de la tarifa para llegar a Santos sea relativamente cara (103 USD), en comparación con competidores (Argentina y Estados Unidos, están entre 20-40 USD), los costos siempre serán menores que llevarla por camión hasta un puerto del Pacífico en donde la cordillera de los Andes y las rutas internas de los países receptores de la carga suman gran parte del costo.

Y respecto al Ferrocarril Trasandino, retomando a Zuidwijk, cabe señalar que recorrer 900 Km entre Salta y Antofagasta es más caro que recorrer los 1.600 Km entre esa provincia y Buenos Aires, en tanto el tren en zona de montaña tracciona sólo 600 toneladas y en llanura 3.700 toneladas.

En conclusión, se puede afirmar que la idea de establecer corredores de integración es buena pero no tanto la de corredores bioceánicos.

La razón radica en que la primera busca que economías regionales de los diversos países de América del Sur se integren, objetivo importante para que provincias fronterizas puedan incrementar mercados de exportación, mientras que la segunda busca la creación de “autopistas” para exportar recursos primarios –que cabe señalar, serán ineficientes por costos.

Por otra parte, no se debe dejar de lado que existe infraestructura dentro del país en mal estado sin la adecuada atención (ferrocarriles de carga entre Provincia de Buenos Aires y las provincias del NOA y NEA) y que es crítica para que la Argentina mejore su capacidad exportadora. Entonces, más allá de proyectos bioceánicos no debe perderse el foco en la integración productiva nacional.

Y lo mismo puede aducirse de la hidrovía, que es un canal de exportación agropecuaria eficiente, que tiene amplias ventajas en materia de costos contra el tren y camión, y no obstante no recibe el cuidado necesario para alcanzar su pleno potencial.

### **2.3.1 Corredores bioceánicos en América del Sur**

Existen potencialmente dos tipos de corredores bioceánicos en América del Sur; los fluviales combinados con los terrestres y los únicamente terrestres.

Los primeros son realmente viables y económicamente plausibles.

Las vinculaciones hidroviales que permiten una interconexión bioceánica son cuatro:

- El sistema Orinoco-meta que vincula Puerto Buena-Ventura (Colombia) con puerto Ordaz (Venezuela) con 1866 km. de vía fluvial y 799 km. De carretera.
- Sistema Amazona-Marañón que une los puertos de Belem do Pará (Brasil) con el Chiclayo (Perú) con 4796 km. De vía fluvial y 700 km de carretera.
- La hidrovía Paraná- Paraguay que une los puertos de Sao Paulo (Brasil) con el puerto en Perú con 3440 km. De vía fluvial vinculado al corredor vial, vinculado al corredor vial de 570Km que une Puerto-Zuares (Bolivia)-Corumba (Brasil) con Santa Cruz de la Sierra, que acaban de ser terminados con la cooperación de la Unión Europea en Bolivia.

Desde Santa Cruz a Cochabamba con la construcción del pequeño tramo ferroviario a Aiquile, quedan unidas La Paz- Arica (Chile) o La Paz.

### **2.3.2 Corredor bioceánico en Bolivia**

Bolivia, por su excepcional posición estratégica, es el país de Sudamérica que mejor realizaría la integración económica continental.

Cuando existan comunicaciones fáciles a través del territorio boliviano, los países sudamericanos podrán abandonar su tradicional posición de espaldas entre sí y comercializarán sus productos por líneas interiores.

Están en territorio boliviano las conexiones más fáciles de la Cuenca del Plata con la Cuenca Amazónica, así como regiones de contacto del Atlántico con el Pacífico.

Las metas delineadas por el Grupo de Trabajo Multilateral, desde posiciones que buscan el beneficio común, ofrecen nuevas proyecciones y expectativas que permiten plantear una relación bilateral Bolivia- Chile realmente creativa.

En efecto, algunos trazados de corredores coinciden con los caminos de conexión principales chileno-bolivianos (Arica-Tambo Quemado e Iquique-Colchane). Por ello, es viable asimilar la operación fluida y equitativa, que es el objetivo prioritario para los corredores, al nivel bilateral chileno-boliviano.

A lo anterior, se añadiría la ventaja de negociar el asunto en un ámbito multilateral, que anularía las aristas negativas que asoman invariablemente en el debate entre los dos países, a causa de que su único punto de referencia los constituye un Tratado, como es el de 1904, surgido de un conflicto que sectores influyentes de Bolivia no olvidan.

- Unasur priorizará el corredor bioceánico que incluye a Bolivia La Unión de Naciones Suramericanas (Unasur) priorizará ocho proyectos de integración regional, entre los que está incluido el del Corredor Ferroviario Bioceánico Central (CFBC) que unirá el Pacífico con el Atlántico y que pasará por territorio Boliviano.

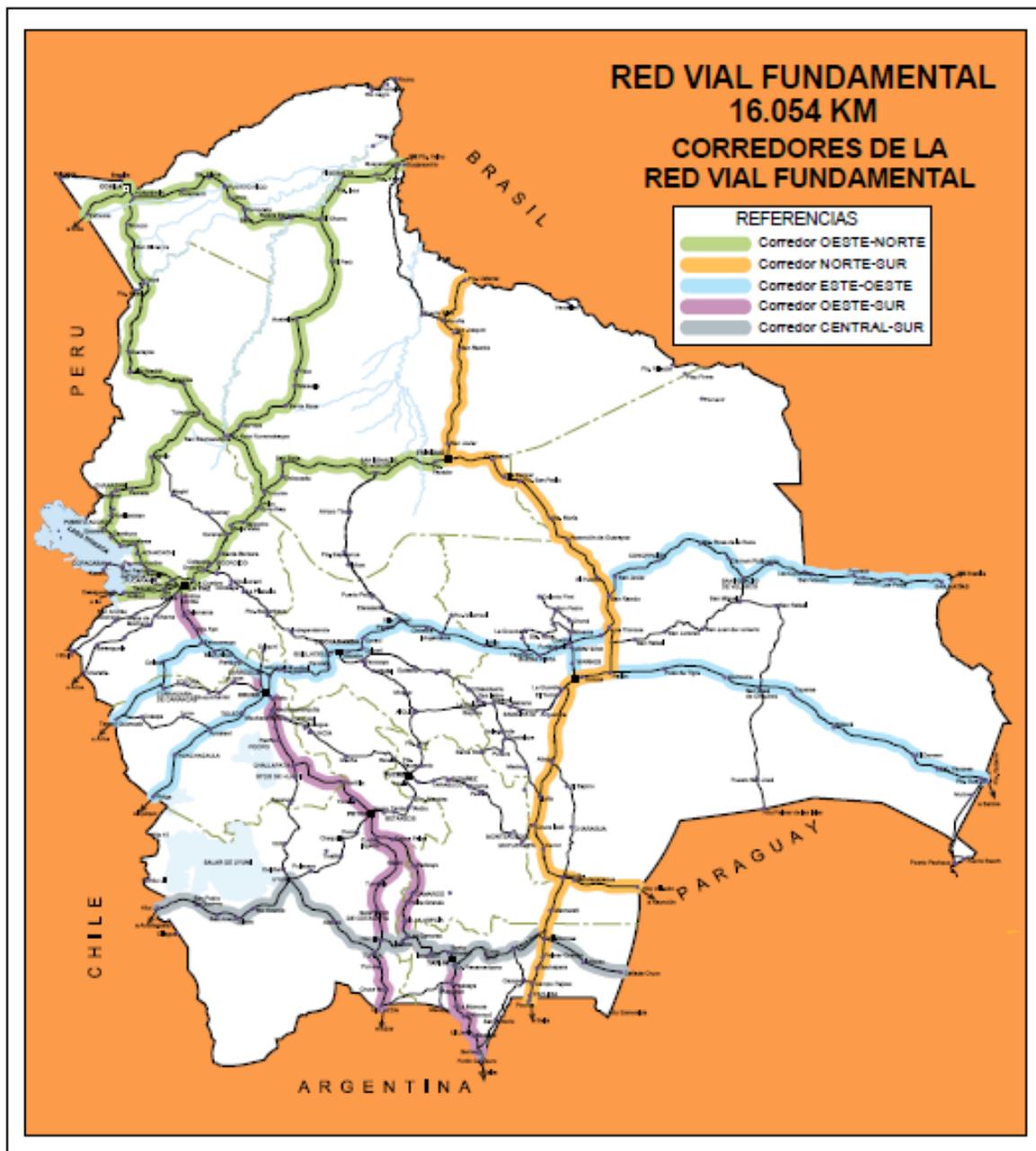
**Figura N°15: Corredor bioceánico en el cono sur**



Fuente: Elaboración propia

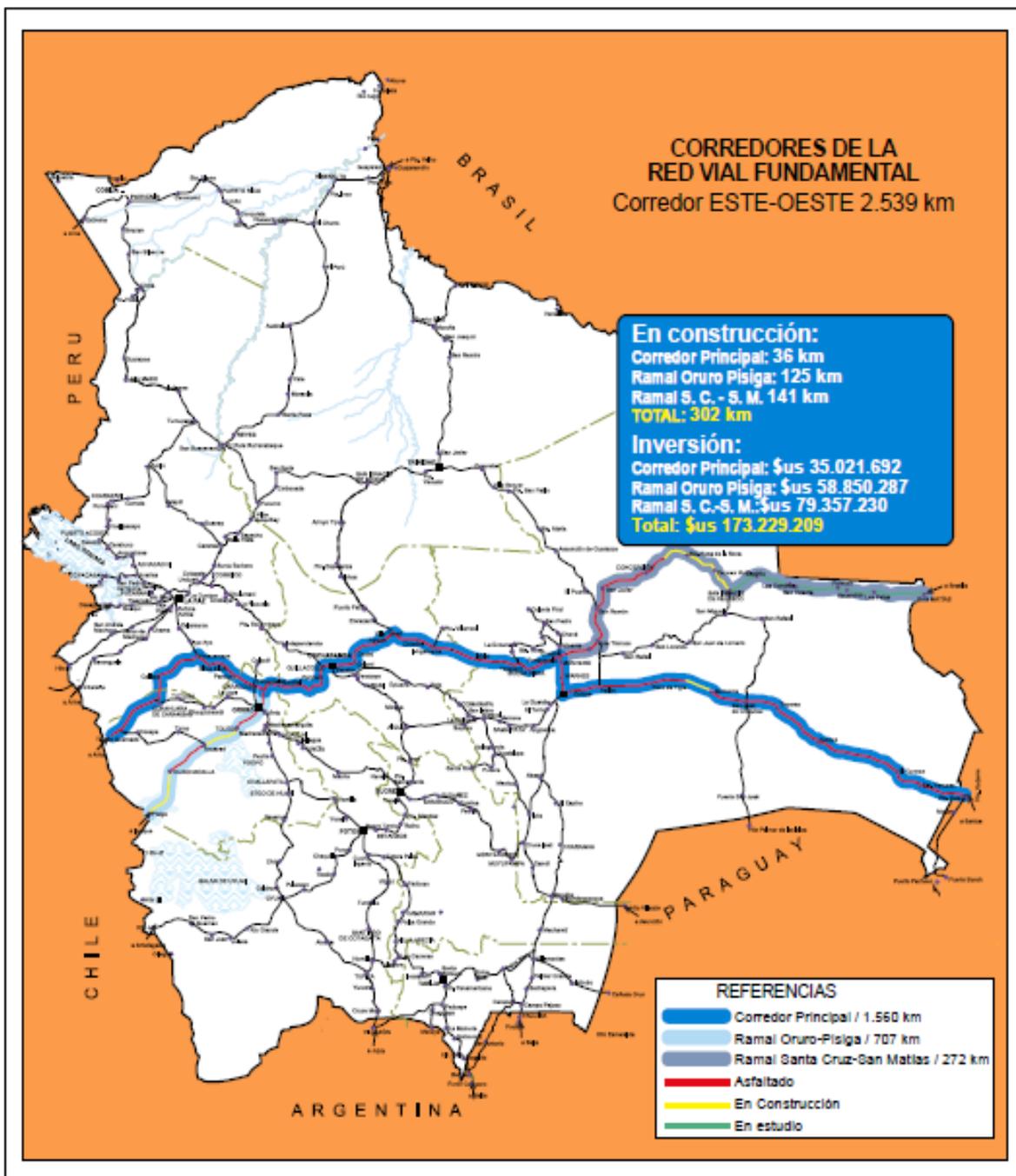
A continuación tenemos en las siguientes figuras los corredores bioceánicos en Bolivia desde diferentes puntos del país;

**Figura N°16: Corredores de integración**



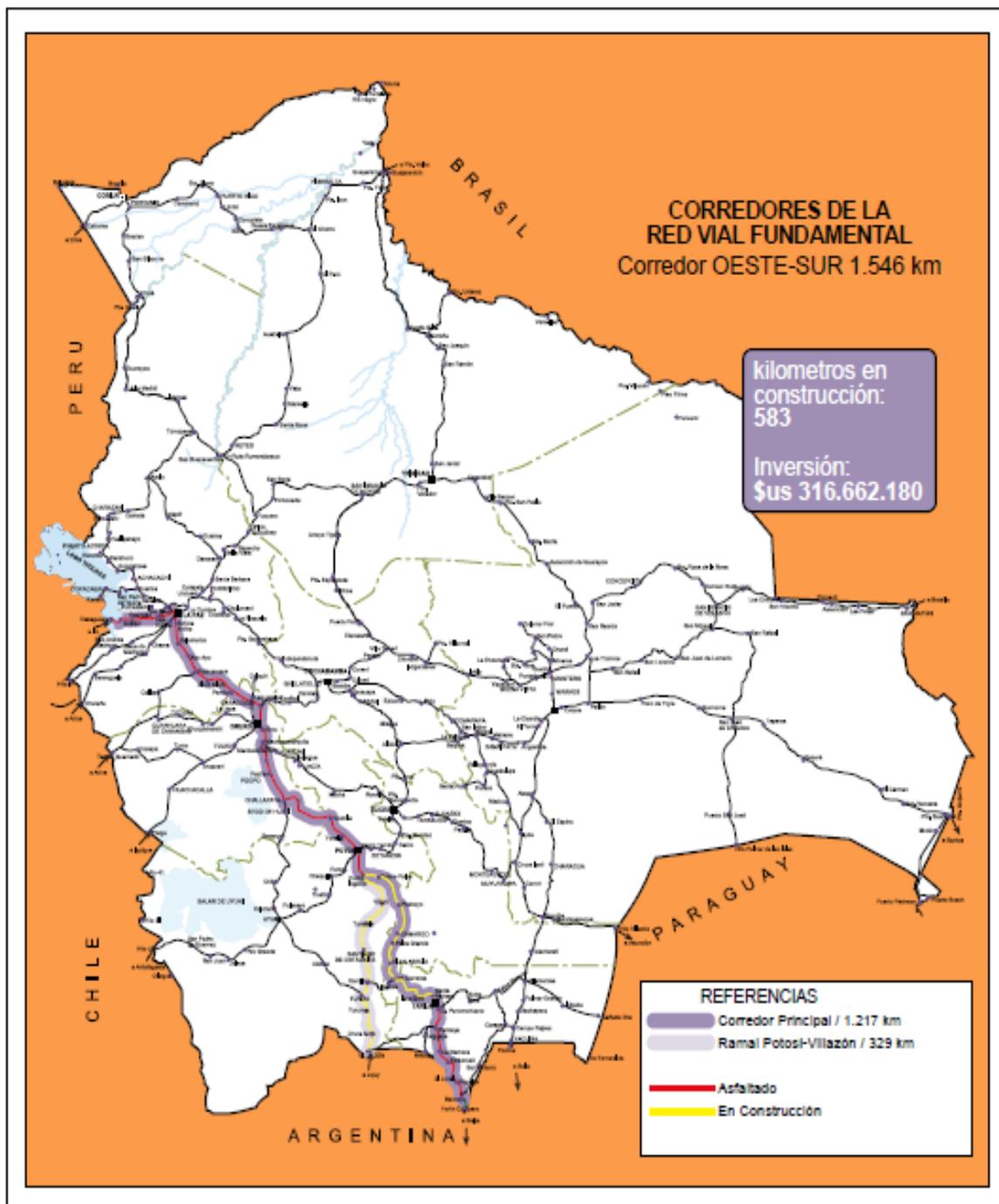
**Fuente:** ABC Administradora Boliviana de Carreteras

**Figura N°17: Corredores de integración (ESTE – OESTE)**



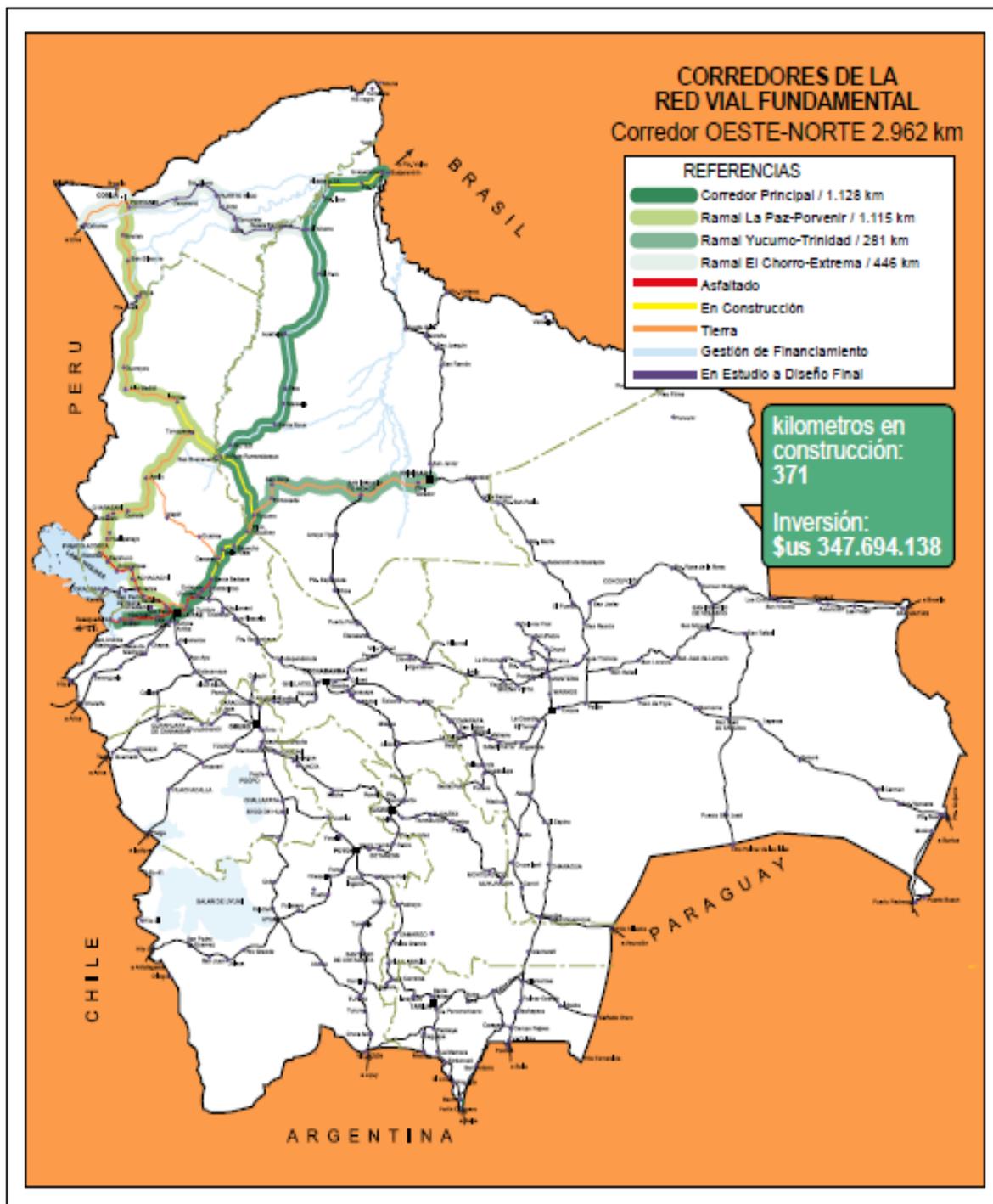
Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

Figura N° 18: Corredores de integración (OESTE – SUR)



