

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUCCIÓN**

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1. ANTECEDENTES**

El pavimento de las carreteras es uno de los más usados y es un conjunto de capas de material seleccionado que descansa sobre el terreno de fundación también conocido como subrasante, dichas capas son materiales con características independientes por su formación estructural pero que actúan en conjunto como un paquete estructural, el fin es soportar la capacidad de carga y sostener la capa de rodadura para impermeabilizar la superficie.

Las variables que influyen directamente en el diseño de pavimentos son: tránsito, subrasante, clima, propiedades mecánicas de los materiales, factores de seguridad y vida útil.

Existen varios métodos para el diseño de pavimentos entre mecánicos, empíricos, analíticos y computarizados, como ser: Kansas, CBR, WESTERGAARD, AASHTO, PCA, que en su mayoría calculan el número estructural o espesor de rodadura del pavimento, pero dejando de lado el resto de componentes del paquete estructural, el idioma inglés que impide un buen manejo y dificulta el alcance para el diseño de pavimentos.

Si bien existe algunos programas que pueden diseñar los pavimentos de manera completa (DIPAV y DARWIN) no son de fácil acceso porque se realiza de forma pagada o modo prueba, y alguno de ellos se encuentran en idioma inglés dificultando su fácil entendimiento, y no es posible una exportación de datos y resultados.

Existen diversos lenguajes de programación como el Visual Basic que es un software de programación que tiene un lenguaje de programación es implementado a través de sus librerías dentro de la misma.

La implementación de una aplicación desarrollada en Visual Basic para el diseño de pavimentos flexible, rígido y la determinación de ejes equivalentes utilizando la metodología de AASHTO, unificará el proceso de cálculo de los pavimentos, optimizará los tiempos de diseño y se podrá exportar los resultados.

La automatización del diseño de pavimentos y determinación de ejes equivalentes reducirá los posibles errores a la hora de la presentación de resultados, se podrá respaldar los datos de entrada y salida.

### **1.1. JUSTIFICACIÓN**

Existen diversos lenguajes para poder programar, como ser: JAVA, C ++, PYHTON, C # (SHARP), VISUAL BASIC, donde todos ellos tienen un lenguaje de programación diferente.

El lenguaje de programación a adoptar es Visual Basic, debido a que existe una directa relación a través de las macros desarrolladas en MICROSOFT OFFICE, AUTOCAD, CIVIL 3D.

Desarrollar una aplicación utilizando el lenguaje de programación de Visual Basic, para el diseño de pavimento flexible, rígido y la determinación de ejes equivalentes, utilizando la metodología AASHTO, el cual optimizará el tiempo de diseño de pavimentos y generación de resultados para el respectivo análisis del mismo.

Facilitará el proceso de diseño de pavimentos flexible y rígido, también los componentes del pavimento como ser las dimensiones de la losa, las barras de anclaje o amarre, los pasadores, y la profundidad de corte para su disposición de las juntas. Unificando el proceso de cálculo de la determinación de ejes equivalentes a partir del aforo de datos, el diseño de pavimento flexible, rígido y el paquete estructural (sub base, base y rodadura) según el tipo de pavimento.

Se podrá realizar un análisis para varias alternativas de diseño y los procesos de diseño serán más cortos de tiempo en el diseño de pavimentos flexible, rígido y determinación de ejes equivalentes con resultados confiables en datos de entrada y salida. Además, se contará con la facilidad de análisis de los parámetros principales en el diseño, para diversas posibilidades de solución y la respectiva presentación de los resultados obtenidos.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

Existen diversas formas y metodologías de realizar el diseño de pavimento flexible, rígido y la determinación de ejes equivalentes a su vez hay varios programas que ayudan a calcular el espesor del diseño de pavimento flexible, rígido (paquete estructural), donde el idioma en algunos programas es el inglés, lo que dificulta el fácil entendimiento y comprensión a la hora de manipulación, la manera de introducción de datos, información hasta la forma de presentación de resultados.

Los métodos y programas más usuales son: la metodología AASHTO y PCA, DIPAV y DARWIN, la gran mayoría de estos programas solo facilita el cálculo del número estructural y espesor en el diseño de pavimento flexible y rígido (PCA Y AASHTO) dificultando hacer un análisis múltiple de los componentes del paquete estructural para una mejor decisión de resultados y no cuenta con facilidad de exportación y presentación de los mismos (DIPAV).

### **1.2.2. PROBLEMA**

La metodología de AASHTO ayuda a realizar el diseño óptimo de pavimentos, hay diversos métodos para el diseño de pavimento flexible y rígido e incluso programas que facilitan el diseño de pavimentos como (AASHTO, PCA) y (DIPAV, DARWIN) que permiten calcular todo el paquete estructural y el resto de componentes del pavimento rígido, todos ellos a partir de un tráfico calculado o de los ejes equivalentes conocidos.

La accesibilidad a los paquetes de diseño resulta ser costosa (pagada) siendo la gran mayoría de estos adquiridos en modo prueba y se encuentran en idioma inglés, además que los resultados no pueden ser exportados de manera directa y al no estar unificados los cálculos ocasionan posibles errores a la hora de transportar los datos y resultados.

Hay un programa AASHTO 1993, que determina el número estructural para el caso de pavimento flexible y espesor de pavimento para el caso de Rígido, no permite realizar de manera directa los cálculos del resto del paquete estructural, tampoco permite calcular los ejes equivalentes.

En el proceso de cálculo aún se continúa usando ábacos (el error visual); procesos de cálculo mediante fórmulas en planillas y en algunos casos a mano siguiendo un proceso de cálculo, resulta ser tedioso realizar esta operación y a su vez representar los resultados del diseño.

El espesor del diseño de pavimento flexible y rígido es la variable principal que depende de varios factores y características, desde la estimación de tránsito y la determinación de ejes equivalentes, servicio, vida útil, componentes del pavimento hasta su forma de presentación de los resultados.

Las partes del diseño son: el paquete estructural, espesores de capas, para el pavimento rígido, las dimensiones de la losa, las barras de anclaje, los pasadores y la profundidad de corte para su disposición de las juntas de dilatación, y no todos estos parámetros los calculan de forma continua, generando errores a la hora de presentación de resultados.

Es una dificultad la posibilidad de poder hacer un análisis directo con los resultados obtenidos al no poder comparar de manera rápida y precisa los espesores de capa del paquete estructural y las dimensiones de espesores, la disposición de armado del pavimento rígido.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Aplicar el lenguaje de programación de Visual Basic utilizando la metodología AASHTO, para el diseño de pavimento flexible, rígido y determinación de ejes equivalentes, optimizando el tiempo, datos y resultados.

#### **1.3.2. OBJETIVO ESPECIFICO**

- ❖ Recopilar información y datos relevantes de las normativas y especificaciones técnicas de pavimento flexible y rígido en Bolivia.
- ❖ Analizar herramientas como Access y Excel que faciliten el proceso de optimización del diseño de pavimentos.
- ❖ Desarrollar el proceso de programación en visual Basic de pavimento flexible, rígido y determinación de ejes equivalentes a través de la metodología de AASHTO.

- ❖ Comparar los resultados de pavimentos con programas existentes, para la evaluación de la aplicación obtenida a través de la similitud de resultados.
- ❖ Analizar el diseño de pavimentos para valores extremos de los parámetros principales de la metodología AASHTO.

#### **1.4. ALCANCE**

Se utilizará la metodología de AASHTO para unificar el proceso de cálculo y optimizar los resultados del pavimento flexible, rígido y la determinación de ejes equivalentes, el desarrollo de la aplicación en Visual Basic contemplará el cálculo del diseño estructural de pavimentos.

El diseño estructural de pavimento flexible, rígido y la determinación de ejes equivalentes, tendrá la ventaja de poder guardar los datos con los que se esté trabajando y poder recuperarlos.

Estimación de ejes equivalentes de para el diseño de pavimento flexible y rígido a partir del aforo de datos vehiculares o resumen de aforo, siguiendo la normativa ABC.

Tendrá la facilidad de realizar un análisis para diferentes combinaciones de los principales parámetros del diseño de pavimentos (CBR Y TRÁNSITO).

Se podrá calcular el paquete estructural del pavimento flexible y rígido, dentro del pavimento rígido calculará los componentes del pavimento, no considerando el pavimento reforzado.

La aplicación tendrá la facilidad de obtener un respaldo de los datos de entrada en tráfico y parámetros del diseño de pavimento flexible y rígido, también de los resultados obtenidos.

**CAPÍTULO 2**  
**MARCO TEÓRICO**

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

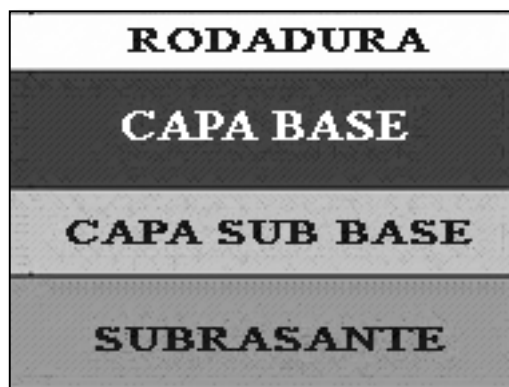
### **2.1. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

“El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir, distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

Por lo general la estructura de pavimento está conformada por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura.” como se observa en la figura 2.1.

(Ingenieros Consultores S.A., 2013)

**Figura 2.1 Estructura del pavimento**



Fuente: Elaboración propia

### **2.2. CARACTERÍSTICAS DEL PAVIMENTO**

“Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.

Ser resistente ante los agentes de interperismo.

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 presentar condiciones adecuadas respecto al drenaje, ser durable y económico.

El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influye en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.

Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos, y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.”

(Ing. Alfonso Montejo Fonseca, 2002)

### **2.3. TIPOS DE PAVIMENTO**

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en:

#### **2.3.1. PAVIMENTO FLEXIBLE**

“El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares.” ver figura 2.2

(Ingenieros Consultores S.A., 2013)

##### **2.3.1.1. CAPA DE RODADURA**

“Es la capa que se coloca sobre la base. Su objetivo principal es proteger la estructura de pavimento, impermeabilizando la superficie, para evitar filtraciones de agua de lluvia que podrían saturar las capas inferiores. Evita la desintegración de las capas subyacentes a causa del tránsito de vehículos.