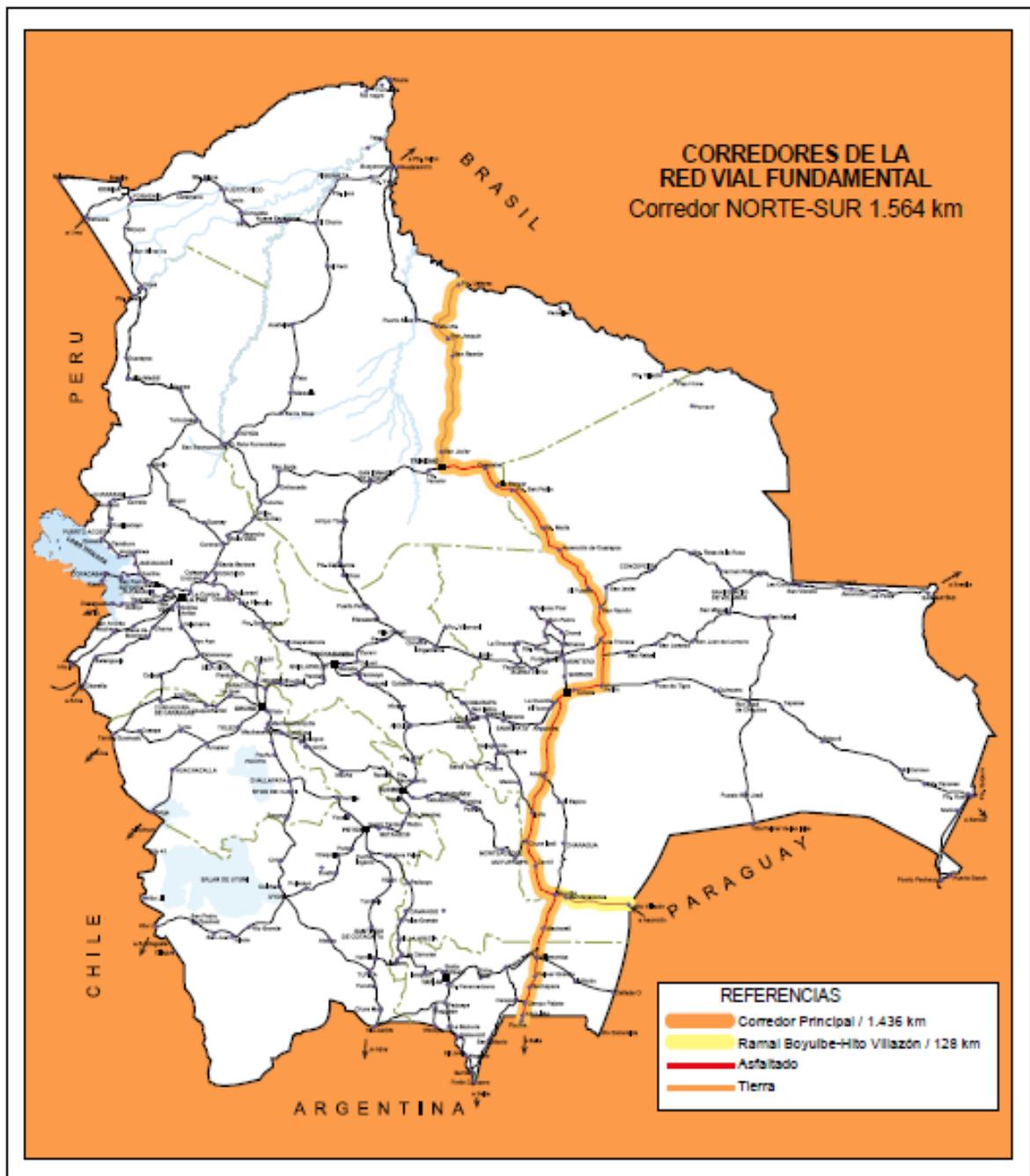
Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

Figura N°19: Corredores de integración (OESTE – NORTE)



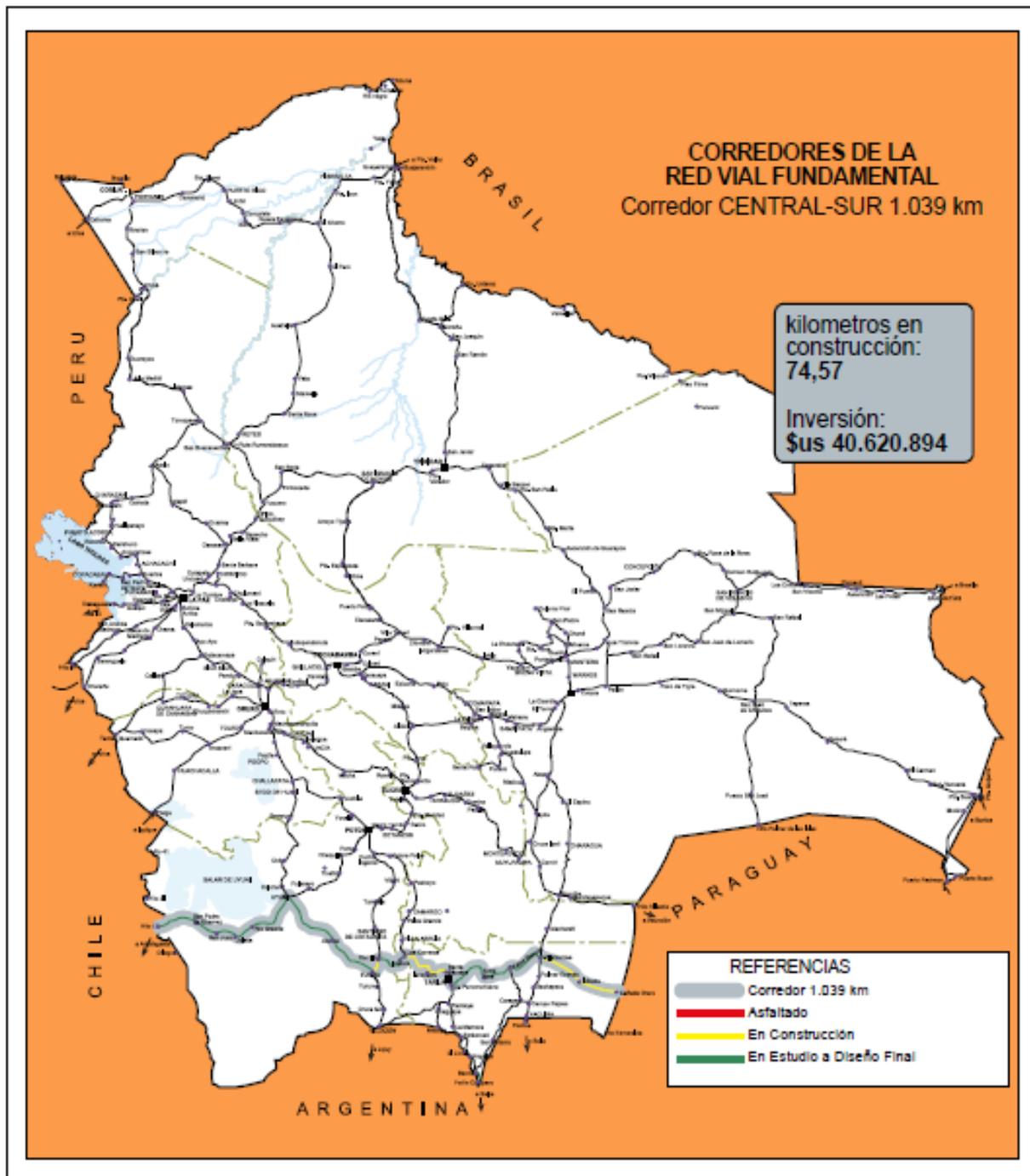
Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

Figura N° 20: Corredores de integración (NORTE – SUR)



Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

**Figura N° 21: Corredores de integración (CENTRAL – SUR)**



**Fuente:** ABC Administradora Boliviana De Carretera

### 2.3.3.-Repensando los corredores bioceánicos

**Figura N° 22: Ruta de un corredor bioceánico**



**Fuente:** Elaboración propia

En los últimos años los corredores bioceánicos se volvieron populares en el léxico sudamericano, en gran medida, por el auge asiático. No obstante, como señala Antonio Zuidwijk, experto en logística con experiencia en Murchison, la creación del concepto se debe a autoridades brasileñas, que a principios de los 90 realizaron los primeros estudios sobre esta materia. Por otro lado, el “marketing” de los corredores se debió a estrategias de terminales portuarias chilenas que habían sido privatizadas y necesitaban atraer clientes.

Según los defensores de dichos corredores, es lógico para países como Argentina y Brasil exportar sus productos agropecuarios vía el Pacífico ya que la ruta para llegar a Asia sería más corta y también más barata que por el Atlántico.

Sin embargo, varias autoridades en materia de logística, infraestructura y comercio han dado por tierra con estas ideas:

Por un lado, la distancia que separa a los puertos del Atlántico y Pacífico de los de Asia no es tan grande como parece. Ian Hoffmann, experto de la CEPAL, señala que la distancia entre Valparaíso-Singapur (9.945 millas) es mayor a la de Buenos Aires – Singapur (9.301 millas) y la que hay hasta Hong Kong favorece a Chile en sólo 55

millas. Entonces, conforme se viaje a destinos más al norte de Hong Kong la distancia crece e inclina la balanza a favor del Pacífico.

Pero debemos tener en cuenta que gran parte de Asia (India y parte del Sudeste Asiático) es accesible a costos aceptables navegando por el Atlántico.

Es que la cantidad de servicios marítimos que se ofrecen vía el Atlántico es superior a los que existen en el Pacífico, y esto da más oferta de servicios y mejores costos. Adicionalmente nos recuerda las diferencias de costos entre el transporte terrestre y el marítimo-fluvial, lo cual nos lleva a la siguiente pregunta: ¿si la producción agropecuaria argentina se localiza cerca del Río Paraná y Río de la Plata, qué hace pensar que es más lógico movilizar la carga por medios que no sean los marítimo-fluviales. En todo caso se debe tender a mejorar la hidrovía, a la que se puede llegar sin atravesar cadenas montañosas y está cerca de los centros de producción.

Por último, debe agregarse lo que señala Gustavo Fernández Saavedra, ex diplomático boliviano. Él explica que además de los precios de los servicios marítimos que favorecen al Atlántico deben tomarse en consideración los cálculos de costos de transporte previo a llegar al puerto. Nos dice que, por ejemplo, si se quiere exportar soja desde Mato Grosso aunque el costo de la tarifa para llegar a Santos sea relativamente cara (103 USD), en comparación con competidores (Argentina y Estados Unidos, están entre 20-40 USD), los costos siempre serán menores que llevarla por camión hasta un puerto del Pacífico –en donde la cordillera de los Andes y las rutas internas de los países receptores de la carga suman gran parte del costo–. Y respecto al Ferrocarril Trasandino, retomando a Zuidwijk, cabe señalar que recorrer 900 Km entre Salta y Antofagasta es más caro que recorrer los 1.600 Km entre esa provincia y Buenos Aires, en tanto el tren en zona de montaña tracciona sólo 600 toneladas y en llanura 3.700 toneladas.

En conclusión, se puede afirmar que la idea de establecer corredores de integración es buena pero no tanto la de corredores bioceánicos. La razón radica en que la primera busca que economías regionales de los diversos países de América del Sur se integren, objetivo importante para que provincias fronterizas puedan incrementar mercados de exportación, mientras que la segunda busca la creación de “autopistas” para exportar



Los bitrenes, denominados técnicamente B-dobles, fueron autorizados a circular por el distrito luego de la sanción de una ley provincial. Salvo la tramitación de una habilitación especial, el flamante vehículo de gran porte sólo podrá transitar por rutas de San Luis.

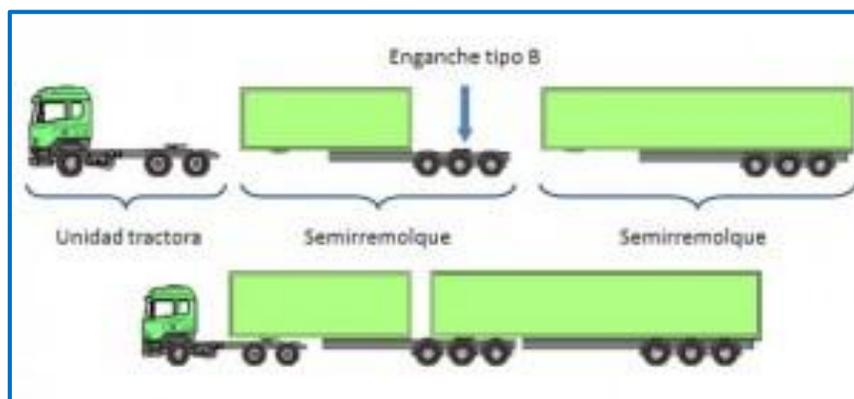
El beneficio en la circulación de bitrenes, es que "permitirán transportar mayor cantidad de carga por unidad de manera más segura, ya que los equipos están dotados de tecnología de última generación en sus sistemas hidráulicos, de frenado y de giro. En tanto, sobre las dificultades marcó que "la infraestructura vial tiene que estar acorde a estos vehículos

La multiplicidad de ejes de los bitrenes permite que el peso de la carga esté distribuido de manera tal que el impacto sobre el asfalto sea menor que el de un camión convencional.

Además, las medidas de seguridad implementadas por los fabricantes hacen que produzcan menos cantidad de accidentes viales.

#### 2.4.1.-Origen del bitren

**Figura N° 24: Remolques del bitren**



**Fuente:** Elaboración Propia

Bob Pearson estudió durante todos estos años y verificó que la "quinta rueda" en el enganche entre la unidad que tracciona y la arrastrada, también conocida como acople B- es la que le produce estabilidad al vehículo, a diferencia del acople A o lanza.

Ahora, esto ya está probado e impulsó el surgimiento de los b-triples, que son tres semirremolques enganchados con ese mismo acople.

No debemos alarmarnos por el tamaño de los bitrenes, porque muchos tienen el largo de un camión de los que transportan vehículo, que hoy los vemos y nos pasan por al lado en las rutas, pero que además son rígidos, a diferencia de los bitrenes.

Lo bueno es que la reglamentación de los bitrenes les permite a las empresas ser competitivas, pero, a su vez, aborda elementos de seguridad en lo que refiere a los vehículos y a los choferes

El b-doble es más grande que un camión común, pero tiene mejor distribuidos los pesos por eje. Sí. Por eso, el área de vialidad estaba también a favor de la regulación. En lugar de cargar 10,5 toneladas por eje, estos vehículos transportan 8,8.

Todos los ejes son dobles, salvo el inicial del tractor. Se utilizan distintas configuraciones, de acuerdo con las necesidades del cliente.

El camión ha tenido una evolución tecnológica, pero, de alguna manera, su diseño básico ha sido siempre igual.

Efectivamente. Ahora, se están diseñando otros tipos de contenedores, pero cuando algo funciona bien, lo hace por mucho tiempo.

Según múltiples estudios, en Argentina y en casi todo el mundo, la carga por camión va a seguir aumentando hasta el año 2050. Se generarán sinergias entre el ferrocarril, el barco y el camión, ya que alguien tiene que cargar las mercancías en la última milla.

La cuestión es hacer que la carga llegue a destino de la manera más eficiente, con la infraestructura disponible, porque hay una realidad: no hay más espacio para crear nuevas rutas o no hay dinero para construirlas.

Hubo muchos detractores que decían que el bitren no era seguro y que era difícil de manejar.

### 2.4.2.-Tipos de vehículos bitren

**Figura N°25: Vehículos tipo bitren**



**Fuente:** Elaboración propia

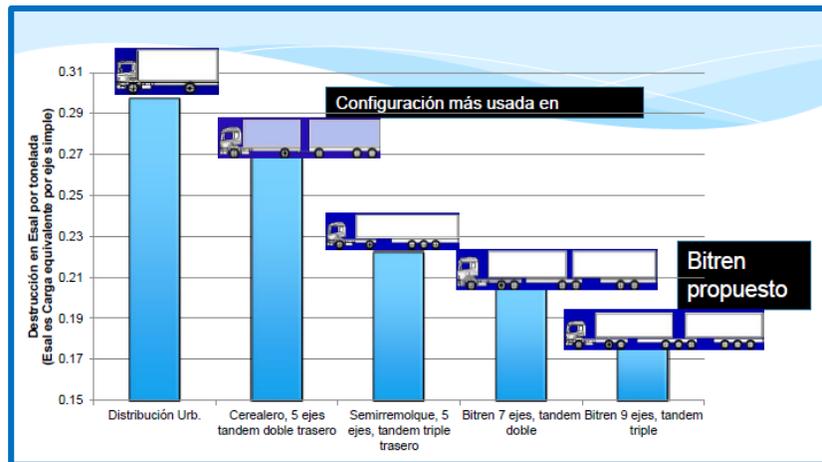
Las características físicas de los vehículos constituyen los parámetros que condicionan diversos aspectos de dimensionamiento geométrico y estructural de una vía, por ejemplo:

- El ancho del vehículo influye en el ancho de la pista de rodadura.
- La distancia entre ejes influye en el cálculo del largo de las carreteras y en la determinación del ancho y radio mínimo interno.
- La relación del peso bruto total/potencia afecta a la pendiente máxima permisible.
- El peso máximo admisible del vehículo en relación con la configuración de los ejes y la posición del centro de gravedad influye en la configuración del diseño y del suelo, separadores rígidos y defensas.

Los llamados bitrenes, utilizados desde hace tiempo en gran parte del mundo, Permiten disminuir los costos del transporte de las economías regionales y de rubros productivos de alta movilización de cargas pesadas. Asimismo, el uso eficiente de combustible mejora la calidad del aire por la reducción de gases nocivos y partículas.

El menor deterioro en las rutas respecto del que produce el camión convencional se aplica por la cantidad de ejes que lleva el bitren (siete en total), que baja el peso por eje desde 10,5 toneladas a 8,5 toneladas de peso.

**Figura N°26: Menor deterioro de rutas**



**Fuente:** Bitrenes en Argentina –Decreto 574/14

**Figura N°27: Comparativo entre vehiculos actuales y el bitren**

	Camión Actual	Bitren 9 ejes
Peso Bruto Máximo (Toneladas)	45	75
Longitud Total (metros)	20.50- 22.4	25-30
Peso por eje (Toneladas)	10.5	8.5
Peso Neto Máximo (Toneladas)	27 a 29	54

**Fuente:** Bitrenes en Argentina –Decreto 574/14

Con la incorporación de vehículo de carga combinado de alto rendimiento a su juicio, se produce el deterioro un 60% inferior por tonelada transportada de la ruta.

### **Tipos de bitren:**

- BT7: Representa vehículos de carga articulados compuesto por un caballo mecánico de 3 ejes, tirando por medio de dos articulaciones, 2 semirremolques y 2 ejes. El modelo representativo es el vehículo conocido como bitren de 7 ejes; con una longitud total de 19,8 metros.

**Figura N°28: Bitren BT7**



**Fuente:** Elaboración Propia

- BT9: Representa vehículos de carga articulados compuestos por un caballo mecánico de 3 ejes, de tracción, por medio de 2 articulaciones, y 3 ejes. El modelo representativo es el vehículo conocido como bitren de 9 ejes, con una longitud total de 25 metros.

**Figura N°29: Bitren BT9**



**Fuente:** Elaboración propia

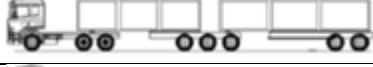
- Bitren BTL: Representa vehículos de carga articulados compuestos por un caballo mecánico de 3 ejes, de tracción, por medio de dos articulaciones, 2 semirremolques y 3 ejes. El modelo representativo es el vehículo conocido como bitren de 9 ejes con una longitud total de 30 metros. También cubre vehículo autotrán, que consiste en un caballo mecánico con 3 ejes de tracción, por medio de tres articulaciones, dos 2- ejes semirremolque con dolly intermedia de 2 ejes, con una longitud total de 30 metros.

**Figura N°30: Bitren BTL**

Fuente: Elaboración propia

### 2.4.3 Configuraciones posibles de bitrenes

**Tabla N°25: Configuración del bitren**

Configuración	Esquema	Carga por ejes (ton)	PPBTC (ton)
1S2D2D2D		6+18+18+18	60
1S2D2D3D		6+18+18+25,5	67,5
1S2D3D2D		6+18+25,5+18	67,5
1S2D3D3D		6+18+25,5+25,5	75

Fuente: Elaboración propia

Los bitrenes pueden transportar entre un 45 y 82 por ciento más de carga que las formaciones convencionales actuales: el peso neto de carga aumenta de 28 a 50.7 toneladas, pero con 19% menor de peso por eje, lo que reduce el daño a la infraestructura vial en un 57%.

Las principales industrias que se verán beneficiadas por este sistema de transporte son las grandes dadoras de carga, aquellas que por su producción y volumen de movimiento requieren un transporte de estas características, tales como celulosa, forestal, cementero y algunas cerealeras, entre otras.

En principio, las empresas podrán optar por tres configuraciones diferentes según el tipo de carga y peso que se decida transportar.

A su vez, el camión debe ser un 6×2 con un semirremolque de dos ejes en el acople V y otro de dos ejes atrás, con siete ejes en total.

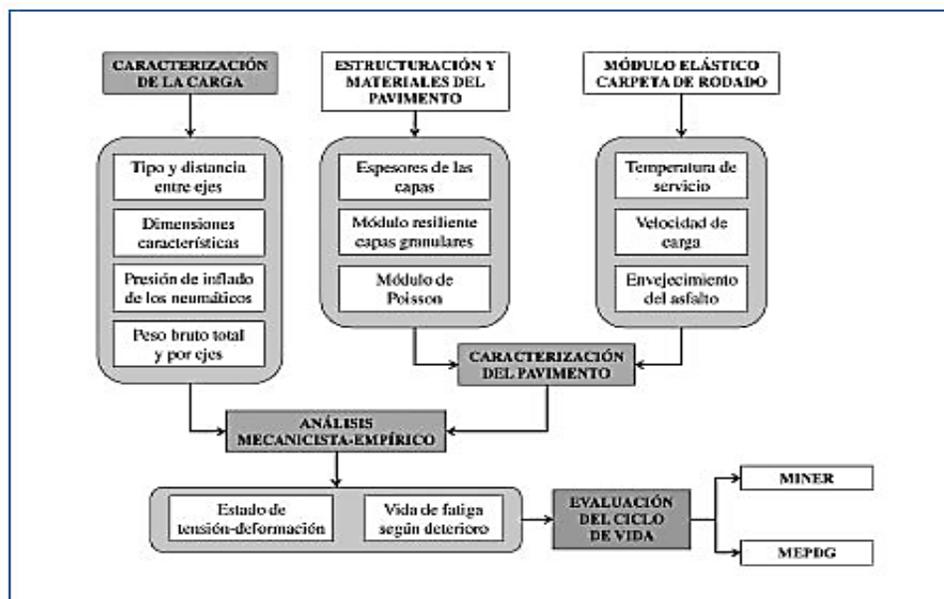
Con esto se podrían llevar 60 toneladas de PBT (peso bruto total), es decir 45% más de carga neta que con un solo camión con acoplado simple, ocupando el mismo espacio y reduciendo considerablemente los costos. Otra de las configuraciones disponible va de la mano de un tractor 6×4 con tres ejes en el acople V y dos ejes en el último, con 8 ejes en total, para llevar un máximo de hasta 67 toneladas.

La ley permite bitrenes de hasta 30 metros. la mayoría serán de tipos cerealeros, con doble tolva, y de unos 20 metros de longitud. Medidas similares a las de un camión con acoplado o un semirremolque.

Aunque aquellos que sobrepasen las 75 toneladas podrán alcanzar los 23 metros”.