Asimismo, la superficie de rodadura contribuye a aumentar la capacidad soporte del pavimento, absorbiendo cargas, si su espesor es apreciable (mayor de 5 centímetros).

Ver figura 2.2

“El ligante bituminoso lo conforman aquellos materiales obtenidos de la destilación del petróleo y que desempeñan un papel aglomerante. De entre ellos cabe destacar los betunes asfálticos, emulsiones bituminosas, betunes fluidificantes o las emulsiones.”

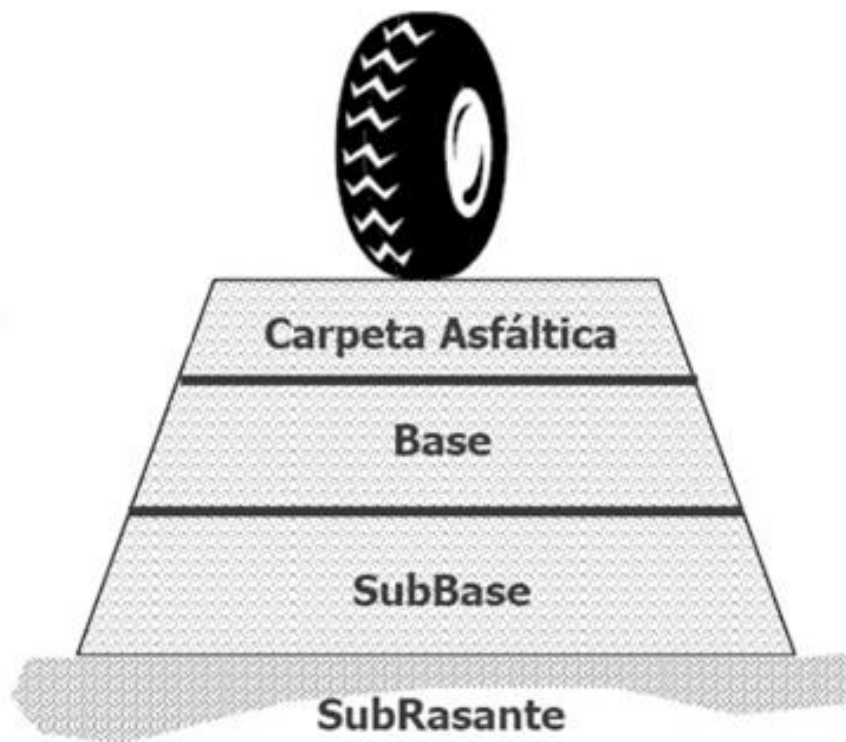
(Bañón Blázquez Luis & Bevía García José F., 2000)

La superficie de rodadura de pavimentos flexibles se divide en:

Mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.”

(Ing. Coronado Iturbide, 2002)

**Figura 2.2 Estructura de pavimento flexible**



Fuente: Materiales para subbase, base y mezclas asfálticas (ing. Augusto García)

### **2.3.1.2. SUBRASANTE**

“La plataforma de subrasante es una superficie constituida por uno o más planos sensiblemente horizontales, que delimita el movimiento de tierras de la infraestructura y sobre la cual se apoya la capa de rodadura o las diversas capas que constituyen un pavimento superior. Además, incluye el espacio destinado a los elementos auxiliares como, bermas, cantero central y cunetas de drenaje, etc.

La plataforma subrasante puede contribuir al control de las aguas infiltradas cuando sus materiales y su compactación permitan la generación de una superficie relativamente impermeable con pendientes hacia el exterior, lo cual ayuda a preservar el cuerpo del terraplén, o el suelo de fundación, de las aguas infiltradas a través del pavimento y de las capas de base y subbase.”

“De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe 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 del tránsito (% CBR). 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 (hinchamiento - retracción).” en la figura 2.3 se muestra una subrasante ya preparada y perfilada.

(Ing. Alfonso Montejo Fonseca, 2002)

**Figura 2.3 Subrasante de terreno**



Fuente: Materiales para subbase, base y mezclas asfálticas (ing. Augusto García)

### **2.3.1.3. CAPA SUBBASE**

“Realmente se trata de una base de peor calidad, dado que no tiene que resistir cargas excesivas del tráfico, al llegar las mismas muy atenuadas por efecto de las capas superiores; se limita a proporcionar una buena capa de asiento a la base, de forma que se facilite su puesta en obra y compactación.

En cambio, sí que posee una importante función drenante, alejando el agua de las capas superiores del firme, para lo cual es imprescindible que los materiales empleados carezcan de finos de origen arcilloso, dado su carácter impermeable. Además, debe de

hallarse en contacto con el sistema de drenaje de la vía, para evacuar el agua infiltrada en su interior; para facilitar la rápida evacuación del agua, se dota a la sub-base de una pendiente del 4%.

En cuanto a los materiales que conforman esta capa, deben poseer una buena granulometría, escasa plasticidad y suficiente dureza para asegurar su durabilidad.”

(Bañón Blázquez Luis & Bevía García José F., 2000)

#### **2.3.1.4. CAPA BASE**

“Constituye el principal elemento portante de la estructura del pavimento, debiendo repartir y absorber en la práctica la totalidad de las cargas verticales que, aunque atenuadas penetren a su seno.

La capa base presenta, por tanto, una función eminentemente resistente, debiendo ser además compacta y duradera para que sus características mecánicas sean lo más homogéneas posibles durante todo el periodo de proyecto, en la figura 2.4 se muestra el aspecto de la capa base puesta en obra.

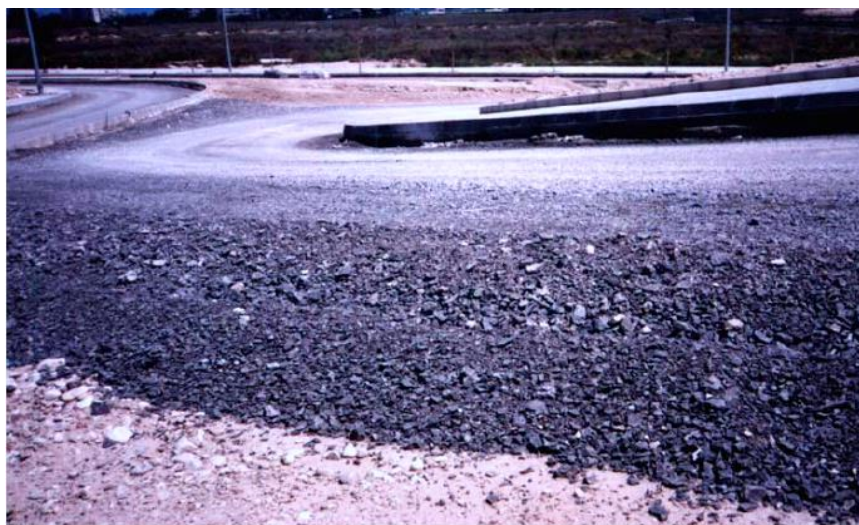
Existen diferentes tipos de bases, que emplean uno u otro tipo de material en función de la calidad exigida por las solicitudes del tráfico:

**Bases granulares:** Formadas por materiales granulares sin ningún tipo de aglomerante. En función de su granulometría, pueden ser continuas (zahorras) o discontinuas (macadam).

Bases granulares estabilizadas: Al material pétreo se le añade una sustancia aglomerante -normalmente cal o cemento- para mejorar sus cualidades resistentes y aumentar su rigidez. Las más empleadas son las bases de grava-cemento, aunque también existen otras, como el suelo-cemento, grava-emulsión, grava-escoria, grava-ceniza, etc.”

(Bañón Blázquez Luis & Bevía García José F., 2000)

**Figura 2.4 Aspecto de capa base en obra**



Fuente: Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

### **2.3.2. PAVIMENTO RÍGIDO**

“Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido, en la figura 2.5 se muestra un pavimento sobre subrasante y en la figura 2.6 se muestra un pavimento que contiene capa subbase. 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 cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. 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.”

(Ing. Alfonso Montejo Fonseca, 2002)

**Figura 2.5 Pavimento rígido sobre subrasante**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 2.6 Pavimento rígido sobre capa subbase**



Fuente: Elaboración propia

### **2.3.3. PAVIMENTOS SEMI RÍGIDOS**

“El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados.”

(Ingenieros Consultores S.A., 2013)

## 2.4. TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

“Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

### 2.4.1. PAVIMENTO DE CONCRETO SIMPLE

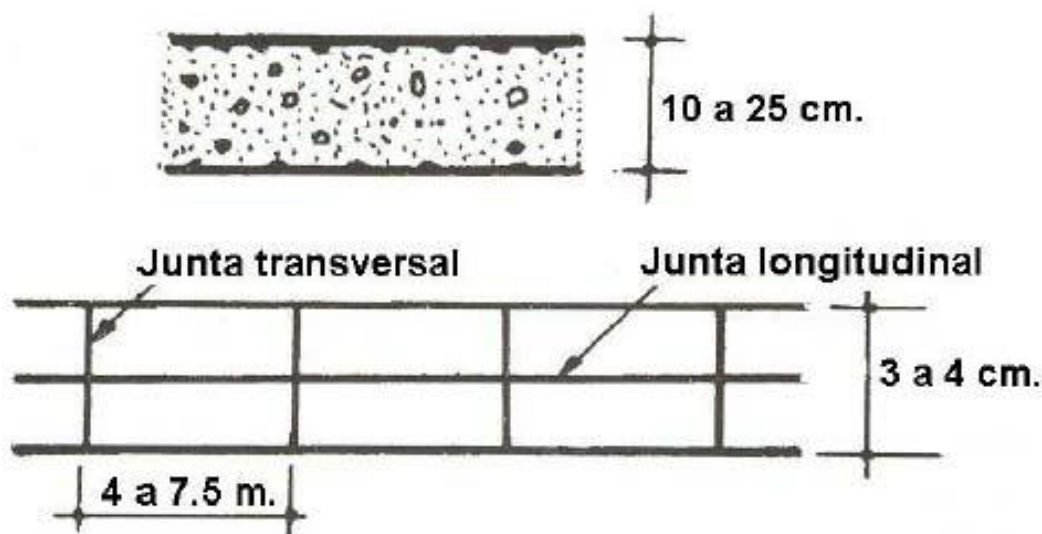
#### 2.4.1.1. SIN PASADORES

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas, en la figura 2.7 se detalla un pavimento simple sin pasadores.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo, para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