#### 2.4.4.-Caracterización de cargas del bitren

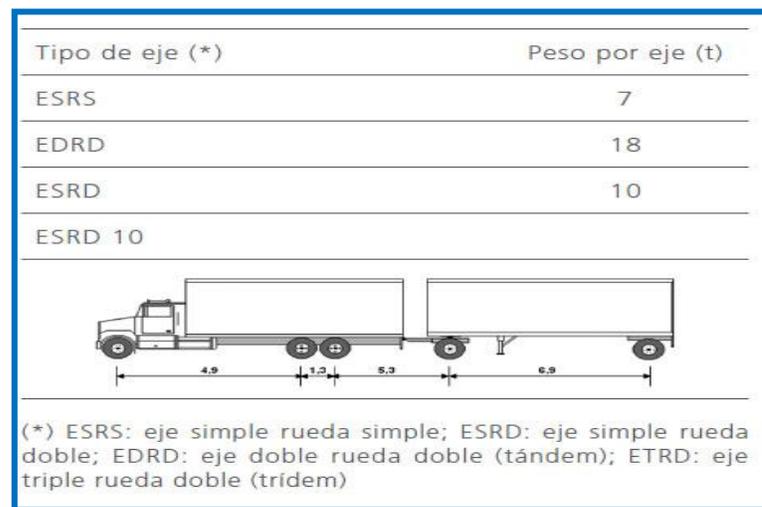
**Figura N°31: Método de evaluación del ciclo de vida**



**Fuente:** Elaboración propia

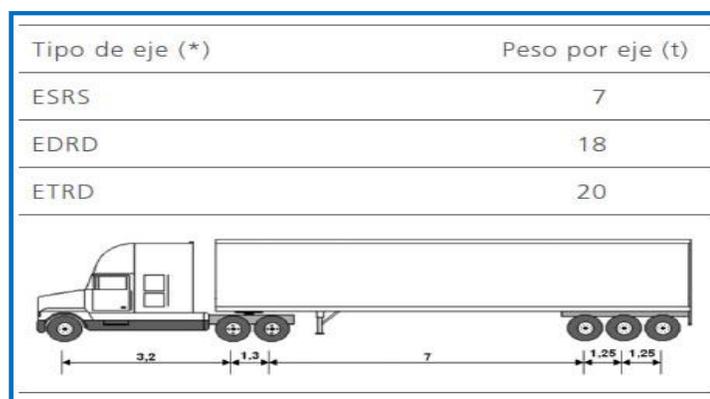
Para caracterizar las solicitudes de tráfico se analizó el mercado nacional de vehículos de carga, según la oferta de marcas en Chile, y de fabricantes de CAT en Brasil. Como resultado se definieron las características geométricas y operacionales de las CAT y camiones tradicionales a modelar: bitren corto, bitren largo, camión remolque y tracto-semirremolque. En la Figura\_ se resumen los resultados obtenidos.

**Figura N°32: Camión -remolque de 45 tn , dimensiones en (m)**



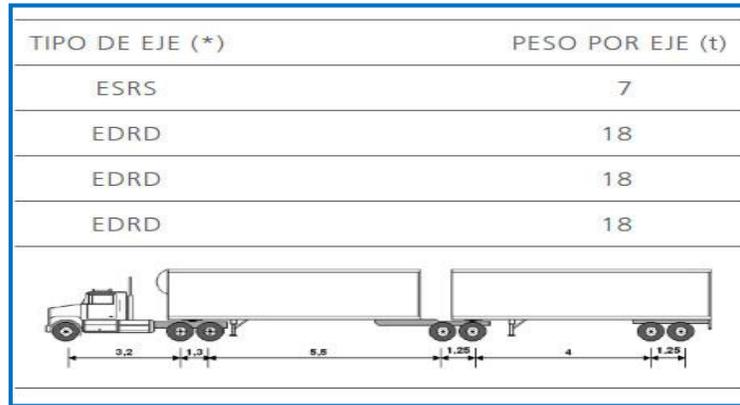
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura N°33: Tipo tracto semirremolque de 45 tn, dimensiones en (m)**



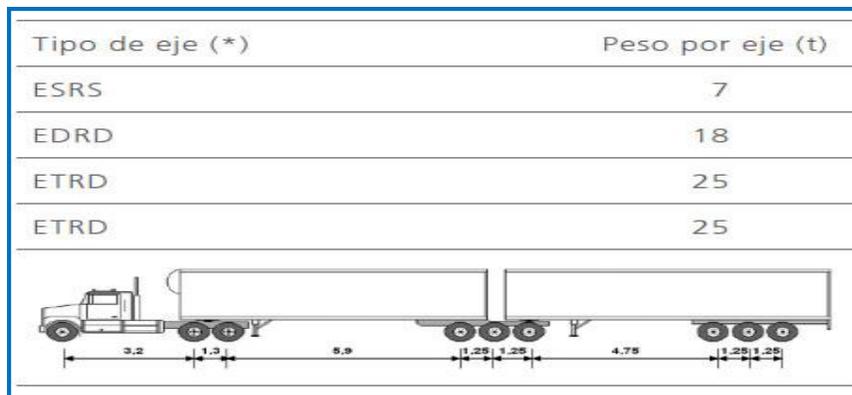
**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura N°34: Tipo bitren corto de 61 tn dimensiones en (m)**



Fuente: Elaboración propia

**Figura N°35: Tipo bitren largo de 75 tn dimensiones en (m)**



Fuente: Elaboración propia

#### 2.4.5.- Condiciones de circulación para los bitrenes

Circulación restringida en corredores viales autorizados, previa solicitud por parte del transportista.

Distancia mínima entre Bitrenes de 100 m y prohibición de circular en convoy velocidad máxima de 80 km/h.

El transportista y el dador de la carga son solidariamente responsables de verificar el peso de la carga y emitir el certificado de carga en un punto logístico de despacho (donde se consigne la carga por tándem de ejes medida en báscula certificada).

El transportista es responsable del incumplimiento de los límites de velocidad, desvíos del trayecto autorizado (ambos comprobables mediante el GPS) y pesos máximos establecidos y, por lo tanto, del resarcimiento por los daños causados a la infraestructura vial.

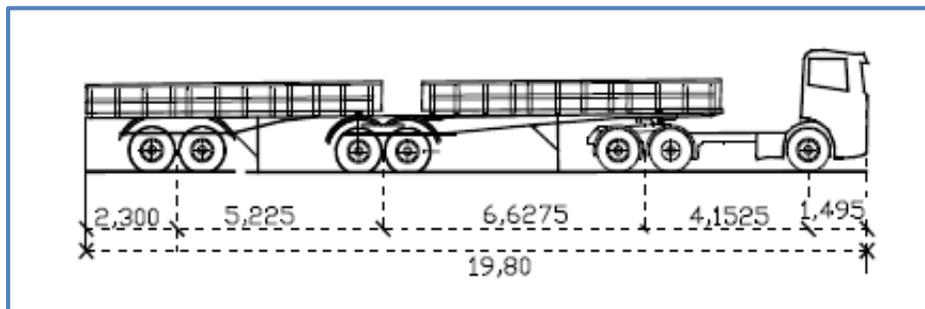
Los semirremolques podrán transitar en forma individual fuera de los corredores autorizados.

Deberán circular preferentemente en rutas de doble vía (autopistas o semi-autopistas). En vías de pista simple con doble sentido de circulación se analizará: volumen de Tránsito Medio Diario Anual (TMDA); trazado y condiciones de seguridad para el adelantamiento; topografía del camino; radios de curvas; infraestructura de puentes; etc.

No podrán circular con inclemencias climáticas (lluvia intensa, niebla o pavimento congelado).

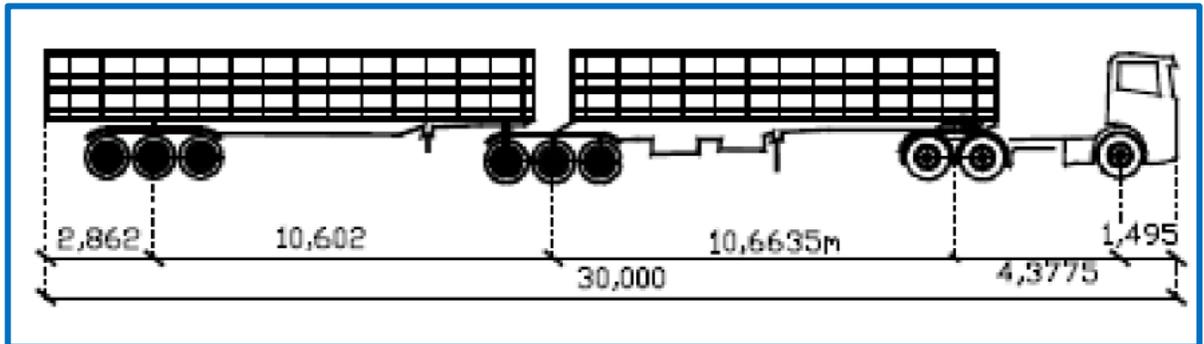
#### 2.4.6.- Longitudes de vehículos bitrenes

**Figura N° 36: Bitren de 7 ejes (19,80m)**



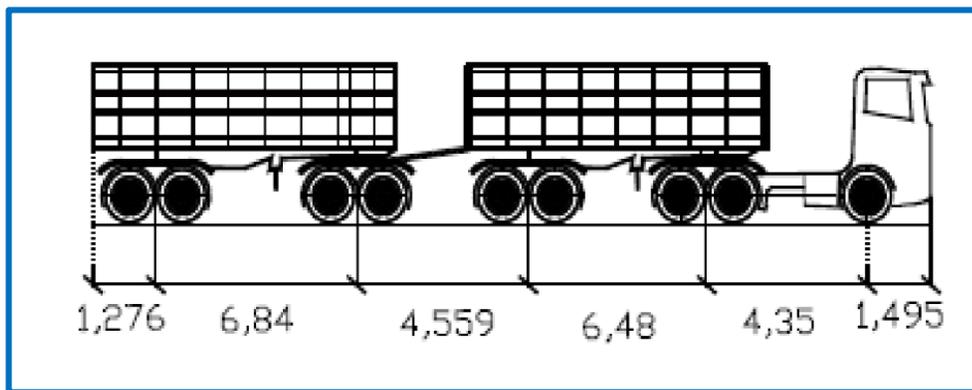
**Fuente:** Impactos bitren de estudio en las carreteras federales de Brasil

**Figura N° 37: Bitren de 9 ejes (30m)**



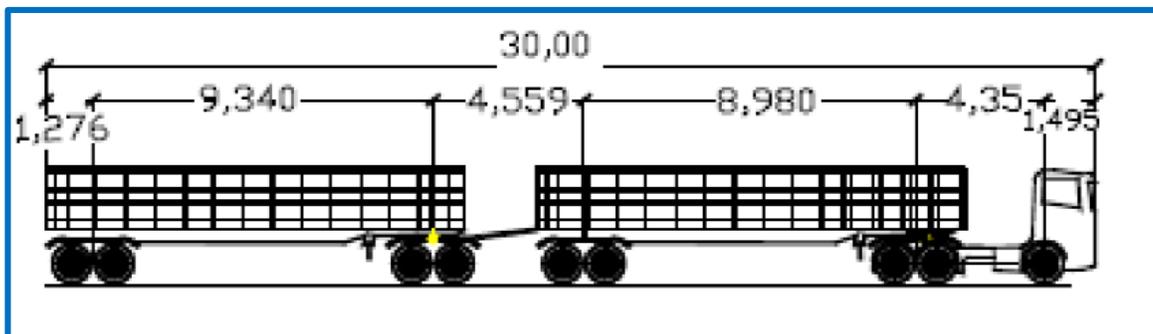
**Fuente:** Impactos bitren de estudio en las carreteras federales de Brasil

**Figura N°38: Rodotren de 9 ejes (25m)**



**Fuente:** Impactos bitren de estudio en las carreteras federales de Brasil

**Figura N°39: Autotrén de 9 ejes (30m)**



**Fuente:** Impactos bitren de estudio en las carreteras federales de Brasil

#### **2.4.7.-Tecnologías utilizadas, costos y beneficios para bitrenes**

Actualmente las tecnologías existentes para transporte pesado de carga por carretera nos permiten llevar más cantidad de carga, con mayor seguridad y un consumo más eficiente de combustible. El costo de utilizar los elementos que describimos a continuación es ínfimo cuando se lo compara con el costo total de la unidad, y más aún cuando se lo compara con los beneficios que utilizar estas tecnologías nos provee como empresa y como país. Porque no es sólo el transportar más carga: es transportarla de manera segura, y con menor deterioro de la calzada y del medioambiente.

Por ejemplo, los equipos fabricados en Argentina cuentan con una Unidad de Control Electrónico (ECU) que contiene:

ABS (control de frenado antibloqueo)

EBS (control de estabilidad mediante el frenado)

Sistema de balanza a bordo del grupo de ejes ILAS (control de elevación de ejes automático en función de la carga) Conectividad: comunicación PC/panel de diálogo

Sensores de proximidad para estacionamiento en dársenas de carga

Dispositivo activo para bloquear la unidad en caso de sobre carga superior al 10% de lo permitido para circular

Sensores de desgaste de pastillas de freno.

Diagnóstico de fallas e información general almacenada y de fácil acceso, velocidades máximas, cargas máximas registradas, cantidad del veces que el ABS o el EBS son utilizados y fallas de funcionamiento del sistema

Una manera adicional de transportar más carga, especialmente aquellas cargas pesadas, es bajándole la tara al vehículo, claro está. Actualmente, además del aluminio, se trabaja con aceros microaleados de alta resistencia, cuyo costo también ha disminuido con el tiempo debido a que su uso se ha hecho más extendido, y que ya hay varias empresas que fabrican estos materiales en distintos países, es decir, la competencia del mercado.

Como veremos más adelante, no todas las legislaciones requieren que sus VCCs tengan estos elementos. Los coordinadores de este curso, sin embargo, consideramos que su uso debería ser obligatorio, pues la seguridad de la comunidad por donde los vehículos de carga transitan no se negocia.

Sistemas FrenadoEBS (control de estabilidad mediante el frenado). Sistema que se aplica a los frenos mediante una señal eléctrica instantánea, lo que resulta en la aplicación simultánea de todos los frenos.

**Figura N° 40: Eje retráctil para el sistema de frenado**



**Fuente:** elaboración propia

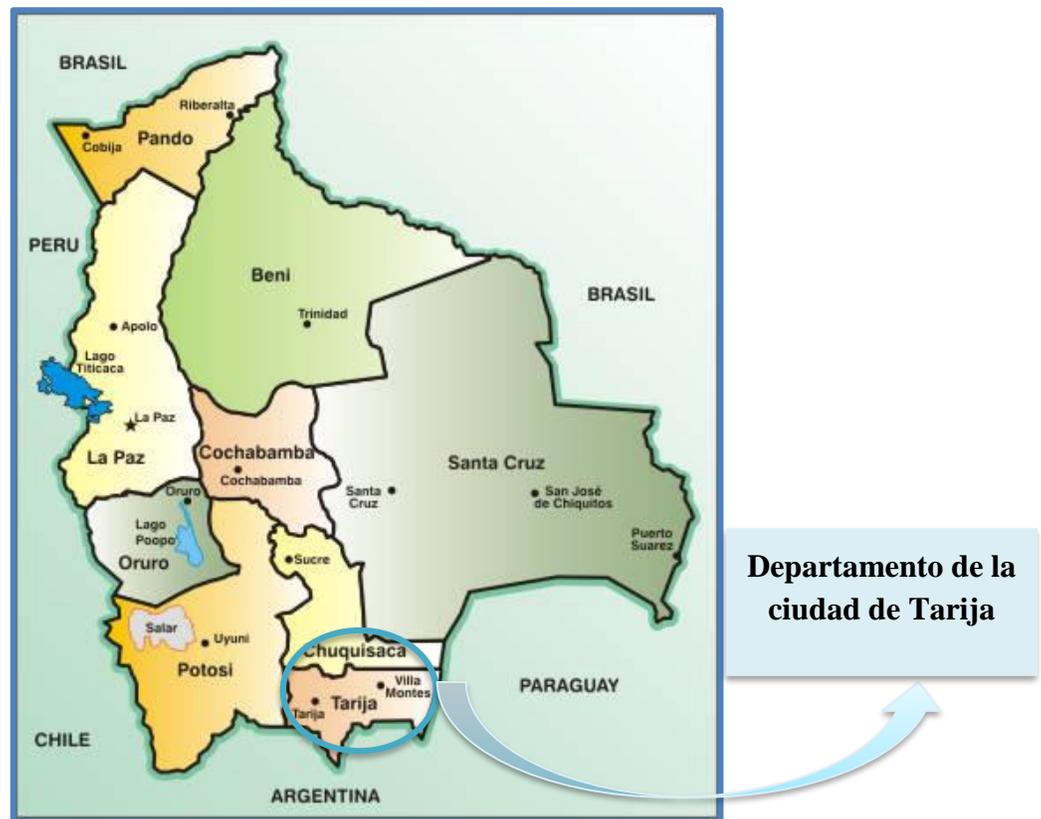
### CAPITULO III

## APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO CON BITREN

### 3.1.-Ubicación de los tramos en estudio

La ubicación de los tramos en estudio que desarrolla en el proyecto son los siguientes:

**Figura N°41: Mapa político del estado plurinacional de Bolivia**

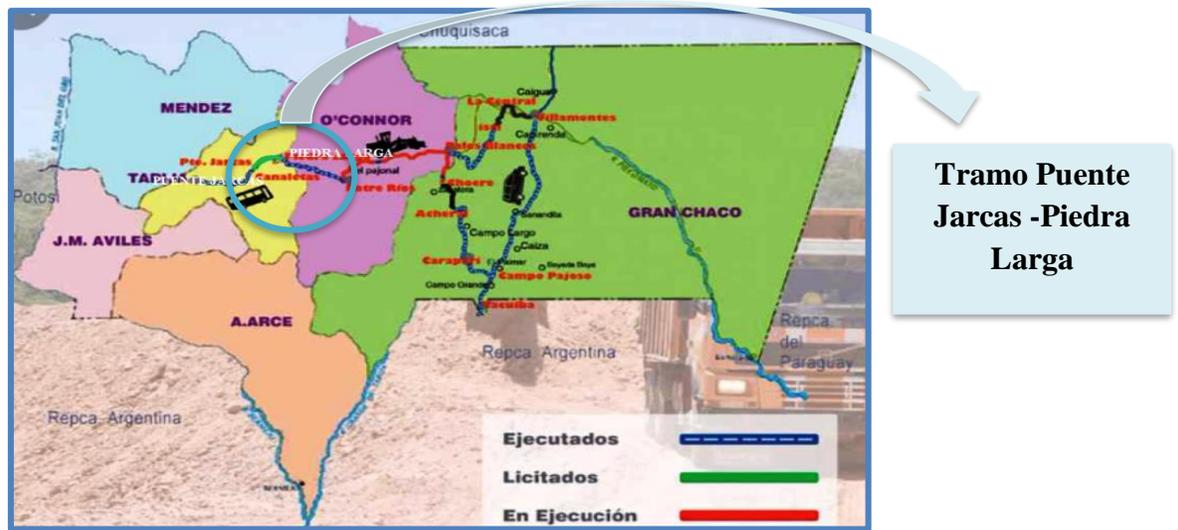


Fuente: Elaboración Propia

### Ubicación del tramo Puente Jarcas - Piedra Larga

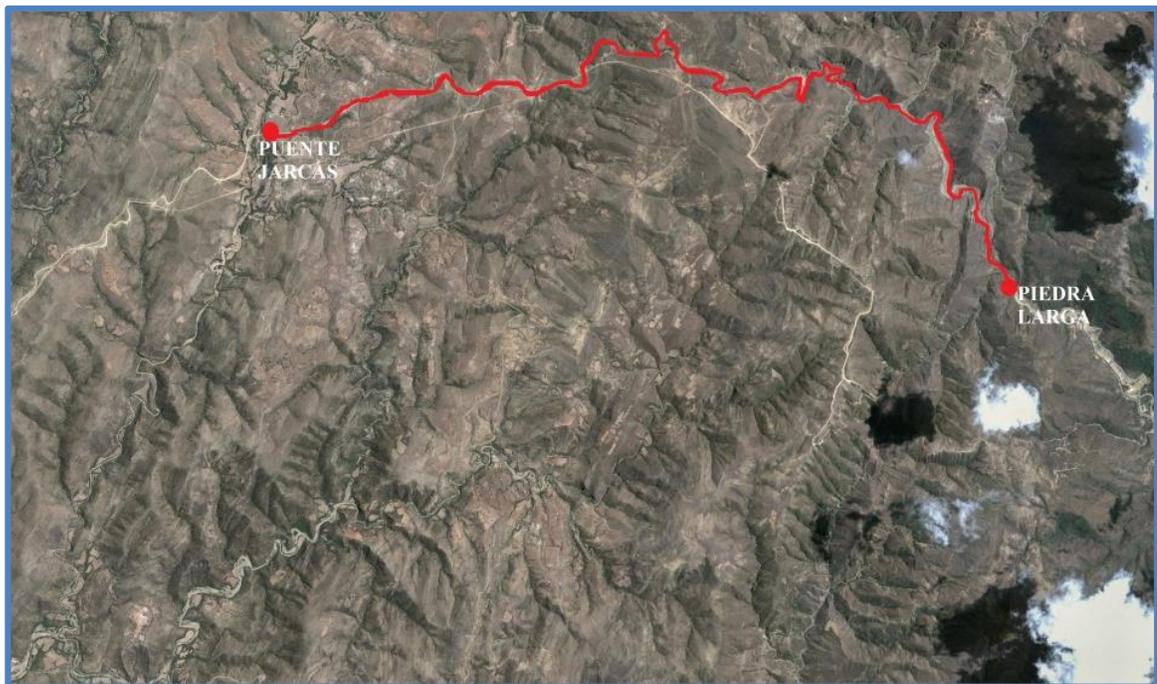
El estudio para el diseño con Bitren para pavimento flexible se realizó en el tramo Puente Jarcas – Piedra Larga que consta de 15,34 km. Localizado en la ciudad de Tarija