**Figura 2.7 Pavimento rígido simple sin pasadores**



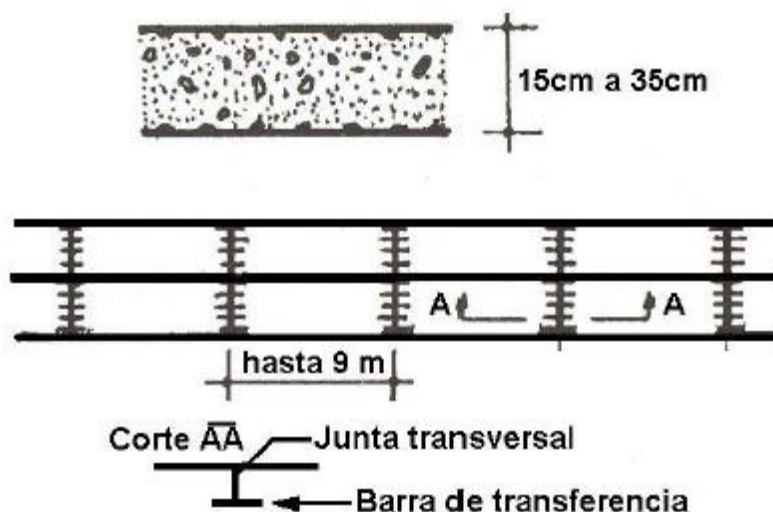
Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM

### 2.4.1.2. CON PASADORES

Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos) tal como se muestra en la figura 2.8.

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.

**Figura 2.8 Pavimento rígido con pasadores**



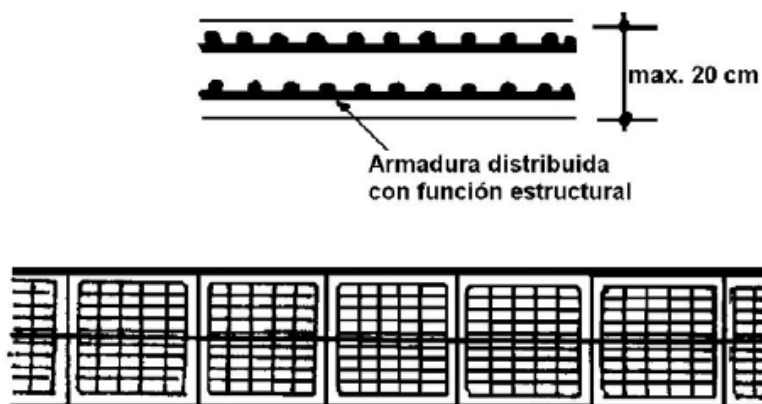
Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM

### 2.4.1.3. PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO CON JUNTAS

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural. Ver figura 2.9.



**Figura 2.9 Pavimento de concreto reforzado**



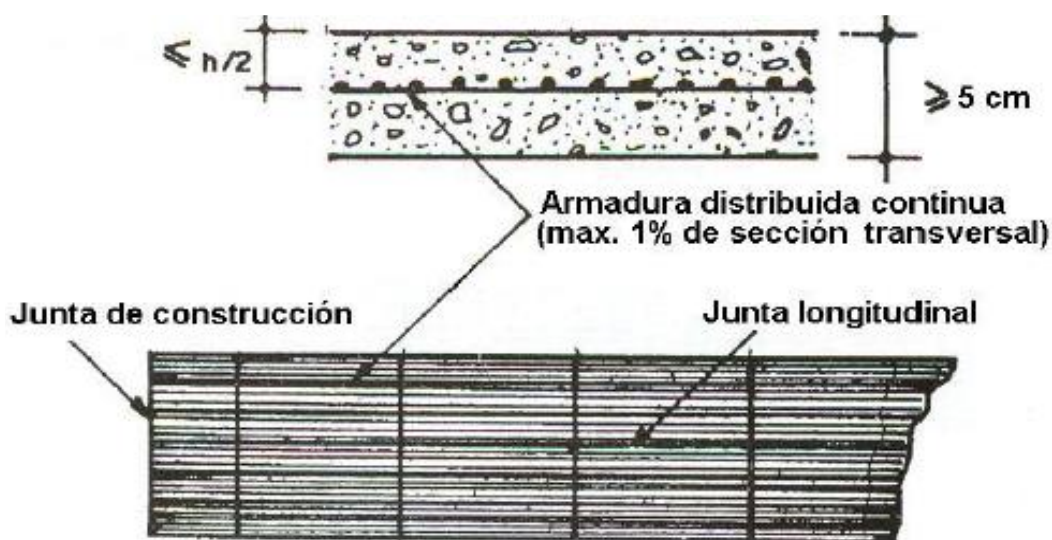
Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCCEM

#### 2.4.1.4. PAVIMENTO DE CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.” Ver figura 2.10 donde se muestra la forma de pavimento con refuerzo continuo.

(PAVIMENTO RÍGIDO, 2013)

**Figura 2.10 Pavimento de concreto reforzado**

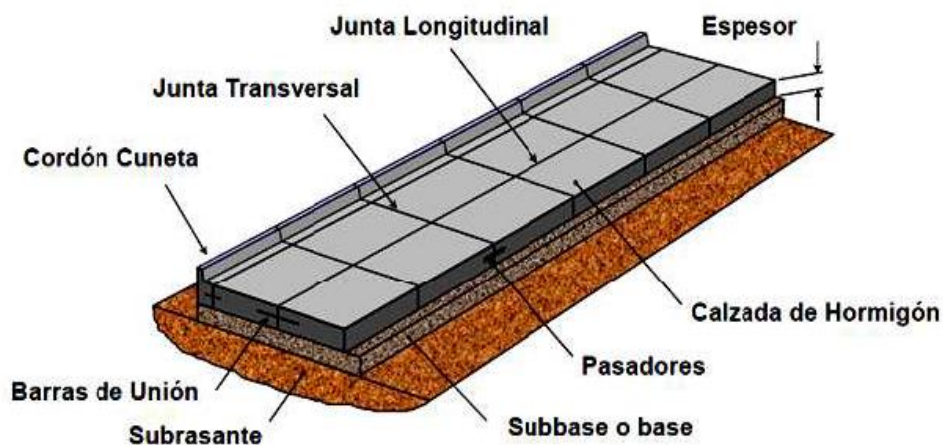


Fuente: Boletín técnico No 81, publicado por la ASOCCEM

## 2.5. COMPONENTES DE LA LOSA DE HORMIGÓN

Son todas las partes que forman parte de la estructura de la losa, en la figura 2.11 se muestra un esquema de todas las partes que compone la losa de pavimento rígido.

**Figura 2.11 Componentes del pavimento rígido**



Fuente: Universidad Tecnológica Nacional ing. Claudio Giordani.

## 2.6. JUNTAS

“La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.

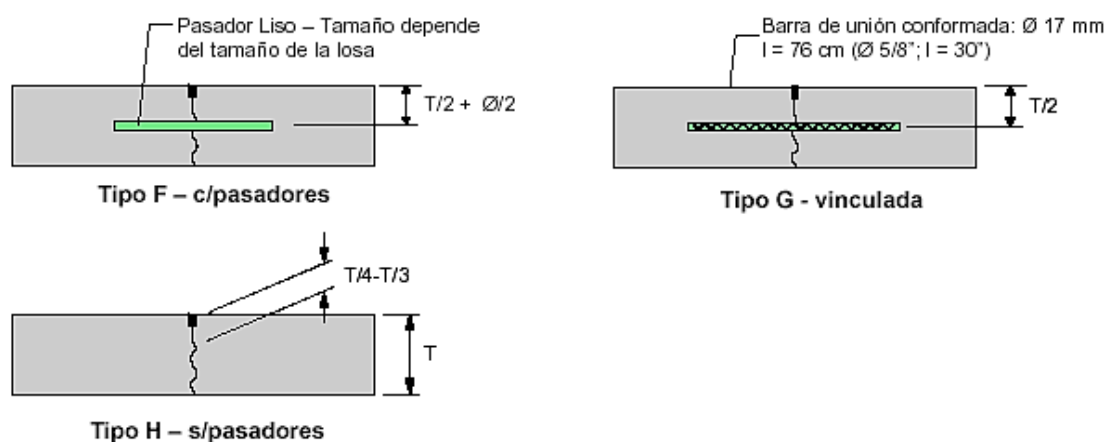
De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se denominan como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción expansión y aislamiento. Según la forma, se les denomina, rectas, machimbradas y acanaladas.

## 2.6.1. TIPOS DE JUNTA

### 2.6.1.1. JUNTAS DE CONTRACCIÓN

Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones como se muestra en la figura 2.12. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