**Figura N°42: Mapa político del departamento de Tarija y del tramo en estudio**



Fuente: Elaboración Propia

Figura N°43: Imagen satelital del tramo “Puente Jarcas- Piedra Larga”

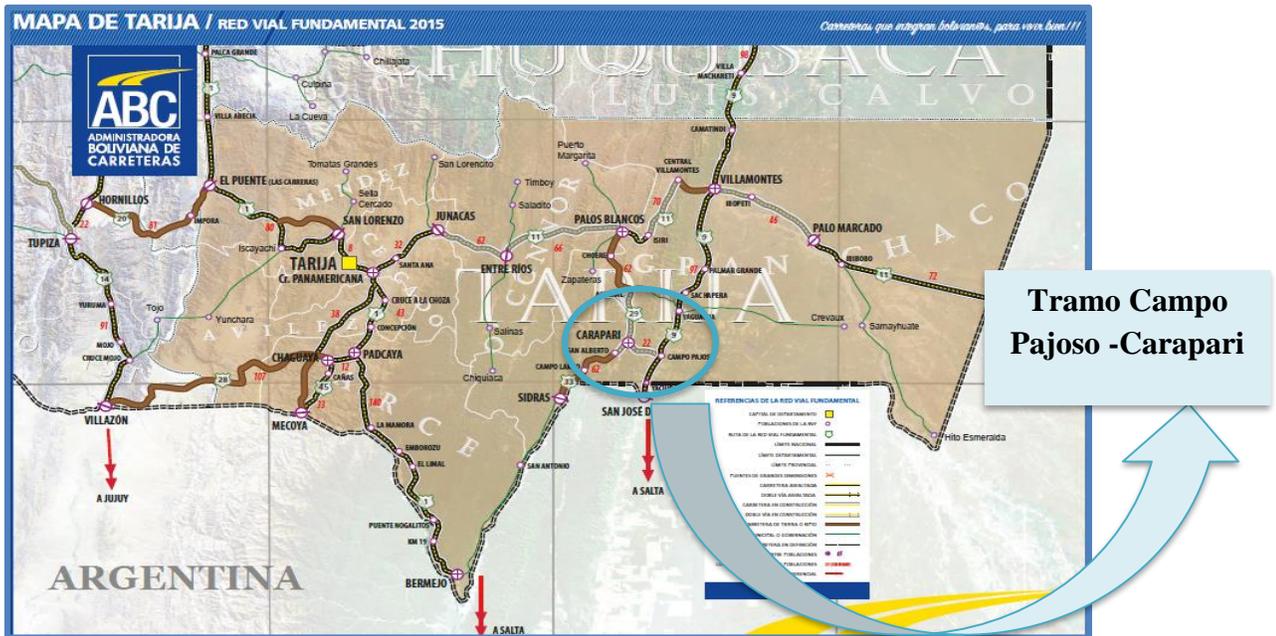


Fuente: Google Earth

Ubicación del tramo Campo Pajoso - Cararapi

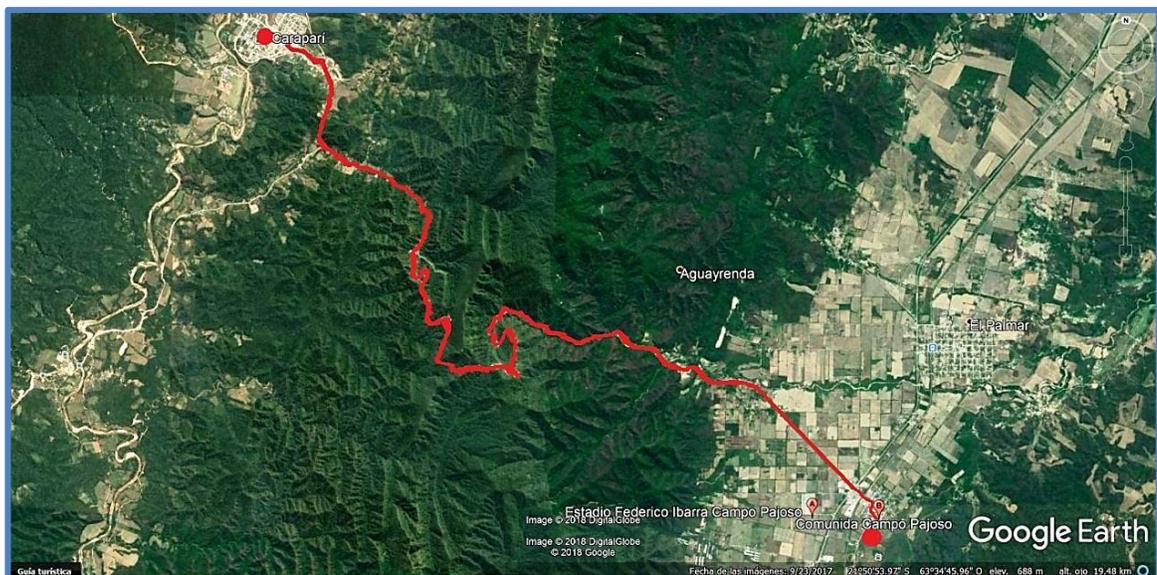
El estudio para el diseño con Bitren para pavimento rígido se realizó en el tramo Campo Pajoso – Carapari consta de 20 km. Localizado en la ciudad de Tarija.

**Figura N°44: Mapa político del departamento de Tarija y del tramo en estudio**



Fuente: ABC Administradora Boliviana de Carreteras

**Figura N°45: Imagen satelital del tramo “Campo Pajoso – Carapari”**



Fuente: Google Earth

**3.2.-Características de los tramos en estudio**

### **Puente Jarcas- Piedra Larga**

El camino actual Puente Jarcas - Piedra Larga que consta de 15,34 km de longitud, que llega a vincular a Tarija con el municipio de Entre Ríos y la región autónoma del Chaco.

El tramo Puente Jarcas - Piedra Larga forma parte de la ruta que une a Tarija Yacuiba, está provisto de una superficie de rodadura de tierra.

En su trazo se encuentran comunidades como Junacas, Morro Gacho, El Cóndor y Piedra Larga que en esas comunidades viven aproximadamente 450 familias.

El ancho del camino actual existente fluctúa entre los 5 a 6 metros dependiendo los sectores. Existe un sistema de drenaje básico conformado por alcantarillas.

El sistema que en algunos sectores será sustituido por nuevas alcantarillas, puentes losa, etc., debido principalmente a la mejora del alineamiento geométrico de la carretera que deja al margen algunas de las obras ya existentes.

La definición del área de influencia del camino, es importante porque nos permite conocer la oferta y demanda de transporte en el tramo en estudio, para ello es necesario basarse en las encuestas “origen/destino” que tienen por objeto establecer los movimientos de vehículos, pasajeros y cargas entre las diferentes zonas, tanto del camino en estudio como vías alternativas a las del proyecto.

### **Campo Pajoso - Carapari**

Para el diseño de pavimento rígido se realizó en el tramo Campo Pajoso - Carapari se encuentra a 13 km de pajoso perteneciente a la provincia Gran Chaco que forma parte de la red departamental de Tarija. En su recorrido del tramo atraviesa la Serranía del Aguaragüe.

El tramo Campo Pajoso – Carapari; cuenta con una longitud de 15,50km. El trazado geométrico utiliza en su mayoría, el camino existente Campo Pajoso - Carapari.

Los ríos que discurren por la sección son tributarias de la cuenca mayor del Río La Plata por que forman parte de la cuenca del río Tarija y del río Pilcomayo, distinguiéndose otras sub-cuencas formadas por los ríos Chiquiacá, San Nicolás, Itau, Isisri y Palos Blancos.

La topografía de la zona se caracteriza por presentar dos aspectos significativos: tres sectores planos y dos montañosos. (Serranía del Aguaragüe).

Como resultado de lo indicado, la mayor parte del trazado se encuentra en terreno plano, son sectores limitados por una topografía ondulada (ascenso y descenso de abras entre cuencas) y montañas.

### 3.3.-Condiciones de diseño con y sin bitren

#### a) Transito promedio diario (T.P.D.)

En las siguientes tablas tenemos el estudio de tráfico T.P.D. el tráfico promedio diario del tramo Puente Jarcas- Piedra Larga y también para el tramo Campo Pajoso-Caraparí.

**Tabla N°26: T.P.D. Sentido (Puente Jarcas –Piedra Larga)**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Trafico promedio (TPD)</b>
Automóvil jeep vagoneta	134
Camioneta	54
Minibús	2
Buses microbús	2
Buses medianos	16
Buses grandes	20
Camiones medianos	36
Camiones grandes 2 ejes	33

Camiones grandes 3 ejes	32
Camiones semirremolque	6
Camiones con remolque	11

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Tabla N°27: T.P.D. Sentido (Campo Pajoso –Carapari)**

Tipo de vehículo	Trafico promedio (TPD)
Automóviles Vagonetas Jeeps	141
Camionetas Minibuses	106
Microbuses	9
Medianos	1
Grandes	14
Pequeños ejes simples	21
Medianos ejes simples	9
Grandes ejes tandem	23
Pesados ejes trídem	3

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Carapari”

#### **b) Proyección del tráfico futuro**

Como base para un proyecto, generalmente se usa un periodo de hasta 20 años.

Se considera que el tránsito promedio diario para cada tipo de vehículo, sigue un comportamiento lineal con respecto al tiempo, por lo tanto la proyección del tráfico futuro se realiza mediante ajustes estadísticos lineales por el Método de los Mínimos Cuadrados.

Consecuentemente basándonos en los datos de los conteos vehiculares para cada tipo de vehículo, estimaremos el tránsito promedio diario, sustituyendo en cada ecuación de regresión obtenida, el valor correspondiente a cada año hasta el año 20 (2038), el cual se ha establecido como periodo de diseño.

**c) Índice de crecimiento**

Este parámetro constituye un importante dato para obtener el porcentaje anual de crecimiento de los diferentes vehículos que se produce durante el periodo de diseño adoptado. Para su determinación se usa un proceso iterativo con ayuda de la ecuación que se señala a continuación:

$$IC = \frac{\sum TPDA_{actual} - \sum TPDA_{año anterior}}{\sum TPDA_{actual}} \cdot 100 \quad (39)$$

Dónde:

IC=Índice de crecimiento según el tipo de vehículo.

$\sum TPDA_{actual}$ =Suma del T.P.D.A. del año en curso o año en estudio.

$\sum TPDA_{año anterior}$ =Suma del T.P.D.A. del año anterior.

De esta manera se obtienen los índices de crecimiento con la ecuación (39) así para cada tipo de vehículo, los cuales no servirán para determinar el factor de crecimiento de los mismos, factores que serán utilizados para la determinación del número de ejes equivalentes como veremos más adelante.

**Tabla N°28: Índice de crecimiento (Puente Jarcas –Piedra Larga)**

Tipos de vehículo	Índice de crecimiento
Automóvil Jeep Vagoneta	3,527

Camioneta	5,303
Minibús	5,218
Buses microbús	0,892
Buses medianos	5,218
Buses grandes	0,892
Camiones medianos	1,151
Camiones grande 2 ejes	1,151
Camiones grande 3 ejes	1,151
Camiones semirremolque	6,052
Camiones con remolque	6,052

**Fuente:** Parque automotor clasificado por clase y servicio (TARIJA)

**Tabla N°29: Índice de crecimiento (Campo Pajoso – Carapari)**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Índice de crecimiento</b>
Automóviles vagonetas jeeps	3,527
Camionetas minibuses	5,261
Microbuses	0,892
Medianos	5,218
Grandes	3,316
Pequeños ejes simples	18,831

Medianos ejes simples	18,831
Grandes ejes tandem.	1,576
Pesados ejes trídem	6,052

Fuente: Parque Automotor Clasificado Por Clase Y Servicio (TARIJA)

#### d) Numero de ejes equivalentes $W_{18}$

Los procedimientos actuales de diseño requieren convertir y asimilar el tráfico mixto a un número equivalente de ejes simples y ruedas duales de 18 kips (8,2 ton 1800 lbs) elegidos con un valor “estándar” o de referencia.

En tal sentido la estructura del pavimento será función del número de ejes equivalentes de 8,2 ton en el carril de proyectos y durante el periodo de diseño considerado.

Para su determinación se tendrá en cuenta la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ ejes equivalentes} = (TPD)_i \cdot (FC)_i \cdot (FCE) \cdot 365 \quad (40)$$

$$FC = \left(1 + \frac{IC}{100}\right)^N \quad (41)$$

Dónde:

$(TPD)_i$  = Tráfico promedio diario del vehículo tipo i, en el primer año de circulación

$(FC)_i$  = Factor de crecimiento de vehículo tipo i.

$(IC)_i$  = Índice de crecimiento del vehículo tipo i.

$(N)$  = Número de años hasta el periodo de diseño 1, 2, 3, .....10. ....20 años.

$(FCE)_i$  = Factor de carga equivalente del vehículo tipo i.

#### Factor de carga equivalente

El daño sobre los pavimentos es el resultado de las acciones conjuntas del tráfico y del clima, si el daño es estructural es imposible distinguir entre las acciones del clima o de las cargas ya que ambos actúan concurrentemente y son cambiantes en el tiempo.

Es el factor que transforma los vehículos pesados en ejes cargados. En el factor se sintetiza la distribución de carga de los vehículos, la configuración de los ejes de un vehículo pesado y el tipo de carga que transporta en el corredor.

La comparación de los efectos destructivos de las diferentes cargas, guía el concepto de factor de carga equivalente y según la AASHO se calcula con la ecuación general:

$$FCE = \left( \frac{P}{P_r} \right)^N \quad (42)$$

Dónde:

P=Carga por eje (sencillo o tandem)

Pr=Carga por eje de referencia (8,2 ton por eje sencillo y 15 ton por eje tandem)

n=Coeficiente de efecto destructivo, que asume los siguientes valores:

4: Para estructuras flexibles con menos de 15cm de materiales asfálticos.

5-6: Para estructuras flexibles con más de 15cm. de materiales asfálticos.

8 : Para estructuras semi-rígidas con 15 a 30 cm de materiales tratados con ligantes hidráulicos.

10-12: Para estructuras con más de 30cm de materiales tratados con ligantes hidráulicos y/o pavimentos de hormigón.

**Tabla N°30: Factor de carga equivalente (Puente Jarcas – Piedra Larga)**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Factor carga equivalente</b>
Automóvil jeep vagoneta	0,0004
Camioneta	0,0009
Minibús	0,0978
Buses microbús	0,1025
Buses medianos	0,9598
Buses grandes	1,4040
Camiones medianos	0,0884
Camiones grandes 2 ejes	0,7517
Camiones grandes 3 ejes	0,5319
Camiones semirremolque	1,1597
Camiones con remolque	2,2961

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga

**Tabla N°31: Factor de carga equivalente (Campo Pajoso- Carapari)**

<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Factor carga equivalente</b>
Automóviles vagonetas jeeps	0,0007672
Camionetas minibuses	0,0072000
Microbuses	1,1190000
Medianos	0,7700000
Grandes	3,1387000
Pequeños ejes simples	0,5298000
Medianos ejes simples	4,4894000

Grandes ejes tandem	4,3383000
Pesados ejes trídem	7,5807000

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### **Diseño de pavimentos según método AASHTO versión 1997 para el tramo (Puente Jarcas -Piedra Larga )**

Con la ecuación (4) se realizó el dimensionamiento del pavimento flexible.

#### **Variables que intervienen en el diseño de pavimento flexible**

##### **a) Confiabilidad “R”**

**Tabla N°32: Valores de “R” de confiabilidad, con diferentes clasificaciones funcionales**

<b>Niveles de confiabilidad</b>	
<b>Clasificación Funcional</b>	<b>Nivel recomendado por AASHTO para carreteras</b>
Carretera interestatal o autopista	80-99,9
Red principal o federal	75-95
Red secundaria o estatal	75-95
Red rural o local	50-80

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “puente jarcas– Pierda larga”

Para el presente tramo en estudio, Puente Jarcas –Piedra larga , se adopta un nivel de confiabilidad del **85%**

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

##### **b) Desviación estándar normalizada**

La desviación estándar normalizada  $Z_R$  representa la abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

La distribución normal es útil para estudiar los efectos de la variabilidad en el rendimiento y el diseño de pavimentos.

La Tabla N°33 obtenida de la Guía AASHTO muestra valores de la desviación estándar normal  $Z_R$  correspondientes a valores seleccionados de confiabilidad.

**Tabla N°33: Valores de desviación estándar normalizada**

<b>Confiabilidad R(%)</b>	<b>Desviación estándar normal <math>Z_R</math></b>	<b>Confiabilidad R(%)</b>	<b>Desviación estándar normal <math>Z_R</math></b>
50	0,000	93,00	- 1,476
60	- 0,253	94,00	- 1,555
70	- 0,524	95,00	- 1,645
75	- 0,674	96,00	- 1,751
80	- 0,841	97,00	- 1,881
85	- 1,037	98,00	- 2,054
90	- 1,282	99,00	- 2,327
91	- 1,340	99,90	- 3,090
92	- 1,405	99,99	- 3,750

**Fuente:** Diseño Final Asfaltado Tramo Vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

Para el presente tramo en estudio se adopta un valor de  $Z_R = -1.037$   
correspondiente a la confiabilidad adoptada.

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### c) Desviación estándar de las variables “ $S_o$ ”

La desviación estándar  $S_o$ , toma en cuenta la variabilidad asociada con el diseño, construcción y comportamiento del pavimento.

La Guía AASHTO 97 aconseja valores para la desviación estándar  $S_o$ , desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito.

En la Tabla N°34 se dan los valores recomendados por AASHTO' 97 para pavimentos flexibles.

**Tabla N°34: Valores de desviación estándar**

Condición de diseño	Desviación estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0,49

Fuente: ASSHTO-97

Para el presente proyecto se ha adoptado un valor de  $S_o=0.49$

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial "Puente Jarcas– Pierda larga"

#### d) Pérdida de serviciabilidad de diseño "ΔPSI"

La serviciabilidad es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. En el diseño de pavimentos se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La serviciabilidad inicial  $P_o$  es función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La serviciabilidad final o terminal  $P_t$  es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados por la AASHTO 97 están indicados a continuación:

Serviciabilidad Inicial

$P_o = 4,5$  Para pavimentos rígidos

$P_o = 4,2$  Para pavimentos flexibles

Serviciabilidad terminal:

$P_t = 2,5$  O más para caminos muy importantes

$P_t = 2,0$  Para caminos de menor tránsito

Para el presente tramo Puente Jarcas - Piedra Larga se han adoptado  $P_o=4.2$  y  $P_t=2.5$

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

Una vez que  $P_o$  y  $P_t$  son establecidos, la pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño  $\Delta PSI$  se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$\Delta PSI = P_o - P_t \quad (42)$$

Por tanto la perdida de serviciabilidad prevista estimada es  $\Delta PSI = 1.70$

**e) Módulo resiliente de la: subrasante, carpeta asfáltica, capa base, capa subbase**

A partir de los valores de CBR de diseño definidos por el especialista de geotecnia en el respectivo estudio de suelos y materiales y utilizando las dos primeras fórmulas indicadas anteriormente que correlaciona el módulo resiliente y CBR, se han obtenido los módulos resilientes de la capa Subrasante Carpeta Asfáltica, Capa Base, Capa Subbase a lo largo del tramo.

**Tabla N°35: Valor de resistencia asignado (Psi)**

Capa del paquete estructural	(Psi)
Módulo resiliente subrasante terreno natural (CBR=18%) ( $M_R$ )	12745
Módulo resiliente de la carpeta asfáltica	23699
Módulo resiliente de la capa Base	700

Módulo resiliente de la capa subbase	317
--------------------------------------	-----

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

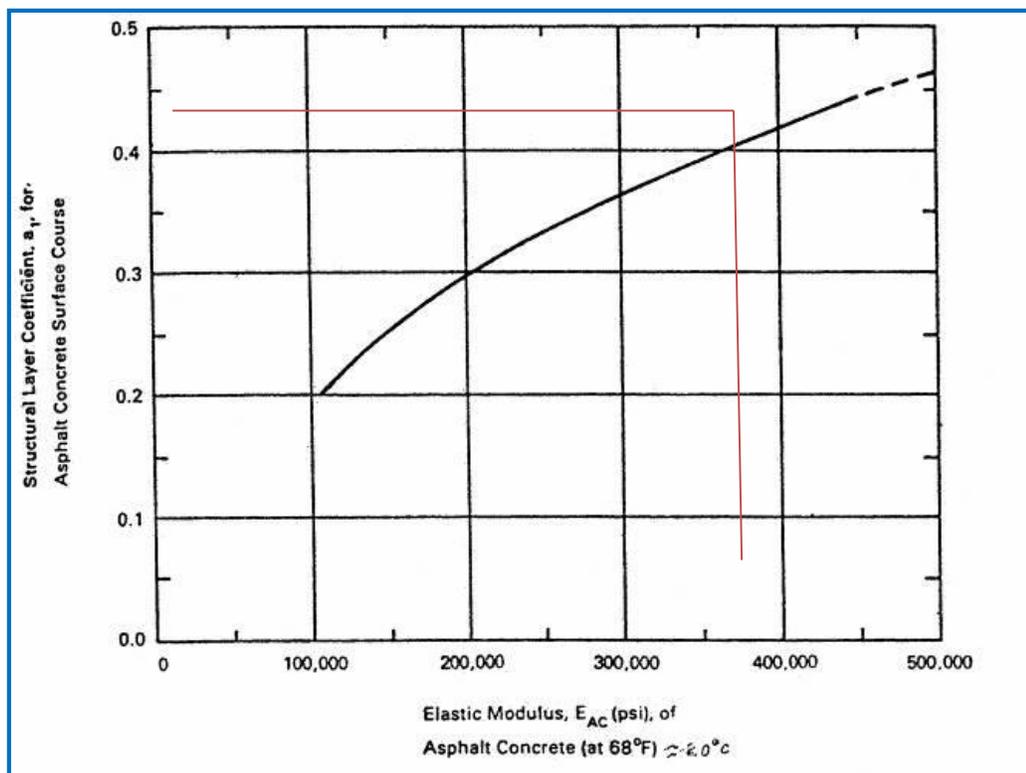
#### f) Coeficientes estructurales o de capa

Estos coeficientes son una medida de la capacidad relativa de cada capa como componente estructural de un pavimento, aunque directamente no sean un índice de la resistencia del material. No obstante a ello, estos coeficientes están correlacionados con distintos parámetros resistentes.