**Figura 2.12 Tipos de junta de contracción**

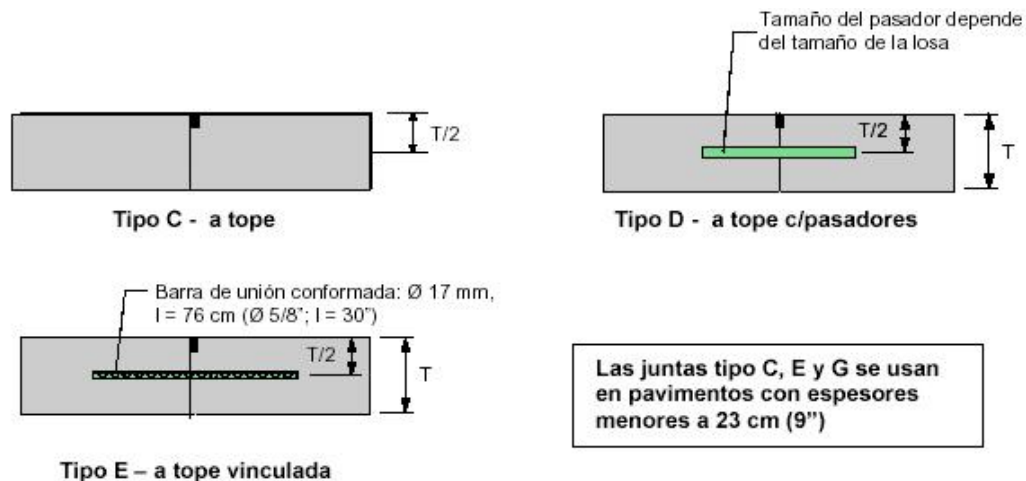


Fuente: Design and construction of joint for concrete Streets, publicado por la American Concrete Pavement Association (ACPA).

### 2.6.1.2. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales. Ver figura 2.13 donde se detallan tres modelos de juntas de construcción.

**Figura 2.13 Tipos de junta de construcción**



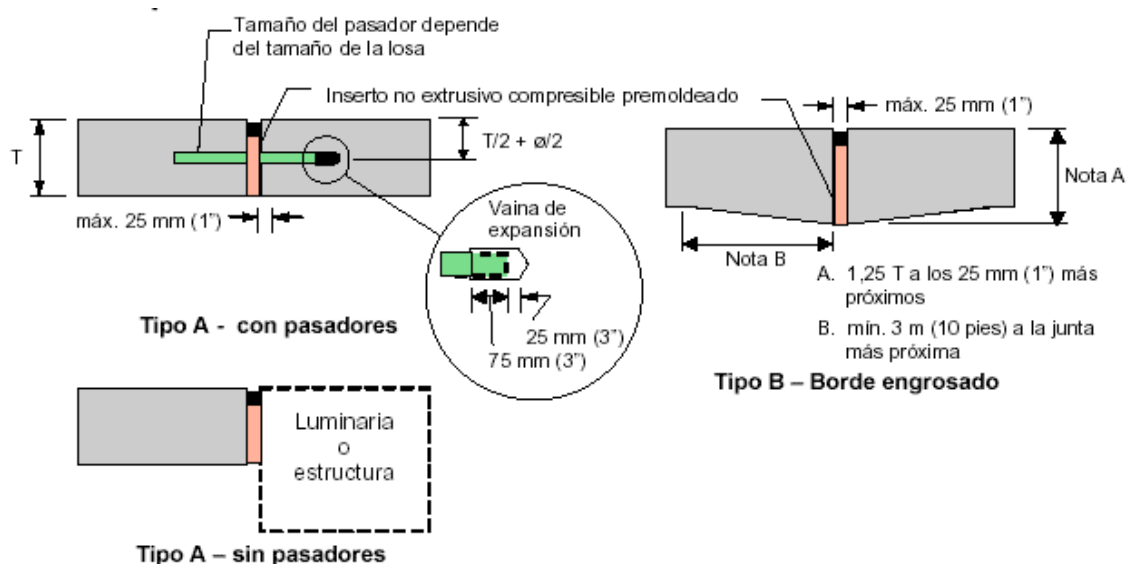
Fuente: Design and construction of joint for concrete Streets, publicado por (ACPA).

### 2.6.1.3. JUNTAS DE EXPANSIÓN O AISLACIÓN

Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura. También se utilizan para aislar estructuras existentes, ver figura 2.14 donde se muestra dos modelos de juntas de expansión"

(Design and Construction of Joints for Concrete Str, 1992)

**Figura 2.14 Tipos de junta de expansión**



Fuente: Design and construction of joint for concrete Streets, publicado por (ACPA).

#### 2.6.1.4. ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTAS

El espaciamiento entre juntas de contracción de pavimentos de hormigón simple depende de factores principalmente locales, como calidad de materiales y condiciones climáticas. La AASHTO recomienda que el espaciamiento entre juntas o barras de unión en pies no debe ser mayor a dos veces el espesor de la losa en pulgadas, dicho de otra manera, no debe ser mayor a 24 veces el espesor de la losa, para pavimentos sobre subbase no estabilizada. Para subbase estabilizada no debe ser mayor a 21 veces el espesor de la losa, en el cuadro 2.1 se muestra la longitud de juntas transversales recomendadas.

**Cuadro 2.1 Dimensiones en pasadores en pavimentos urbanos**

Espesor del Pavimento (cm)	Diámetro de la pasajunta		Longitud (cm)	Separación (cm)
	mm	pulgadas		
10 - 150	16	5/8	30	45
15 - 18	20	3/4	38	38
18 - 20	25	1	38	30
20 - 25	32	1 1/4	38	30

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

#### 2.7. DIÁMETROS COMERCIALES Y DILATACIÓN DEL ACERO

El diámetro de barras tiene influencia en las tensiones que se producen en el pavimento del hormigón. Los nomogramas de diseño de la AASHTO consideran barras No. 4 a No. 7. El diámetro de las barras en pulgadas es igual a su número dividido entre 8.