#### Coeficiente Estructural para la capa de rodadura “ $a_1$ ”

Se nos proporciona un gráfico para estimar el coeficiente estructural para capas asfálticas, donde este coeficiente “ $a_1$ ” están en función del módulo resiliente adoptado.

**Gráfica N°1: Gráfico para determinar el coeficiente estructural de capas asfálticas en función del módulo resiliente adoptado**



Fuente: AASTHO

Para un módulo resiliente adoptado de 425000,00 psi, se obtiene un coeficiente estructural para la Carpeta Asfáltica de:

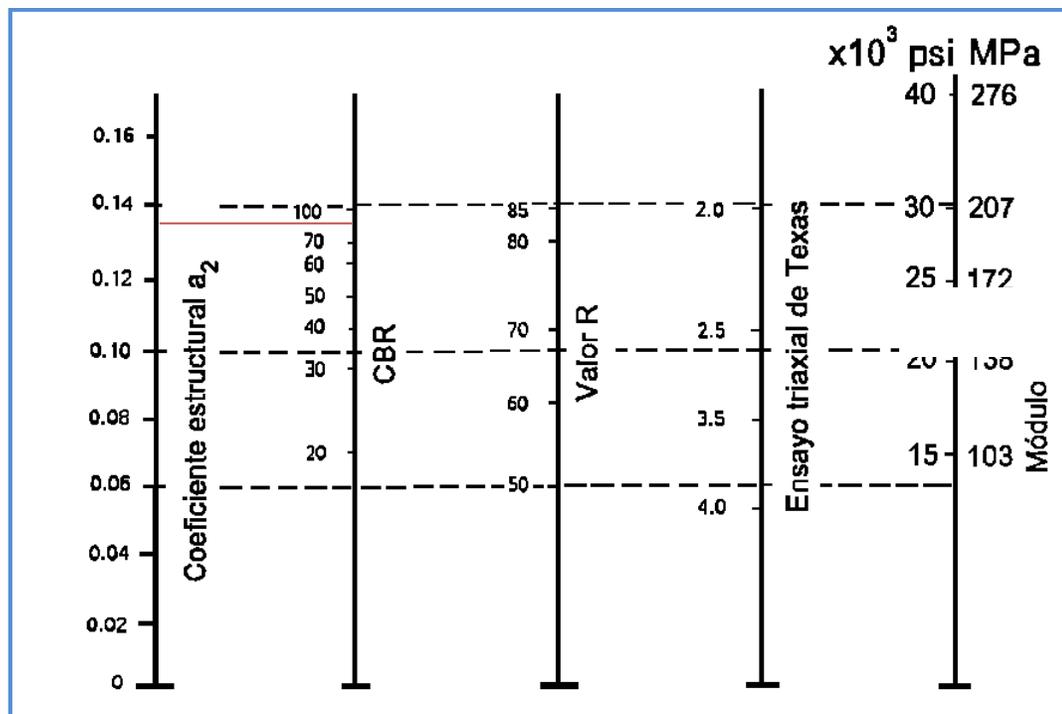
$$a_1=0,43$$

### Coefficiente estructural para la capa base “ $a_2$ ”

En la gráfica N°2 se muestra el ábaco para determinar el coeficiente estructural “ $a_2$ ” para bases granulares (definida para el proyecto, por los buenos materiales que se tiene en los bancos de préstamo cercanos).

Este coeficiente está en función de distintos parámetros resistentes.

**Gráfica N°2: Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes**



Fuente: AASTHO

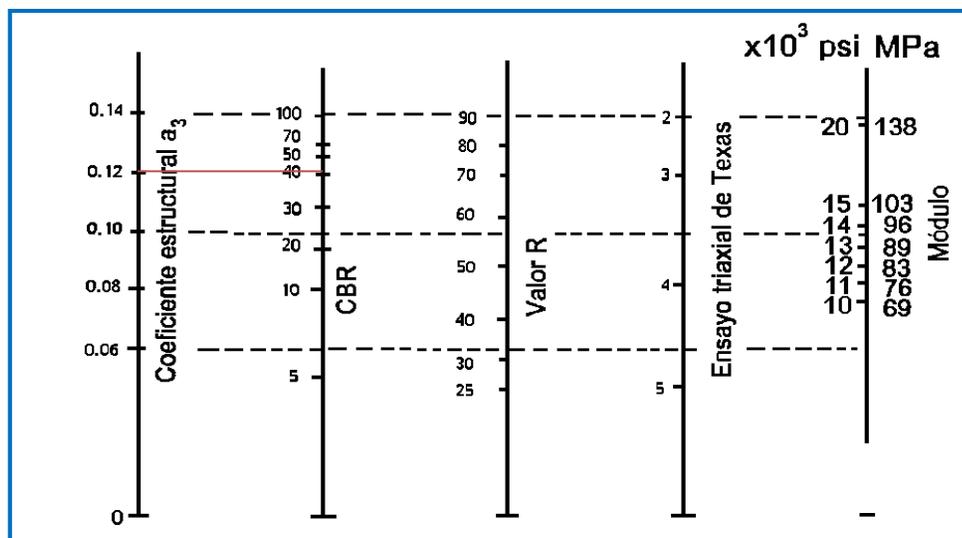
Para el presente tramo, se adopta un CBR igual a 80% para el material de la capa base de acuerdo a la exigencia mínima solicitada en especificaciones. Por lo tanto el coeficiente estructural para la capa base granular es:

$$a_2 = 0,133$$

### Coeficiente estructural para la capa sub-base “a<sub>3</sub>”.-

Para la estimación del coeficiente de capa “a<sub>3</sub>” para sub-base granular se utiliza el ábaco de la gráfica N°3, que relaciona este coeficiente con distintos parámetros resistente.

**Gráfica N°3: Relación entre el coeficiente estructural para sub-base granular y distintos parámetros resistentes**



Fuente: AASTHO

Para el presente tramo, se adopta un CBR igual a 40% de acuerdo a lo mínimo solicitado en especificaciones. Por lo tanto el coeficiente estructural para la capa Sub base Granular es:

$$a_3 = 0,120$$

**Tabla N° 36: Coeficientes estructurales Puesto Jarcas- Piedra Larga**

Coeficientes estructurales

Capa de rodadura	$a_1$	0,430
Base granular	$a_2$	0,133
Subbase granular	$a_3$	0,120

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**g) Coeficientes de drenaje “ $m_i$ ”**

Los coeficientes de drenaje que afectan a las capas no ligadas, tienen por objeto tomar en cuenta los efectos de distintos niveles de eficiencia de drenaje en el comportamiento de la estructura. Es sabido que un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la subrasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

En la Tabla N°37 se indican los tiempos de drenaje recomendados por AASHTO. Estas recomendaciones están basadas en el tiempo requerido para drenar la capa base hasta un grado de saturación del 50%. Sin embargo, el criterio del 85% de saturación reduce en forma significativa el tiempo real usado para seleccionar la calidad del drenaje.

**Tabla N°37: Tiempo de drenaje**

Calidad de drenaje	50% Saturación en:	85% Saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Más de 10 horas
Muy Pobre	El agua no drena	Mucho más de 10 horas

**Fuente:** ASSHTO 97

Esta calidad se expresa en la fórmula de dimensionado (Numero estructural) a través de unos coeficientes de drenaje  $m_i$  que afectan a las capas no ligadas (Tabla N°38)

**Tabla N°38: Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

Calidad de drenaje	% De tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	< 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	> 25 %
Excelente	1,40 – 1,35	1,35 – 1,30	1,30 – 1,20	1,20

Bueno	1,35 – 1,25	1,25 – 1,15	1,15 – 1,00	1,00
Regular	1,25 – 1,15	1,15 – 1,05	1,00 – 0,80	0,80
Pobre	1,15 – 1,05	1,05 – 0,80	0,80 – 0,60	0,60
Muy Pobre	1,05 – 0,95	0,95 – 0,75	0,75 – 0,40	0,40

Fuente: ASSHTO 97

Los valores considerados como coeficientes de drenaje en función a una calidad del drenaje regular obtenido y un porcentaje entre el 5% y 25% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad, son los siguientes.

**Tabla N° 39: Coeficientes de drenaje tramo Puente Jarcas- Piedra Larga**

Base granular	$m_1$	1
Subbase granular	$m_2$	1
Subrasante mejorada	$m_3$	1

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### **Diseño del pavimento rígido por el método ASSTHO-97 para el tramo (Campo Pajoso - Caraparí)**

La fórmula que permite el diseño de pavimentos rígidos, desarrollada por la AASHTO, es la ecuación (11)

#### **a) Serviciabilidad**

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, además de servir al tránsito para el cual ha sido diseñado, de esta forma se tienen un índice de serviciabilidad inicial y otro final.

#### **b) Serviciabilidad Inicial ( $p_0$ )**

La serviciabilidad inicial está referida al momento inmediato después de la construcción y dependerá de la calidad de ejecución y nivel de control durante la construcción del pavimento, es decir, a mayor calidad en la ejecución, mayor será la serviciabilidad. De acuerdo a las anteriores aseveraciones la AASTHO ha elaborado una tabla donde se califica a la serviciabilidad inicial.

**Tabla N°40: Valores de serviciabilidad inicial**

Condición	Serviciabilidad
Muy Pobre	0 – 1
Pobre	1 – 2
Regular	2 – 3
Buena	3- 4
Muy Buena	4 – 5

Fuente: Método de diseño AASTHO-97

En la guía para el diseño de pavimentos ASSTHO-93 y Suplemento ASSTHO-97 se recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual.

$p_o = 4,5$  valor que ha sido adoptado para el presente diseño

Fuente: Diseño Final Asfaltado Tramo Vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### c) **Serviciabilidad final ( $p_t$ )**

Es la serviciabilidad mínima tolerable del pavimento, calificada en la misma escala de 0 a 5. Cuando la serviciabilidad del pavimento alcanza su valor terminal requiere una rehabilitación.

En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide basándose en la calidad de construcción, la serviciabilidad terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico, ubicación e importancia del camino.

Valores típicos de serviciabilidad terminal están entre 2 y 3, dependiendo de la clasificación funcional de la carretera, las recomendaciones de AASHTO para la selección de la serviciabilidad final son:

Volumen Alto (>10.000 TPDA)	3,0-3,5
Volumen Medio (3,000 - 10,000 TPDA)	2,5-3,0
Bajo Volumen (< 3,000 TPDA)	2,0-2,5

En el presente estudio, considerando la importancia de la carretera, se adopta un valor de  $p_t = 2,5$

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### d) **Módulo promedio de ruptura del hormigón a los 28 días ( $S'_c$ )**

El Módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión, es el esfuerzo

de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. Para determinar este módulo se usa el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T97, ASTM C78).

Las expresiones que correlacionan la resistencia a compresión a los 28 días con el módulo de ruptura ofrecen valores muy dispersos con relación a los valores obtenidos mediante el ensayo nombrado, razón por la cual se dificulta la elección de un valor de resistencia cilíndrica para la obra.

En la práctica del diseño de pavimentos se ha generalizado el empleo de valores promedio de  $S'_c = 4,50 \text{ MPa}$ , =  $652,7 \text{ Psi}$  el cual será adoptado en el presente diseño.

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Carapari”

#### e) **Módulo de elasticidad ( $E_c$ )**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que soporta la losa del pavimento.

Mientras más alto sea el valor del módulo elástico, más rígida será la losa. Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones, están influenciados por el valor del módulo elástico. Este valor se determina usando los procedimientos descritos en el ensayo ASTM 469.

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión ó a la flexión del hormigón. En nuestro caso, se ha utilizado la siguiente expresión:

$$E_c = 1000000 \cdot [S'_c (\text{Psi}) - 3,370] / 43,50 \quad (43)$$

De esta fórmula se obtiene el valor aproximado de  **$E_c = 26000 \text{ MPa} = 3770981 \text{ Psi}$**  El diseño es poco sensible a esta variable.

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “campo Pajoso – Carapari”

#### f) **Módulo efectivo de reacción de la sub rasante ( $K$ )**

En el presente estudio se han revisado los conceptos y distintos factores que intervienen

en la elección del valor de este módulo, los valores ahí obtenidos son:

$$\text{Para CBR} = 4,5 \% \Rightarrow K = 38 \text{ KPa/mm} \Rightarrow 140\text{Pci}$$

**Fuente:** Diseño Final Asfaltado Tramo Vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### g) Nivel de confianza (R)

La confiabilidad es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que el sistema que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones que tienen lugar durante ese lapso, es decir que el pavimento sobreviva al tráfico y a las condiciones del medio ambiente del período de diseño.

La selección del nivel apropiado de confianza para el diseño de un pavimento está determinada por el uso esperado de ese pavimento.

Un nivel de confianza elevado significa un pavimento más costoso y por lo tanto mayor costo inicial, pero pasará mayor tiempo antes de que necesite reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores, un nivel de confianza bajo da pavimentos más económicos, pero con mayor costo de mantenimiento, lógicamente, existirá un nivel de confianza óptimo en el cual la suma de los costos iniciales y de mantenimiento dan un mínimo.

Bajo ese criterio la AASTHO elaboró la tabla que se presenta a continuación, donde se presentan niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

**Tabla N°41: Valores de confianza (en función de la funcionalidad)**

Clasificación funcional	Urbana	Rural
Interestatal y otras autopistas	85.0 – 99.9	80.0 - 99.9
Arterias principales	80.0 – 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 – 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 – 80.0	50.0 - 80.0

**Fuente:** Guía de Diseño AASTHO

Dadas las características de la vía en estudio adoptaremos un nivel de confianza **R = 80%**, que correspondería a un camino colector en área rural.

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### h) Desviación estándar global ( $S_o$ )

Toma en cuenta la variabilidad de los datos de diseño, la variabilidad del tráfico durante la vida útil del pavimento, la variabilidad de los fenómenos naturales, variabilidad durante los procesos constructivos, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, etc. En ausencia de valores nacionales, la Guía de Diseño AASHTO recomienda valores recomendados para pavimentos rígidos.

Para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado no se considera, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de **0,35** Por lo tanto el valor adoptado

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### i) Coeficiente de transferencia de carga ( $J$ )

Es un factor usado sólo en pavimentos rígidos y sirve para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. Este factor considera además, el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa.

La siguiente tabla provee recomendaciones para la selección del coeficiente de transferencia de carga:

**Tabla N°42: Coeficientes de transferencia de carga**

Tipo de Pavimento	Berma de asfalto		Berma de H° vinculada	
	Dispositivo de transferencia		Dispositivo de transferencia	
	Sí	No	Sí	No
Junta sencilla y junta reforzada	3,2	3,8 – 4,4	2,5– 3,1	3,6 – 4,2
Continuamente reforzada	2,9 – 3,2	N/D	2,3 – 2,9	N/D

**Fuente:** AASHTO Guía de diseño parte II. Sección 2.4.2.

Se ha realizado el diseño considerando una berma de asfalto, por lo que el factor adoptado es **J = 3,2**

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### Coefficiente global de drenaje (Ca)

El coeficiente de drenaje incorpora el efecto del drenaje en la vida de los pavimentos rígidos. El efecto del drenaje en el desempeño de los pavimentos es una función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. .

La norma AASTHO sugiere una calificación para la calidad del drenaje de acuerdo al tiempo en que las aguas son drenadas, tanto de la losa como de la capa sub base y subrasante. Esta calificación puede ser apreciada en la Tabla 27.

**Tabla N°43: Niveles de calidad de drenaje**

Calidad de drenaje	Agua removida dentro de:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Agua no drena

**Fuente:** Guía de diseño AASTHO, Parte I, Sección 1.8

Para la selección del coeficiente de drenaje, AASTHO provee la siguiente tabla, donde la calificación dada al drenaje se relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación:

**Tabla N° 44: Coeficientes de drenaje**

Calidad de Drenaje	Menos de 1 %	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25 %
Excelente	1,25-1,20	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10
Bueno	1,20-1,15	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00
Regular	1,15-1,10	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90
Pobre	1,10-1,00	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80
Muy Pobre	1,00-0,90	0,90-0,80	0,80-0,70	0,70

**Fuente** Guía de diseño AASTHO, Parte I, Sección 1.8

Las condiciones morfológicas de la zona, las obras de drenaje provistas y descritas con anterioridad, indican un drenaje entre regular y bueno, las características de precipitación de la zona nos llevan a deducir que entre el 5 y 25% del tiempo el pavimento estará en niveles cercanos a la saturación, por lo tanto el coeficiente global de drenaje adoptado es:

**$C_a = 1,10$**

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

### 3.4.-Dimensionamiento del pavimento con vehículo tipo normal

#### 3.4.1.-Dimensionamiento del pavimento flexible

Calculo del número de ejes equivalentes  $W_{18}$ .-

**Tabla N° 45: Resumen del análisis de tráfico vehicular**

**Sentido: Puente Jarcas – Piedra Larga**

Tipo de Vehículo	Trafico Promedio (TPD)	Porcentaje (%)	Factor Carga Equivalente
Automóvil jeep vagoneta	134	38,73	0,0004
Camioneta	54	15,61	0,0009
Minibús	2	0,58	0,0978
Buses microbús	2	0,58	0,1025
Buses medianos	16	4,62	0,9598
Buses grandes	20	5,78	1,4040
Camiones medianos	36	10,40	0,0884
Camiones grandes 2 ejes	33	9,54	0,7517
Camiones grandes 3 ejes	32	9,25	0,5319

Camiones semirremolque	6	1,73	1,1597
Camiones con remolque	11	3,18	2,2961
T.P.D.A.	346	100%	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Tabla N°46: Índice de crecimiento sentido Puente Jarcas –Piedra larga**

Tipos de Vehículo	Índice de Crecimiento
Automóvil jeep vagoneta	3,527
Camioneta	5,303
Minibús	5,218
Buses microbús	0,892
Buses medianos	5,218
Buses grandes	0,892
Camiones medianos	1,151
Camiones grande 2 ejes	1,151
Camiones grande 3 ejes	1,151
Camiones semirremolque	6,052
Camiones con remolque	6,052

**Fuente:** Parque automotor clasificado por clase y servicio (TARIJA)

**Tabla N°47: Número de ejes equivalentes**

Tipo de vehículo	Periodo de diseño
------------------	-------------------

	10 años	20 años
Automóvil vagonetas jeeps	257	594
Camioneta	249	649
Minibús	998	2586
Buses microbús	862	1721
Buses medianos	78369	202996
Buses grandes	118049	235704
Camiones medianos	13531	27408
Camiones 2 ejes	105468	213642
Camiones 3 ejes	72367	146592
Camiones con semirremolque	36908	100955
Camión con remolque	133970	366450
Ejes equivalentes	561028	1299297
	5,61 E+05	1,30 E+06

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°48: Número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 y 20 años**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	5,61 E+05
Periodo de diseño 20 años	1,30 E+06

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°49: Resumen de los datos para hallar número estructural SN**

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	1,30 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_R$	0,490	
Servicialidad inicial	$\rho_o$	4,200	
Servicialidad final	$\rho_o$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta$ PSI	1,700	
Módulo resiliente			
Subrasante terreno natural (CBR=18%)		12745,000 psi	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### Diseño del pavimento flexible por el método ASSTHO-97

La fórmula que permite el diseño de pavimentos flexibles, desarrollada por la AASHTO es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} M_R - 8,07$$

### Número estructural calculado SN

Numero estructural	SN	2,80 pulg	71,12mm
--------------------	----	-----------	---------

- Con los siguientes datos calculamos  $D_1$  utilizando la ecuación de AASTHO para pavimentos flexibles ya dicho anteriormente:

**Tabla N°50: Resumen de los datos para el hallar el número estructural  $D_1$**

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	1,30 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_o$	0,490	
Servicialidad inicial	$\rho_o$	4,200	
Servicialidad final	$\rho_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta$ PSI	1,700	
Módulo resiliente carpeta asfáltica	$M_{CA}$	23699,000 psi	

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Número estructural calculado  $D_1$**

Número estructural $D_1$	2,300 pulg	58,42mm
--------------------------	------------	---------

- Con los siguientes datos calculamos  $D_2$  utilizando la ecuación de AASTHO para pavimentos flexibles ya dicho anteriormente:

**Tabla N°51: Resumen de datos para cálculo del número estructural  $D_2$**

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	1,30 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = 1,037$
Desviación estándar	$S_R$	0,490	
Servicialidad inicial	$\rho_o$	4,200	
Servicialidad final	$\rho_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta$ PSI	1,700	
Módulo resiliente de la capa base	$M_B$	700,000 psi	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### Número estructural calculado $D_2$

Número estructural $D_2$	7,80 pulg	198,12 mm
--------------------------	-----------	-----------

- Con los siguientes datos calculamos  $D_3$  utilizando la ecuación de AASTHO para pavimentos flexibles ya dicho anteriormente:

**Tabla N°52: Resumen de los datos para cálculo de  $D_3$**

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	1,300 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_O$	0,490	
Servicialidad inicial	$p_o$	4,200	
Servicialidad final	$p_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta PSI$	1,700	
Módulo resiliente capa subbase	$M_{SB}$	317,000 psi	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### Número estructural calculado $D_2$

Número estructural $D_3$	9,800 pulg	248,920 mm
--------------------------	------------	------------

**Tabla N°53: Número estructural calculado**

Número estructural $D_1$	2,300 pulg	58,420 mm
Número estructural $D_2$	7,800 pulg	198,120 mm

Número estructural	$D_3$	9,800 pulg	248,920 mm
--------------------	-------	------------	------------

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°54: Coeficiente estructural estructural calculado**

Base granular	$a_1$	0,430
Subbase granular	$a_2$	0,133
Subbase granular	$a_3$	0,120

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Tabla N°55: Coeficientes de drenaje “mi”**

Base granular	$m_1$	1,00
Subbase granular	$m_2$	1,00
Subrasante mejorada	$m_3$	1,00

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Numero estructural**

$$SN_1 = D_1 \cdot a_1$$

$$D_1 = 58,420 \cdot 0,430 = 25,121 \rightarrow 25,000 \text{ mm}$$

**Tabla N°56: Análisis del número estructural calculado**

	Coeficiente estructural	Coeficiente de drenaje	espesor	Numero Estructural
Carpeta asfáltica	0,430	1	58,420	25,12

Capa base	0,133	1	198,120	26,35
Capa subbase	0,120	1	248,920	29,87
			$\Sigma$ sumatoria 81,340mm	

Fuente: Elaboración propia

$81,340 \text{ mm} \geq 71,120\text{mm}$
--

**Tabla N°57: Espesores del pavimento flexible para vehículo tipo normal**

Carpeta asfáltica	6 cm
Capa base	20 cm
Capa subbase	25 cm

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2.-Dimensionamiento del pavimento rígido

Calculo del número de ejes equivalentes  $W_{18}$ .-

**Tabla N°58: Resumen del análisis de tráfico vehicular**

**Sentido: Campo Pajoso- Carapari**

Tipo de vehículo	Trafico promedio (TPD)	Porcentaje (%)	Factor carga equivalente
Automóviles vagonetas jeeps	141	43,12	0,0007672
Camionetas minibuses	106	32,42	0,0072000

Microbuses	9	2,75	1,1190000
Medianos	1	0,31	0,7700000
Grandes	14	4,28	3,1387000
Pequeños ejes simples	21	6,42	0,5298000
Medianos ejes simples	9	2,75	4,4894000
Grandes ejes tándem	23	7,03	4,3383000
Pesados ejes trídem	3	0,92	7,5807000
<b>T.P.D.A.</b>	<b>327</b>	<b>100%</b>	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Carapari”

**Tabla N°59: Índice de crecimiento**

Tipo de vehículo	Índice de crecimiento
Automóviles vagonetas jeeps	3,527
Camionetas minibuses	5,261
Microbuses	0,892
Medianos	5,218
Grandes	3,316
Pequeños ejes simples	18,831
Medianos ejes simples	18,831
Grandes ejes tándem	1,576
Pesados Ejes trídem	6,052

**Fuente:** Parque Automotor clasificado por clase y servicio (Tarija)

**Tabla N°60: Número de ejes equivalentes**

Tipo de vehículo	Periodo de diseño	
	10 años	20 años
Automóvil vagonetas jeeps	520	1199
Camioneta minibús	4012	10246
Microbús	42288	87091
Medianos	4039	10024
Grandes	208794	475906
Pequeños ejes simples	181597	786199
Medianos ejes tandem	444178	2855172
Grandes ejes tandem	433149	897686
Grandes ejes trídem	124617	333944
Ejes equivalentes	1443192	5457467
	1,44E+06	5,46E+06

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°61: Número de ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 y 20 años**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	1,44 E+06
Periodo de diseño 20 años	5,46 E+06

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°62: Resumen de los datos para el diseño de pavimento Rígido**

Serviciabilidad inicial	$P_O$	4,50
-------------------------	-------	------

Serviciabilidad Final	$P_t$	2,50
Perdida de serviciabilidad prevista en el diseño	$\Delta P = P_o - P_t$	
valor de $\Delta P = 2,20$		

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

**Tabla N°63: Resumen de los datos para el diseño de pavimento Rígido**

Módulo de ruptura del hormigón	$S'_C$	652,7000 Psi
Módulo de elasticidad del hormigón	$E_C$	3770981,000 Psi
Módulo efectivo de reacción de la sub rasante para CBR = 4.5 %	K	140,00 Pci
Nivel de confianza	R	80 %
Desviación estándar normal	$Z_R$	-0,842
Desviación estándar	$S_O$	0,350
Coefficiente de transferencia de carga	J	3,200
Coefficiente global de drenaje	$C_d$	1,100

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Campo Pajoso – Caraparí”

- **Diseño del pavimento rígido por el método ASSTHO-97**

La fórmula que permite el diseño de pavimentos rígidos, desarrollada por la AASHTO es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 7,35 \cdot \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1,65 \cdot 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot P_t) \cdot \log_{10} \left[ \frac{S'_C \cdot C_d (D^{0,75} - 1,13)}{215,63 \cdot J (D^{0,75} - 18,42)} \right]$$

Reemplazando los datos se obtiene:

### Esesor de la losa del pavimento rígido para vehículo tipo normal

Esesor de diseño calculado	D = 7,87 pulg	D = 200 mm
----------------------------	---------------	------------

## 3.5.-Dimensionamiento del pavimento con vehículo tipo bitren

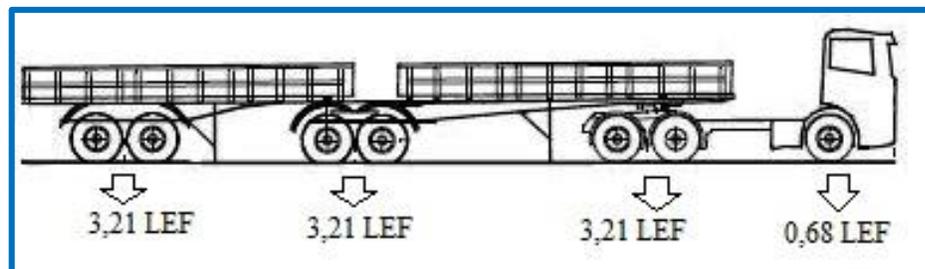
### 3.5.1.-Dimensionamiento del pavimento flexible

Calculo del número de ejes equivalentes  $W_{18}$ .-

#### Ejes equivalentes de bitren

- Considerando la máxima carga permitida por eje, los Factores de Carga Equivalentes para pavimentos según las diferentes configuraciones de los vehículos de mayor porte incluido el Bitren de 7 ejes, quedan como:

**Figura 46: Vehículo bitren con 7 ejes**



**Fuente:** Impactos bitren de estudio en las carreteras federales de Brasil

En la figura se observa el Factor Equivalente de Carga (LEF) del Bitren, nosotros vamos a adoptar el valor mayor.

**Tabla N°64: Factor de carga equivalente del bitren**

Factor de carga equivalente	
Bitren	3,21

**Fuente:** Impactos bitren de estudio en las carreteras federales de Brasil

**Tabla N°65: Resumen del análisis de tráfico vehicular**

**Sentido: Puente Jarcas – Piedra Larga**

Tipo de vehículo	Trafico promedio (TPD)	Porcentaje (%)	Factor carga equivalente
Automóvil jeep vagoneta	134	38,73	0,0004
Camioneta	54	15,61	0,0009
Minibús	2	0,58	0,0978
Buses microbús	2	0,58	0,1025
Buses medianos	16	4,62	0,9598
Buses grandes	20	5,78	1,4040
Bitren	118	34,10	3,2100
T.P.D.A.	346	100%	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N°66: Índice de crecimiento**

Tipos de vehículo	Índice de crecimiento
Automóvil jeep vagoneta	3,527
Camioneta	5,303

Minibús	5,218
Buses microbús	0,892
Buses medianos	5,218
Buses grandes	0,892
Bitren	6,052

**Fuente:** Elaboración Propia

Al igual que para el diseño de pavimento rígido utilizamos los mismos ejes equivalentes ya calculados anteriormente para los siguientes vehículos: Automóviles Vagonetas Jeeps, Camionetas, Minibús, Buses Microbús, Buses Medianos y Buses Grandes.

**Tabla N°67: Numero de ejes equivalentes de diseño**

Tipo de vehículo	Periodo de diseño	
	10 años	20 años
Automóvil vagonetas jeeps	257	594
Camioneta	249	649
minibús	998	2586
Buses microbús	862	1721
Buses medianos	78369	202996
Buses grandes	118049	235704
Bitren	1771673	4747689
Ejes equivalentes	1970457	5191939
	1,97 E+06	5,19 E+06

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla N°68: Numero de ejes equivalentes para un periodo de 10 y 20 años**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	1,97 E+06
Periodo de diseño 20 años	5,19 E+06

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°69: Resumen de datos para el dimensionamiento del pavimento flexible**

N° ejes equivalentes	$W_{18}$	5,190 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_O$	0,490	
Servicialidad inicial	$P_o$	4,200	
Servicialidad final	$P_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta PSI$	1,700	
Módulo resiliente ( $M_R$ )			
Subrasante terreno natural (CBR=18%)		12745,000 psi	

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial "Puente Jarcas- Pierda larga"

### Diseño del pavimento flexible por el método ASSTHO-97

- La fórmula que permite el diseño de pavimentos flexibles, desarrollada por la AASHTO es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_0 + 9,36 \cdot \log(SN+1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5,19}}} + 2,32 \cdot \log_{10} M_R - 8,07$$

### Numero estructural calculado SN

Numero estructural SN	3,70 pulg	93,98 mm
-----------------------	-----------	----------

**Tabla N°70: Resumen de los datos para Cálculo de  $D_1$** 

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	5,190 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_O$	0,490	
Servicialidad inicial	$p_o$	4,200	
Servicialidad final	$p_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta PSI$	1,700	
Módulo resiliente carpeta asfáltica	$M_{CA}$	23699,000 psi	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Número estructural calculado  $D_1$** 

Numero estructural $D_1$	2,900 pulg	73,66 mm
--------------------------	------------	----------

- Con los siguientes datos calculamos  $D_2$  utilizando la ecuación de AASTHO para pavimentos flexibles ya dicho anteriormente:

**Tabla N° 71: Resumen de los datos para cálculo de  $D_2$** 

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	5,190 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_O$	0,490	
Servicialidad inicial	$p_o$	4,200	
Servicialidad final	$p_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta PSI$	1,700	
Módulo resiliente de la capa base	$M_B$	700,000 psi	

**Fuente:** Diseño Final Asfaltado Tramo Vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### Número estructural calculado $D_2$

Número estructural $D_2$	9,200 pulg	233,680 mm
--------------------------	------------	------------

- Con los siguientes datos calculamos  $D_3$  utilizando la ecuación de AASTHO para pavimentos flexibles ya dicho anteriormente:

**Tabla N°72: Resumen de los datos para cálculo de  $D_3$**

N° Ejes equivalentes	$W_{18}$	5,190 E+06	
Confiabilidad	R	85%	$Z_R = -1,037$
Desviación estándar	$S_O$	0,490	
Servicialidad inicial	$p_o$	4,200	
Servicialidad final	$p_t$	2,500	
Índice de calidad de servicio	$\Delta PSI$	1,700	
Módulo resiliente capa subbase	$M_{SB}$	317,000 psi	

**Fuente:** Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### Número estructural calculado $D_3$

Número estructural $D_3$	11,50 pulg	292,10 mm
--------------------------	------------	-----------

**Tabla N°73: Análisis del número estructural calculado:**

numero estructural $D_1$	2,900 pulg	73,660 mm
--------------------------	------------	-----------

numero estructural	$D_2$	9,200 pulg	233,680 mm
numero estructural	$D_3$	11,500 pulg	292,100 mm

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Tabla N°74: Coeficientes estructurales**

Coefficiente estructural capa rodadura	$a_1$	0,430
Coefficiente estructural para la capa base	$a_2$	0,133
Coefficiente estructural para la capa sub-base	$a_3$	0,120

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

**Tabla N° 75: Coeficientes de drenaje “ $m_i$ ”**

Base granular	$m_1$	1
Subbase granular	$m_2$	1
Subrasante mejorada	$m_3$	1

Fuente: Diseño final asfaltado tramo vial “Puente Jarcas– Pierda larga”

### Número estructural

$$SN_i = D_i \cdot a_i$$

$$D_1 = 73,66 \cdot 0,43 = 31,67 \quad \longrightarrow \quad 32,000 \text{ mm}$$

**Tabla N°76: Análisis del número estructural**

	Coefficiente estructural	Coefficiente de drenaje	espesor	Número Estructural
Carpeta asfáltica	0,430	1,000	73,660	31,67
Capa base	0,133	1,000	233,680	31,08
Capa subbase	0,120	1,000	292,100	35,05
			$\Sigma$ sumatoria	97,805mm

Fuente: Elaboración propia

$97,805 \text{ mm} \geq 93,800 \text{ mm}$
$98,000 \geq 94,000$

**Tabla N°77: Espesores del pavimento flexible con vehículo tipo bitren**

Carpeta asfáltica	7 cm
Capa base	23 cm
Capa subbase	29 cm

Fuente: Elaboración propia

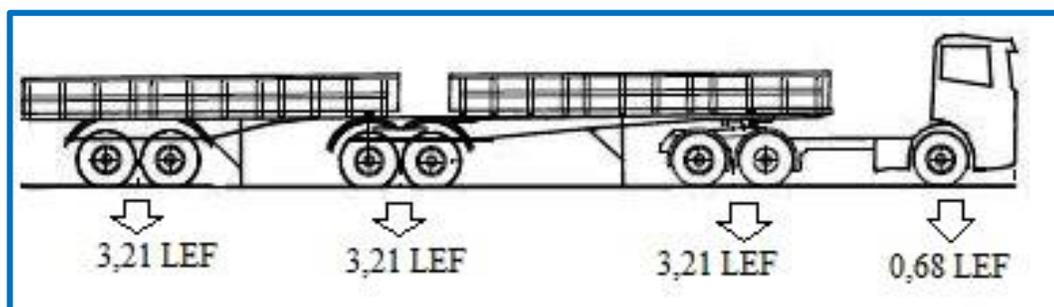
### 3.5.2.-Dimensionamiento del pavimento rígido

Calculo del número de ejes equivalentes  $W_{18}$ .-

#### Ejes equivalentes del bitren

Considerando la máxima carga permitida por eje, los Factores de Carga Equivalentes para pavimentos según las diferentes configuraciones de los vehículos de mayor porte incluido el Bitren de 7 ejes, quedan como:

**Figura 47: Vehículo bitren con 7 ejes**



Fuente: Impactos Bitren de estudio en las carreteras Federales de Brasil

De igual manera para el diseño de pavimentos rígido trabajaremos con el mayor valor de ejes equivalentes del bitren que es 3,21 LEF

**Tabla N°78: Factor carga equivalente de bitren**

Factor Carga Equivalente
--------------------------

Bitren	3,21
--------	------

Fuente: Impactos Bitren de estudio en las carreteras Federales de Brasil

**Tabla N°79: Resumen del análisis de tráfico vehicular**

**Sentido: Campo Pajoso- Caraparí**

Tipo de vehículo	Trafico promedio (TPD)	Porcentaje (%)	Factor carga equivalente
Automóviles vagonetas jeeps	141	43,12	0,0007672
Camionetas minibuses	106	32,42	0,0072
Microbuses	9	2,75	1,1190
Medianos	1	0,31	0,7700
Grandes	14	4,28	3,1387
Bitren	56	17,13	3,21
T.P.D.A.	327	100%	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°80: Índice de crecimiento**

Tipo de vehículo	Índice de crecimiento
Automóviles vagonetas jeeps	3,527
Camionetas minibuses	5,261
Microbuses	0,892
Medianos	5,218
Grandes	3,316

Bitren	18,831
--------	--------

Fuente: Elaboración Propia

Utilizamos los mismos ejes equivalentes ya calculados anteriormente para los siguientes vehículos: automóviles vagonetas jeeps, camionetas minibuses, microbuses, medianos y grandes.

**Tabla N°81: Numero de ejes equivalentes de diseño**

Tipo de vehículo	Periodo de diseño	
	10 años	20 años
Automóvil vagonetas jeeps	520	1199
Camioneta minibús	4012	10246
Microbús	42288	87091
Medianos	4039	10024
Grandes	208794	475906
Bitren	1976127	12702378
Ejes equivalentes	2047858	13549848
	2,05 E+06	1,35 E+07

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°82: Numero de ejes equivalentes para un periodo de 10 y 20 años**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	2,05 E +06
Periodo de diseño 20 años	1,35 E +07

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°83: Resumen de datos para el dimensionamiento del pavimento rígido**

Serviciabilidad inicial	$P_0$	4,5
-------------------------	-------	-----

Serviciabilidad Final	$P_t$	2,5
Perdida de Servicios prevista en el diseño	$\Delta P = P_o - P_t$	
valor de $\Delta P = 2,2$		

Fuente: Diseño Final Asfaltado Tramo Vial "Campo Pajoso – Caraparí"

**Tabla N°84: Resumen de datos para el dimensionamiento del pavimento rígido**

Módulo de ruptura del hormigón	$S'_C$	652,700 Psi
Módulo de elasticidad del hormigón	$E_C$	3770981,000 Psi
Módulo efectivo de reacción de la sub rasante Para CBR = 4.5 %	K	140,000 Pci
Nivel de confianza	R	80 %
Desviación estándar normal	$Z_R$	-0,841
Desviación estándar	$S_o$	0,350
Coefficiente de transferencia de carga	J	3.200
Coefficiente global de drenaje	$C_d$	1,100

Fuente: Diseño Final Asfaltado Tramo Vial "Campo Pajoso – Caraparí"

### Diseño del pavimento rígido por el método ASSTHO-97

La fórmula que permite el diseño de pavimentos rígidos, desarrollada por la AASHTO es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \cdot S_o + 7,35 \cdot \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,2-1,5} \right]}{0,40 + \frac{1,65 \cdot 10^7}{(D+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot P_t) \cdot \log_{10} \left[ \frac{S'_C \cdot C_d (D^{0,75} - 1,13)}{215,63 \cdot J (D^{0,75} - 18,42)} \right]$$

Remplazando los datos se obtiene:

**Espesor de la losa del pavimento rígido con vehículo tipo bitren**

Espesor de diseño	D = 9,50 pulg	D = 241 mm
-------------------	---------------	------------

**3.6.-Resultados de los dimensionamientos con y sin Bitren**

**Tabla N°85: Dimensiones de pavimento flexible con vehículo tipo normal**

Carpeta asfáltica	6 cm
Capa base	20 cm
Capa subbase	25 cm

Fuente: Elaboración propia

**Dimensiones de pavimento rígido con vehículo tipo normal**

Espesor de diseño calculado	D = 200 mm
-----------------------------	------------

**Tabla N°86: Dimensiones de pavimento flexible con vehículo tipo Bitren**

Carpeta asfáltica	7 cm
Capa base	23cm
Capa subbase	29cm

Fuente: Elaboración propia

**Dimensiones de pavimento rígido con vehículo tipo Bitren**

Espesor de diseño	D = 241 mm
-------------------	------------

- Los espesores para el pavimento flexible, los valores siempre tiene que tener mayor espesor en la capa inferior por que los costos son mucho más elevados hacia las capas superiores.

### 3.7.-Cálculo para los años de soporte de pavimento actual con presencia de vehículo bitren

#### Para pavimento flexible

Como ya se describió anteriormente se realizó el cálculo de ejes equivalentes para un tráfico normal para el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga.

**Tabla N°87: Número de ejes equivalentes**

Tipo de vehículo	Periodo de diseño	
	10 años	20 años
Automóvil vagonetas jeeps	257	594
Camioneta	249	649
Minibús	998	2586
Buses microbús	862	1721
Buses medianos	78369	202996
Buses grandes	118049	235704
Camiones medianos	13531	27408
Camiones 2 ejes	105468	213642
Camiones 3 ejes	72367	146592
Camiones con semirremolque	36908	100955
Camión con remolque	133970	366450
Ejes equivalentes	561028	1299297
	5,61 E+05	1,30 E+06

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N°88: Número de ejes equivalentes para un periodo de 10 y 20 años**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	5,61 E+05
Periodo de diseño 20 años	1,30 E+06

Fuente: Elaboración propia

Haciendo los respectivos cálculos con los datos ya obtenidos para el diseño de pavimento flexible obtuvimos los siguientes resultados de espesores:

**Tabla N°89: Espesores del pavimento flexible para vehículo tipo normal**

Carpeta asfáltica	6 cm
Capa base	20 cm
Capa subbase	25 cm

Fuente: Elaboración propia

Ahora se realizara el cálculo de número de ejes equivalentes de cuantos vehículos bitrenes se podrá aceptar para que nos dé el mismo número de ejes equivalentes así podrán soportar los espesores de pavimento flexible.

**Tabla N°90: Datos de tráfico para vehículo bitren**

Sentido	TPDA	Índice de crecimiento	Factor carga equivalente
Puente Jarcas – Piedra Larga	32	6,052	3,21

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°91: Cálculo de número de ejes equivalentes**

Año	Periodo	Factor de crecimiento	Ejes equivalentes
2018	0	1,00	32003,20
2019	1	1,06	33940,03
2020	2	1,12	35994,08
2021	3	1,19	38172,45
2022	4	1,26	40482,64
2023	5	1,34	42932,65
2024	6	1,42	45530,94
2025	7	1,51	48286,47

2026	8	1,60	51208,77
2027	9	1,70	54307,92
2028	10	1,80	57594,64
2029	11	1,91	61080,26
2030	12	2,02	64776,84
2031	13	2,15	68697,14
2032	14	2,28	72854,69
2033	15	2,41	77263,85
2034	16	2,56	81939,86
2035	17	2,72	86898,86
2036	18	2,88	92157,98
2037	19	3,05	97735,38
2038	20	3,24	103650,33

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°92: Numero de ejes equivalentes de bitrenes**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	480454
	4,80 E+05
Periodo de diseño 20 años	128750
	1,30 E+06

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto el pavimento flexible actual del tramo Puente Jarcas - Piedra Larga para un periodo de 20 años podrá soportar 32 vehículos bitrenes.

- Como también se realizara el mismo procedimiento calculando el número de ejes equivalentes de vehículos bitrenes para el tramo Campo Pajoso – Carapari para que así su pavimento actual que cantidad de bitrenes podría soportar. Sabiendo que la cantidad de ejes equivalentes para vehículos normales son los siguientes:

**Tabla N°93: Número de ejes equivalentes**

Tipo de vehículo	Periodo de diseño	
	10 años	20 años

Automóvil vagonetas jeeps	520	1199
Camioneta minibús	4012	10246
Microbús	42288	87091
Medianos	4039	10024
Grandes	208794	475906
Pequeños ejes simples	181597	786199
Medianos ejes tandem	444178	2855172
Grandes ejes tandem	433149	897686
Grandes ejes trídem	124617	333944
Ejes equivalentes	1443192	5457467
	1,44E+06	5,46E+06

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°94: Número de ejes equivalentes**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	1,44 E+06
Periodo de diseño 20 años	5,46 E+06

Fuente: Elaboración propia

Haciendo los cálculos respectivos se obtuvo un espesor de losa de pavimento rígido para vehículos tipo normal.

Espesor de diseño calculado	D = 7,87 pulg	D = 200 mm
-----------------------------	---------------	------------

Ahora se realizara el cálculo de número de ejes equivalentes de cuantos vehículos bitrenes se podrá aceptar para que nos dé el mismo número de ejes equivalentes así podrán soportar el espesor de pavimento rígido.

**Tabla N°95: Datos de tráfico para vehículo bitren**

Sentido	TPDA	Índice de crecimiento	Factor carga equivalente
Campo Pajoso-Carapari	24	18,831	3,21

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°96: Cálculo de número de ejes equivalentes**

Año	Periodo	Factor de crecimiento	Ejes equivalentes
2018	0	1,00	28119,60
2019	1	1,19	33414,80
2020	2	1,41	39707,14
2021	3	1,68	47184,40
2022	4	1,99	56069,69
2023	5	2,37	66628,17
2024	6	2,82	79174,92
2025	7	3,35	94084,35
2026	8	3,98	111801,38
2027	9	4,72	132854,69
2028	10	5,61	157872,56
2029	11	6,67	187601,54
2030	12	7,93	222928,79
2031	13	9,42	264908,51
2032	14	11,19	314793,43
2033	15	13,30	374072,19
2034	16	15,81	444513,72
2035	17	18,78	528220,10
2036	18	22,32	627689,22
2037	19	26,53	745889,38
2038	20	31,52	886347,81

Fuente: Elaboración propia

Haciendo la suma respectiva para un periodo de 10 y 20 años se obtendrá los siguientes valores.

**Tabla N°97: Numero de ejes equivalentes de bitrenes**

Número de ejes equivalentes de diseño $W_{18}$	
Periodo de diseño 10 años	846912
	8,57 E+05

Periodo de diseño 20 años	5445876
	5,45 E+06

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto el pavimento rígido actual del tramo Campo Pajoso- Carapari para un periodo de 20 años podrá soportar la circulación de 24 vehículos bitrenes

### 3.8.-Análisis de resultados

#### Para el diseño de pavimento flexible con y sin vehículo Bitren

A continuación en las siguientes gráficas veremos los ejes equivalentes para vehículo tipo normal y con vehículo tipo Bitren para el pavimento flexible del tramo Puente Jarcas – Piedra Larga

Para un periodo de 20 años con los siguientes datos.

**Tabla N°98: Ejes equivalentes: Puente Jarcas -Piedra Larga con vehículo tipo normal**

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes
Automóvil vagonetas jeeps	594
Camioneta	649
Minibús	2586
Buses microbús	1721
Buses medianos	202996
Buses grandes	235704
Camiones medianos	27408
Camiones 2 ejes	213642
Camiones 3 ejes	146592
Camiones con semirremolque	100955
Camión con remolque	366450

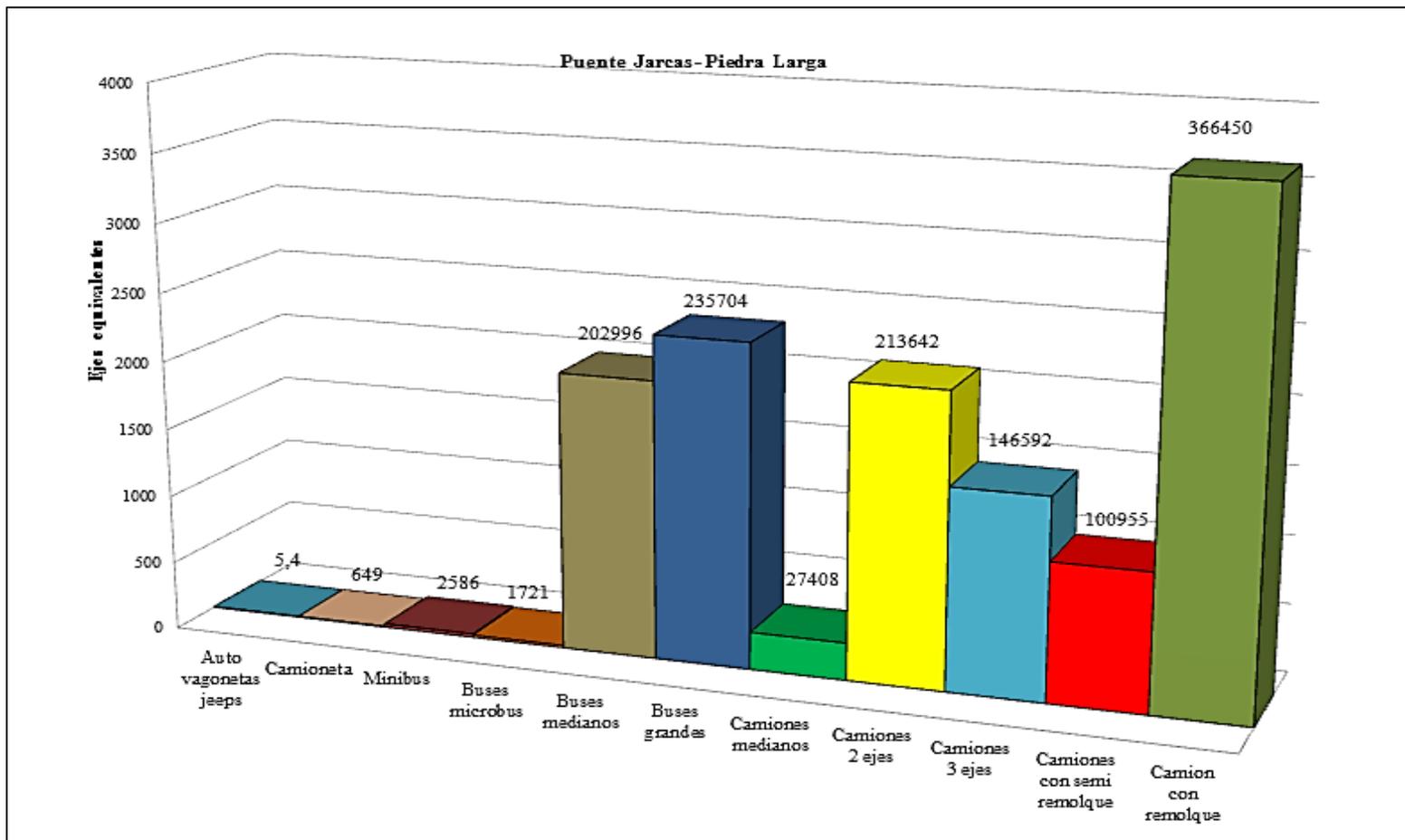
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° 99: Ejes equivalentes Puente Jarcas - Piedra Larga con vehículo tipo bitren**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes
Automóvil vagonetas jeeps	594
Camioneta	649
Minibús	2586
Buses microbús	1721
Buses medianos	202996
Buses grandes	235704
Bitren	4747689

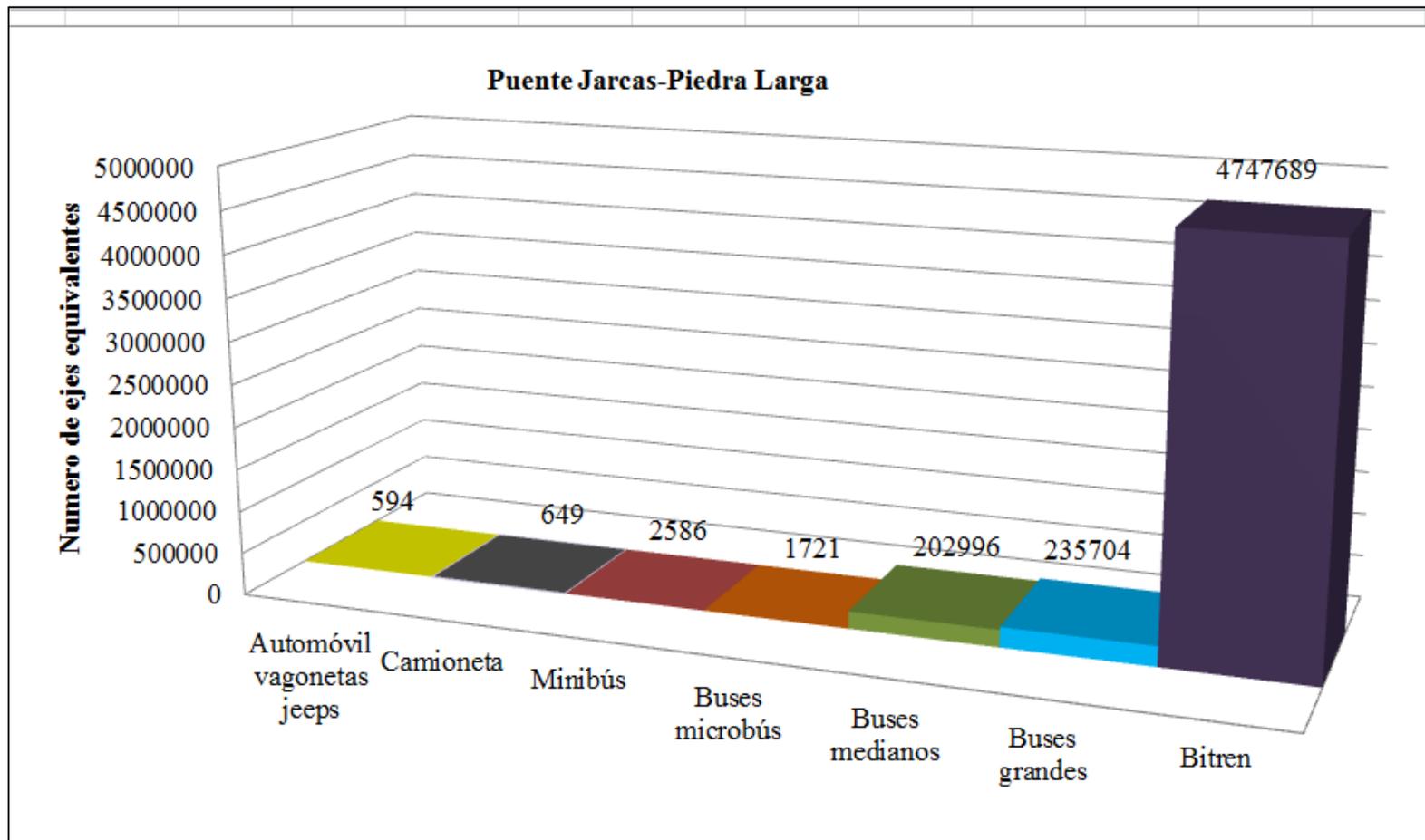
**Fuente:** Elaboración Propia

Gráfica N° 4: Ejes equivalentes con vehículo tipo normal



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica N° 5: Ejes equivalentes con vehículo tipo bitren



Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica N°4, para el diseño de pavimento flexible para un periodo de 20 años el camión con remolque tiene una cantidad de 36645 Número de ejes equivalentes que se presenta en la gráfica. Esto es debido a que el Camión con remolque tiene un valor de factor de carga equivalente = 2,2961 LEF que está en función a su peso, como también influye mucho su índice de crecimiento  $IC=2,2961$ .

- A continuación se observa la diferencia de ejes equivalentes expresados en porcentaje del Camión con Remolque a comparación de los demás vehículos que tienen también según la gráfica gran cantidad de número de ejes equivalentes para un diseño de pavimento flexible con vehículo tipo normal:

**Tabla N°100: Diferencia de ejes equivalentes en %**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Camión con remolque	366450	33,74
Camiones con 2 ejes	213642	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°101: Diferencia de ejes equivalentes en %**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Camión con remolque	366450	64,32
Buses grandes	235704	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°102: Diferencia de ejes equivalentes en %**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Camión con remolque	366450	55,39
Buses Medianos	202996	

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°103: Diferencia de ejes equivalentes en %**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
------------------	----------------------	-------------------

Camión con remolque	366450	40,01
Camiones con 3 ejes	146592	

**Fuente:** Elaboración Propia

Como se observa la diferencia de número de ejes equivalentes expresados en porcentaje es muy considerable del camión con remolque a comparación con los demás vehículos.

- En la gráfica N°5, se observa una cantidad máxima de 4747689 ESALs que corresponde al vehículo Bitren ya que tanto el T.P.D. de los vehículos Camiones medianos, Camiones con dos ejes, Camiones con tres ejes, Camiones Remolque y Camiones Semirremolque asumimos que toda esa cantidad de vehículos serán Bitrenes y utilizamos un factor de carga equivalente correspondiente a este tipo de vehículo que es 3,21 LEF porque es en la parte del vehículo donde ejerce mayor peso por eje al pavimento como también es mucho mayor a comparación de los demás vehículos y así su índice de crecimiento que tiene un valor de  $IC = 6,052$  y esto también tiende a que aumente el número de ejes equivalentes.

**Tabla N°104: Factores de diseño para el vehículo bitren**

Tipo de vehículo	Factor carga equivalente	Índice de crecimiento
Bitren	3,21	6,052

**Fuente:** Elaboración propia

Ahora veremos la comparación de ejes equivalentes expresados en porcentaje del Bitren con otro tipo de vehículo:

**Tabla N°105: Diferencia de ejes equivalentes en %**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Bitren	4747689	4,96
Grandes buses	235704	

**Fuente:** Elaboración propia

La diferencia en porcentaje es muy considerable del número de ejes del vehículo tipo Bitren a comparación de los Grandes Buses.

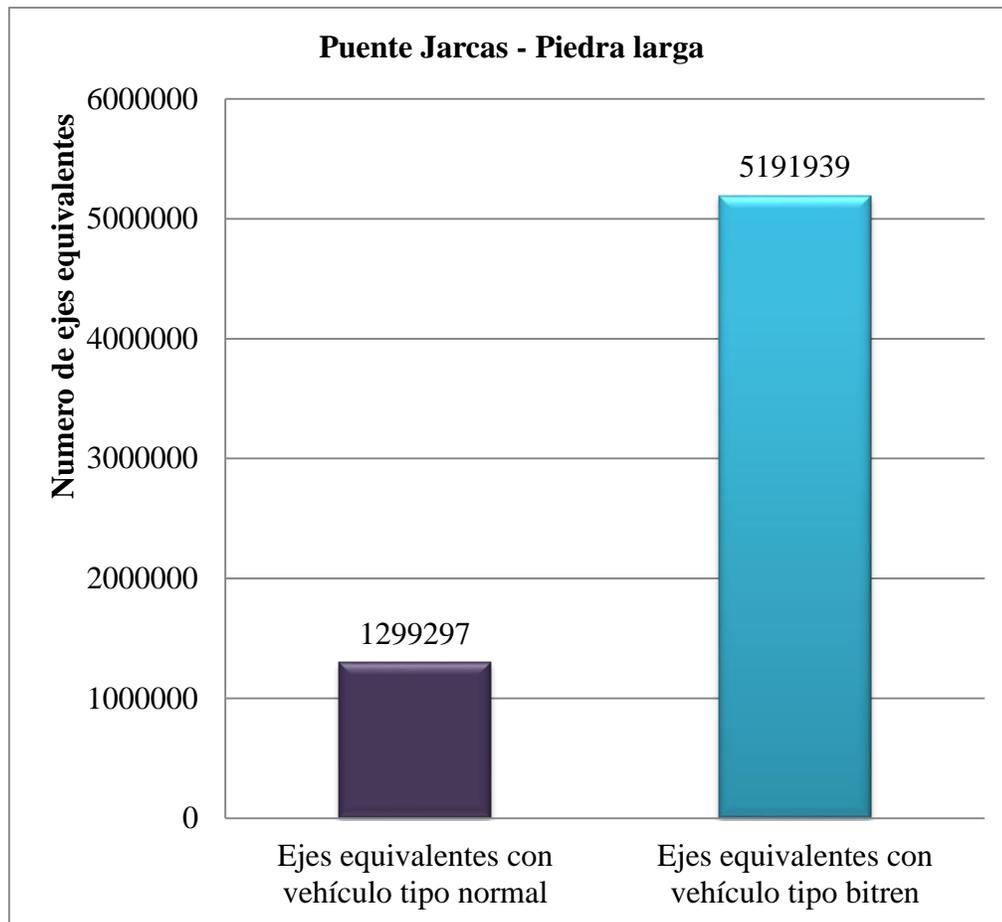
- A continuación observaremos la diferencia del total de ejes equivalentes con tráfico tipo normal y con tráfico con vehículo tipo Bitren tanto para el diseño de pavimentos flexible, para el tramo Puente Jarcas- Piedra Larga tenemos los siguientes ejes equivalentes con periodo de diseño para 20 años:

**Tabla N°106: Numero de ejes equivalentes con y sin vehículo bitren**

Ejes equivalentes $W_{18}$	
Tráfico normal	1299297
	1,30 E+06
Tráfico con vehículo bitren	5191939
	5,19 E+06

**Fuente:** Elaboración propia

**Grafica N°6: Diferencia de ejes equivalentes con y sin vehículo bitren**



**Fuente:** Elaboración propia

En la gráfica N°6 se puede observar el aumento de ejes equivalentes con el vehículo tipo bitren a comparación del número de ejes equivalentes con vehículo tipo normal

Esto es porque influye mucho factor de carga equivalente del bitren que tiene un valor de 3,21LEF y su índice de crecimiento IC=6,052 ya que hizo que aumentara la cantidad del número ejes equivalentes, que como bien sabemos que a mayor cantidad de ejes equivalentes el espesor del pavimento asfáltico aumentará.

En la gráfica existe una diferencia de número de ejes equivalentes igual a 3892642 ESALs ya que es una diferencia muy considerable que hay que tomar en cuenta.

A continuación observaremos una diferencia de número ejes equivalentes expresados en porcentajes con y sin vehículo Bitren.

**Tabla N°107: Diferencia de ejes equivalentes con y sin vehículo bitren expresadas en %**

Tipo de tráfico	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Con vehículo tipo normal	1299297	24,99
Con vehículo tipo bitren	5191939	

**Fuente:** Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior la diferencia de número de ejes equivalentes expresadas en porcentaje es igual a 24,99% ya que en porcentaje es casi la cuarta parte del 100%.

A continuación veremos los ejes equivalentes expresadas en la gráfica para un periodo de 20 años para el tramo Campo Pajoso – Caraparí para el diseño de pavimento rígido con vehículo tipo normal y para vehículo tipo Bitren.

**Tabla N° 108: Ejes equivalentes para vehículo tipo normal para el tramo Campo Pajoso – Caraparí**

Tipo de vehículo	Ejes equivalentes
Automóvil vagonetas jeeps	1199
Camioneta minibús	10246
Microbús	87091

Medianos	10024
Grandes	475906
Pequeños ejes simples	786199
Medianos ejes tandem	2855172
Grandes ejes tandem	897686
Grandes ejes trídem	333944

**Fuente:** elaboración propia

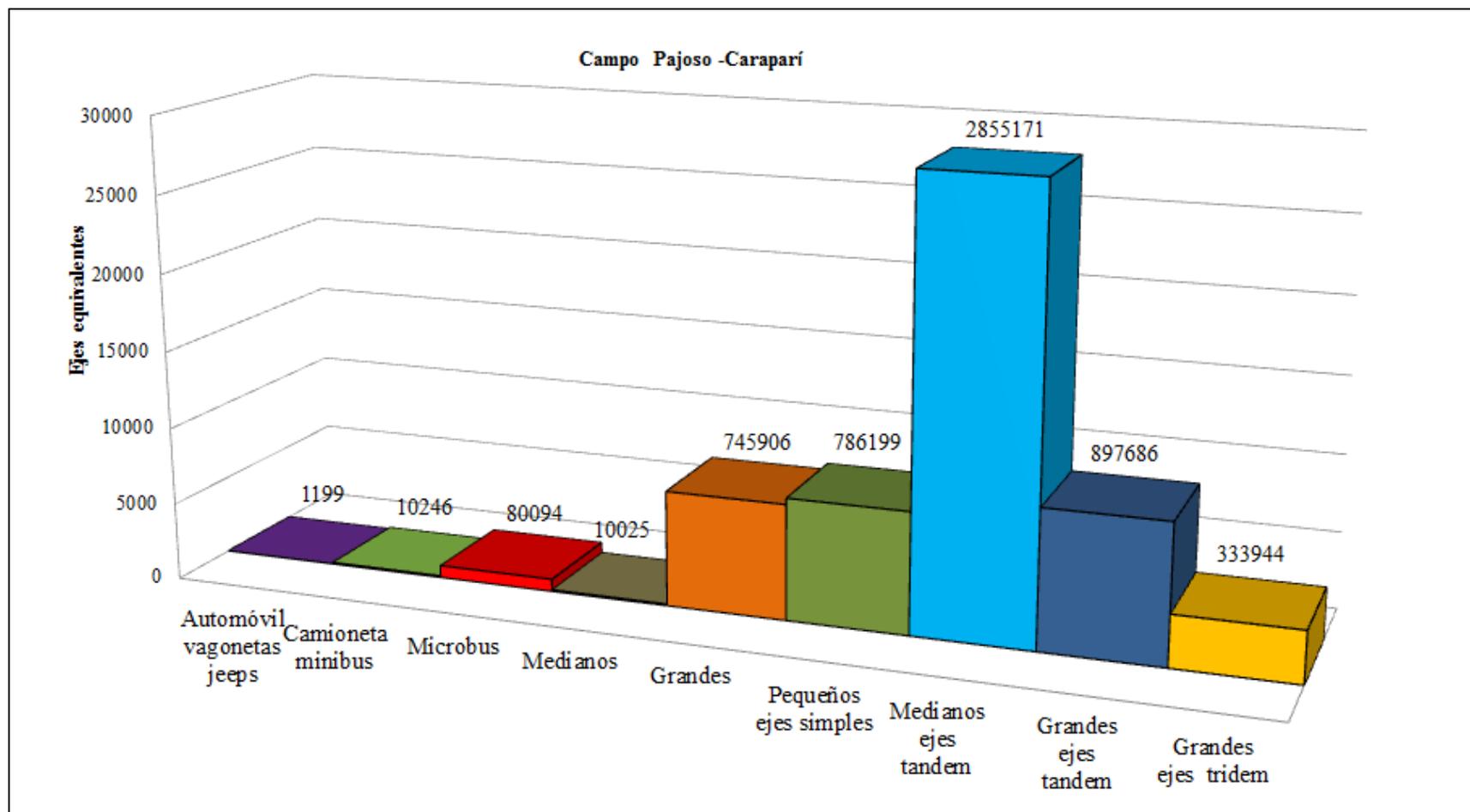
**Tabla N° 109: Ejes equivalentes para vehículo tipo bitren para el tramo (Campo Pajoso - Caraparí)**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes
Automóvil vagonetas jeeps	1199
Camioneta minibús	10246
Microbús	80094
Medianos	10025
Grandes	745906
Bitren	12702378

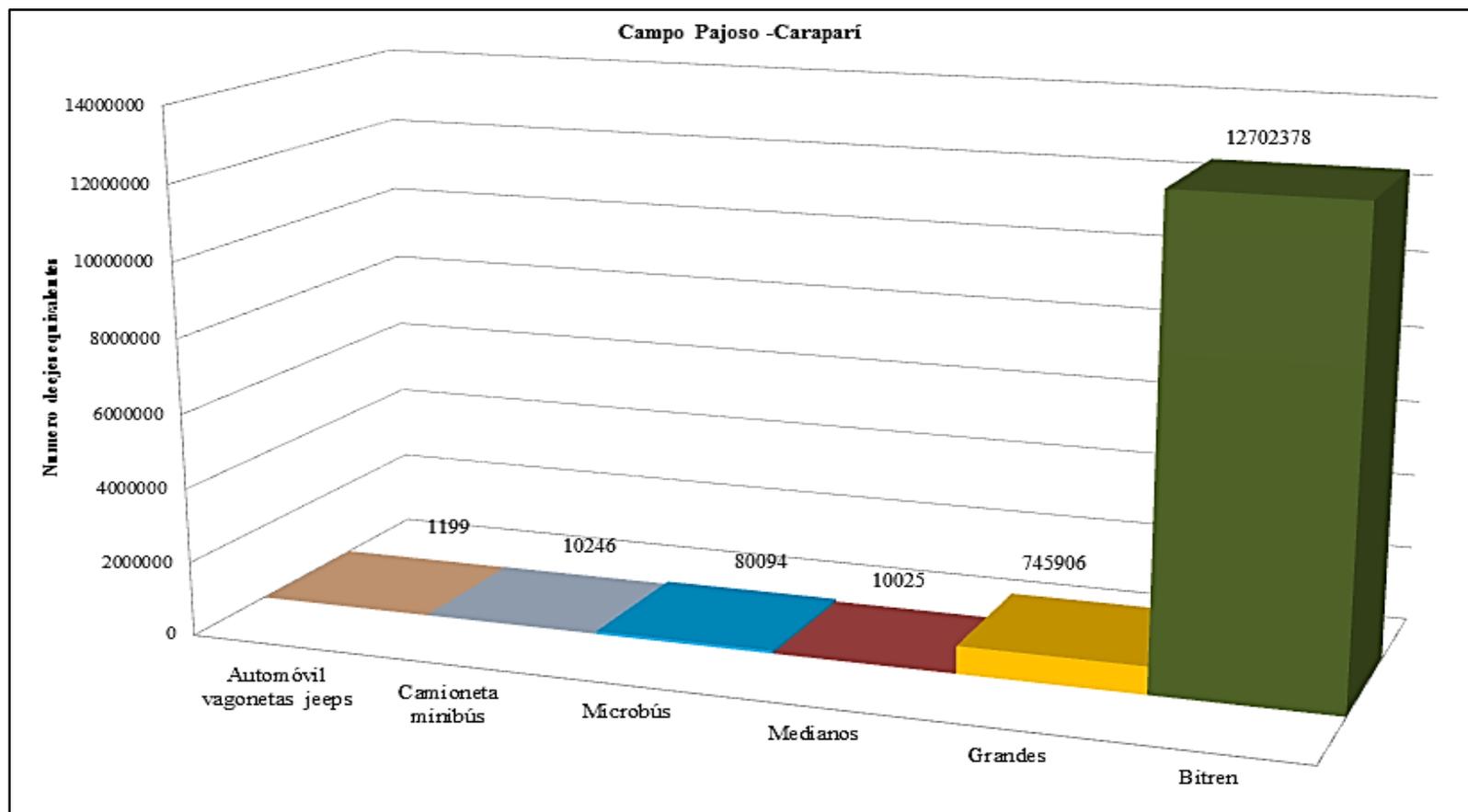
**Fuente:** Elaboración Propia

Con los valores de ejes equivalentes ya calculados anteriormente obtenemos la siguiente grafica tanto para vehículo tipo normal y para vehículo tipo bitren.

**Grafica N°7: Ejes equivalentes para vehículo tipo normal**



**Fuente:** Elaboración Propia

**Grafica N°8: Ejes equivalentes con vehículo tipo bitren**

**Fuente:** Elaboración Propia

En la gráfica N°7 se observa que los vehículos Medianos Ejes Tandem tienen mayor cantidad de número de ejes equivalentes.

**Tabla N°110: Factores de diseño para vehículo bitren**

Tipo de vehículo	Factor carga equivalente	Índice de crecimiento
vehículos ejes tandem	4,4894	18,831

**Fuente:** Elaboración propia

Los vehículos Ejes Tándem con un Numero de Ejes equivalentes = 2855171 ESALs esto debido a su factor de carga equivalente que tiene un valor de 4,4894 LEF, es porque influye su índice de crecimiento IC=18,831, como también su estudio de trafico promedio diario en base a esos factores tendría un valor mayor a comparación de los demás vehículos.

A continuación veremos la variación de ejes equivalentes expresados en porcentaje comprando el vehículo medianos ejes tándem con los demás vehículos.

**Tabla N°111: Diferencia de ejes equivalentes en (%)**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Medianos ejes tandem	2855171	31,44
Grandes ejes tandem	897686	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N°112: Diferencia de ejes equivalentes en (%)**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Medianos ejes tandem	2855171	27,54
Pequeños ejes simples	786199	

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla N°113: Diferencia de ejes equivalentes en (%)**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
------------------	----------------------	-------------------

Medianos ejes tandem	2855171	26,12
Grandes	745906	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N°114: Diferencia de ejes equivalentes en (%)**

Tipo de vehículo	N° ejes equivalentes	Diferencia en (%)
Medianos ejes tandem	2855171	11,70
Grandes ejes trídem	333944	

Fuente: Elaboración propia

Se observa en las tablas anteriores una diferencia expresadas en porcentaje de número de ejes equivalentes del vehículo medianos ejes tándem a comparación con los demás vehículos para un diseño de pavimento rígido con vehículo tipo normal.

- Como también en la gráfica N° 8 se observa una cantidad máxima de Numero de ejes equivalentes 12702378 ESALs para un diseño de pavimento rígido con vehículo tipo Bitren ya que su T.P.D. de los vehículos medianos ejes tandem, grandes ejes tandem, grandes ejes trídem, asumimos que toda esa cantidad de vehículos serán bitrenes y así se pudo calcular el número de ejes equivalentes y con su respectivo factor de carga equivalente del bitren que tiene un valor de 3,21 LEF y su índice de crecimiento tiene un valor alto IC=18,83 estos factores corresponden al Bitren e hicieron que el número de ejes equivalentes aumentara como se verá más adelante en una gráfica la diferencia de ejes equivalentes con y sin Bitren.

**Tabla N°115: Factores de diseño para vehículo bitren**

Tipo de vehículo	Factor carga equivalente	Índice de crecimiento
Bitren	3,21	18,831

Fuente: Elaboración propia

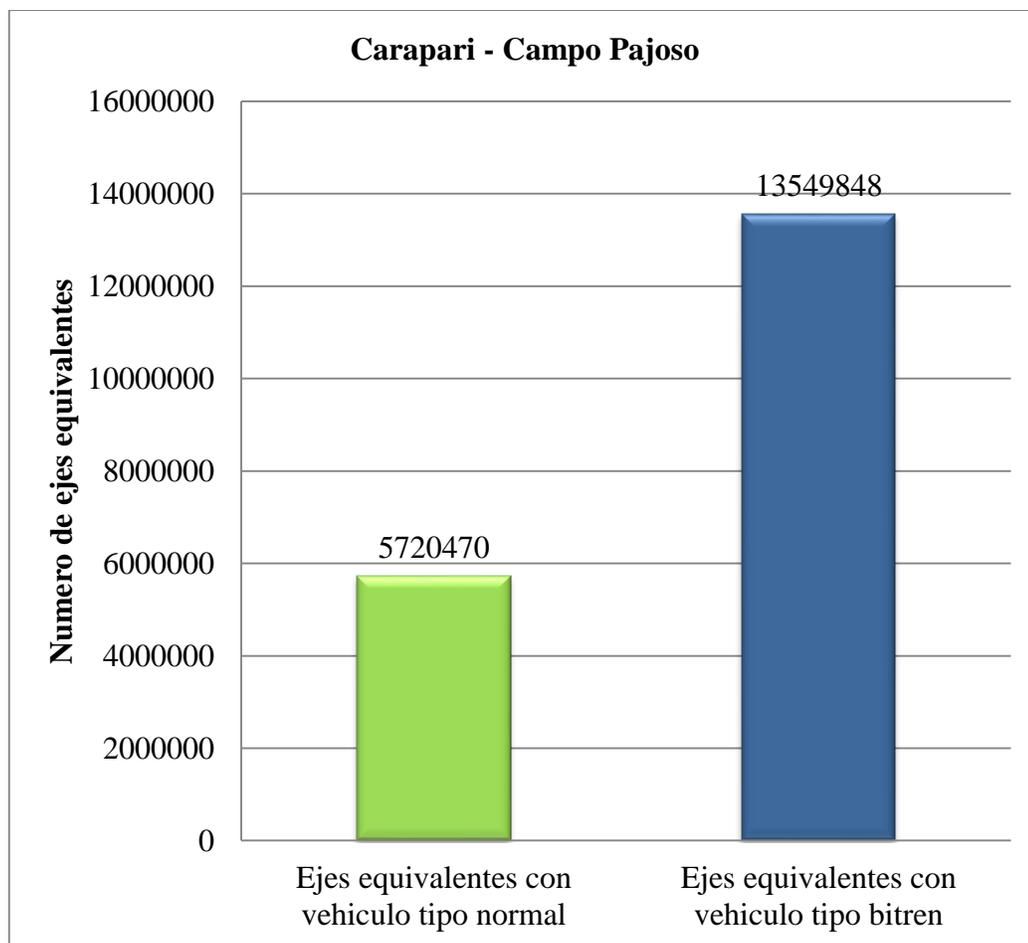
- A continuación observaremos la diferencia del total de ejes equivalentes con tráfico tipo normal y con tráfico con vehículo tipo bitren tanto para el diseño de pavimento rígido.
- En la siguiente grafica observaremos con los siguientes datos la diferencia de ejes equivalentes con y sin vehículo bitren en el diseño de pavimento rígido en el tramo Campo Pajoso – Carapari con periodo de diseño para 20 años.

**Tabla N°116: Número de ejes equivalentes con y sin vehículo bitren**

Ejes equivalentes $W_{18}$	
Trafico normal	5457467 5,46 E+06
Trafico con vehículo Bitren	13549848 1,35 E+07

Fuente: Elaboración propia

**Grafica N°9: Diferencia de ejes equivalentes con y sin vehículo bitren**



**Fuente:** Elaboración Propia

De igual manera se observa en la gráfica N°9 el aumento de ejes equivalentes con el vehículo tipo bitren, esto por su factor de carga equivalente con un valor de 3,21 LEF y su índice de crecimiento  $IC = 18,831$  hace que aumenten la cantidad de ejes equivalentes, como también veremos la diferencia de numero de ejes equivalentes expresadas en porcentaje:

**Tabla N°117:Diferencia de número de ejes equivalentes en (%)**

Tipo de trafico	N° ejes equivalentes	Diferencia (%)
Con vehículo tipo normal	5720470	42,21
Con vehículo tipo bitren	13549848	

Fuente: Elaboración Propia

- A continuación observaremos la gráfica para la diferencia de espesores para el diseño de pavimento flexible con y sin vehículo bitren con los siguientes datos.

**Tabla N°118: Espesores del pavimento flexible para vehículo tipo normal:**

Carpeta asfáltica	6 cm
Capa base	20 cm
Capa subbase	25 cm

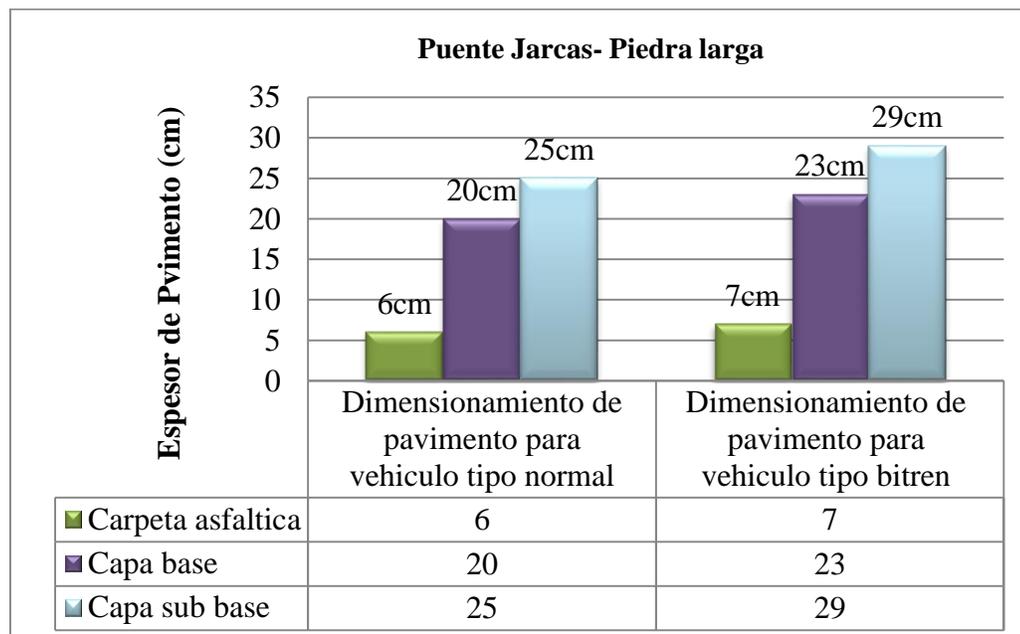
Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N°119: Espesores del pavimento flexible con vehículo tipo Bitren.**

Carpeta asfáltica	7 cm
Capa base	23cm
Capa subbase	29cm

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfica N°10: Diferencia de espesores con y sin vehículo bitren**



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en las gráfica los espesores, tanto de la carpeta asfáltica, capa base y capa subbase, para el diseño de pavimento flexible con vehículo tipo bitren son mayores a los esos espesores para vehículo tipo normal, esto es porque el factor de carga equivalentes para el bitren hizo aumentar la cantidad de numero de ejes equivalentes y por lo tanto los espesores de las capas del pavimento flexible también aumentan, la diferencia total es de 8 cm de todo el espesor del pavimento asfaltico.

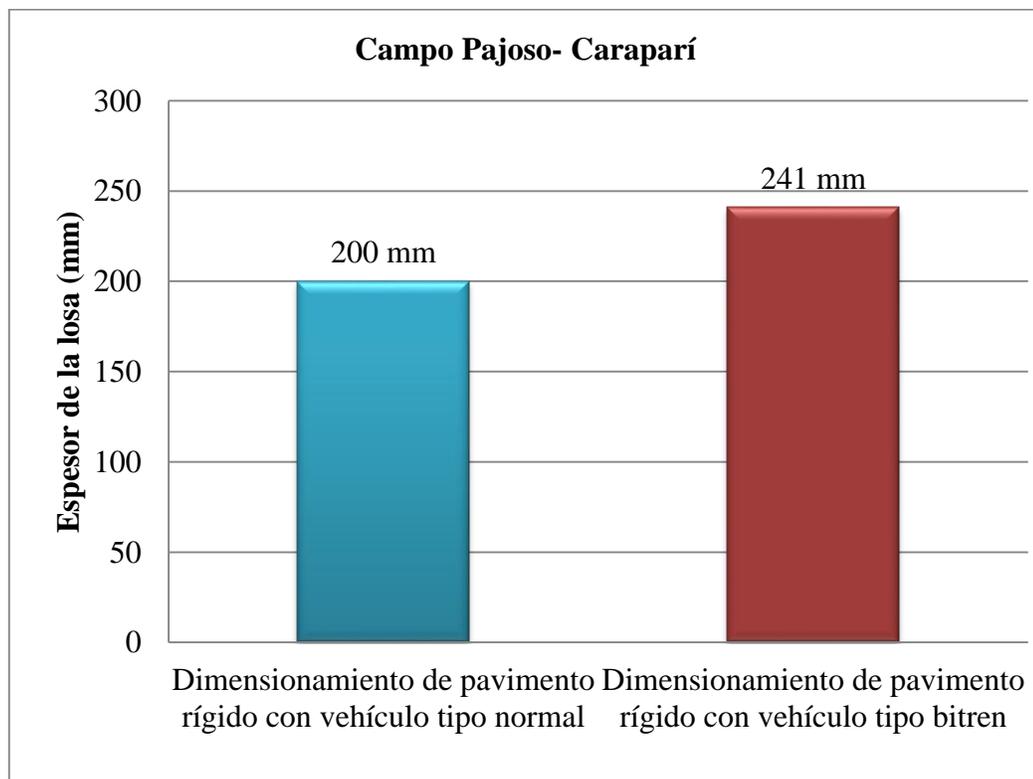
- Y por último veremos la gráfica de espesores de la losa para el diseño de pavimento rígido con y sin vehículo bitren con los siguientes datos:

**Tabla N°120: Espesor del pavimento rígido con y sin vehículo bitren**

Espesor de la losa	
Pavimento rígido	200 mm
Pavimento rígido con vehículo bitren	241 mm

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfica N°11: Variación de la losa con y sin vehículo bitren**



**Fuente:** Elaboración Propia

Al igual que para el pavimento flexible, para pavimento rígido aumenta el espesor, para un dimensionamiento de la losa en pavimento rígido para un vehículo tipo bitren la diferencia de espesor de pavimento con y sin vehículo bitren es  $D = 41\text{mm}$  esto es porque el espesor de los pavimentos esta en proporción del número de ejes equivalentes de los vehículos, mientras el número de ejes equivalentes tienda a mayor por lo tanto los espesores de los pavimentos también serán aumentaran, en nuestro caso la cantidad de ejes equivalentes con vehículo tipo bitren es mayor y por lo tanto el espesor del pavimento rígido (espesor de la losa) aumentara.

## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1.- Conclusiones

- Se logró verificar la incidencia que existe en el tipo de vehículo Bitren en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos de carreteras en corredores bioceánicos eligiendo los tramos Puente Jarcas -Piedra Larga y Campo Pajoso – Carapará que pertenecen al corredor bioceánico que se encuentra al sur del país.
- Se pudo analizar aspectos generales y de diseño de pavimentos de los tramos Puente Jarcas – Piedra Larga y Campo Pajoso - Carapari.
- Se describió las características del pavimento y de tráfico de los tramos en estudio evaluando las condiciones considerando tipo de vehículo bitren.
- Se pudo determinar el efecto de incidencia en el pavimento y tráfico del vehículo tipo Bitren en pavimentos flexibles y rígidos.
- Se logró dimensionar el pavimento flexible y rígido de los tramos viales considerado y definiendo los espesores de las sucesivas capas que van a conformar el mismo.
- Se definió los espesores de cada una de las capas que componen el paquete estructural, para el diseño de éstas se cuidarán los aspectos técnicos y económicos, con el fin de lograr un diseño óptimo y que satisfaga ambas premisas.
- Se realizó el análisis resultado y se pudo mediante graficas la variación de espesores y ejes equivalentes.
- También se logró apreciar la diferencia de ejes equivalentes que existen para tráfico normal y para tráfico con vehículo bitren.
- Se pudo realizar el cálculo para los años de soporte del pavimento actual con presencia del vehículo bitren.

#### 4.2.- Recomendaciones

Como recomendaciones se podría mencionar lo siguiente:

- Los vehículos Bitren al tener una longitud aproximadamente de 20 m distribuye sus cargas mediante sus ejes y podría favorecer al deterioro de las carreteras por eso es recomendable vehículos de este tipo en nuestras carreteras con su respectivo diseño de pavimento.
- Las carreteras bioceánicas tienen la finalidad de unir un océano con otro que se encuentra al otro extremo del continente, por lo tanto deben tener un nivel de diseño de pavimento que cumplan todos los requisitos para una mejor transitabilidad.
- Es necesario realizar un diseño de pavimentos flexible para el tramo (Puente Jaracas- Piedra Larga) y rígido (Campo Pajoso- Carapari) tomando en cuenta el vehículo tipo Bitren.
- Se debería optar por construir las carreteras que pertenecen a corredores bioceánicos con miras a vehículos de gran magnitud en un futuro, para que no sea necesario aplicar rediseños.
- Se recomienda en un futuro que en nuestro país pudiera realizar diseños de pavimentos flexibles y rígidos tomando en cuenta vehículos con gran cantidad de ejes.