No. 4      Diámetro      4/8" = 0,5 pulg.      = 12 mm.

No. 5      Diámetro      5/8" = 0,625 pulg.      = 16 mm.

No. 6      Diámetro      3/4" = 0,75 pulg.      = 20 mm

No. 7      Diámetro      7/8" = 0,875 pulg.      = 22 mm.

Coeficiente de Dilatación de Acero, el método recomienda un valor de:

$9 \cdot 10^{-6}$  mm/mm/°C   ó    $5 \cdot 10^{-6}$  pulg/pulg/°F

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 se toma la temperatura media máxima del mes en que será fabricado el hormigón. La temperatura mínima es la temperatura media mensual mínima de la zona donde se encuentra la obra.

$$DTD = TH - TL$$

DTD = Diferencia de temperatura de diseño en °C ó °F.

TH = Temperatura máxima media en el mes de construcción °C ó °F.

TL = Temperatura mínima media en el mes más frío del año en °C ó °F.

## **2.8. SELLOS**

La función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de éstas (descascamientos).

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Las juntas longitudinales entre pistas o en la unión berma-losa no generan las mismas tensiones sobre el sello que ejercen las juntas transversales, debido a que sus movimientos son considerablemente menores. Se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

Todo material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las siguientes características:

Impermeabilidad

Deformabilidad

Resiliencia

Adherencia

Resistencia

Estable

Durable

## 2.9. DISEÑO DE PAVIMENTOS

Para el diseño de pavimentos se aplicará la metodología de AASHTO.

“Esta Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos, proporciona un grupo completo de procedimientos, los cuales puede ser usados para el diseño y rehabilitación de pavimentos:

**Flexibles** (superficie de concreto asfáltico) y superficies de agregados para caminos de bajo volumen de tránsito.

**Rígidos** (superficie de concreto de cemento Portland)

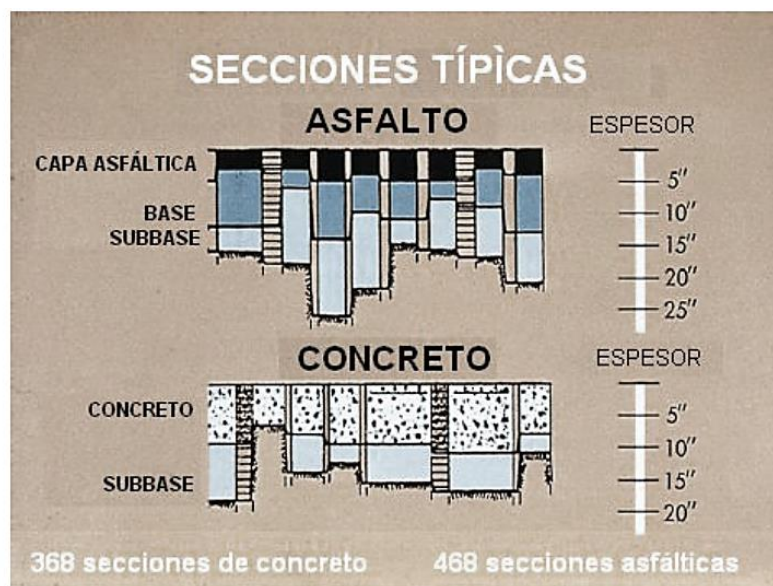
La Guía ha sido desarrollada para proporcionar recomendaciones concernientes a la determinación de la estructura de pavimentos. Esas recomendaciones incluyen la determinación del espesor total de la estructura del pavimento, así como el espesor de los componentes estructurales individuales, en la figura 2.15 muestra como ellos tienen la variación de espesores de capas y pavimentos.

Los procedimientos para el diseño prevén la determinación de estructuras alternativas, utilizando una variedad de materiales y procedimientos de construcción.

Debe tomarse en cuenta que el grupo total de consideraciones requeridas para asegurar el comportamiento confiable de una estructura de pavimento, incluye muchos factores diferentes a la determinación de los espesores de los componentes estructurales.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

**Figura 2.15 Diseño de modelo de pavimento AASHTO**



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

## 2.10. VARIABLES DEL DISEÑO

### 2.10.1. PERIODO DE ANÁLISIS

Se refiere al período de tiempo para el cual va a ser conducido el análisis, es decir, el tiempo que puede ser cubierto por cualquier estrategia de diseño. El período de análisis es análogo al término "vida de diseño" usado por los diseñadores en el pasado. Debido a la consideración del período máximo de comportamiento, puede ser necesario considerar y planificar una construcción por etapas (es decir, una estructura de pavimento seguida por una o más operaciones de rehabilitación) para alcanzar el período de análisis deseado, en el cuadro 2.2 se muestra el periodo de análisis en función del volumen de tráfico y zona.

**Cuadro 2.2 Periodo de análisis**

Tipos de camino	Periodo de análisis (años)
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)



## **2.10.2. TRÁNSITO**

“Número de vehículos que circulan durante determinado periodo, dividido por el número de días del periodo.

Este factor depende de la cantidad de vehículos al igual que la frecuencia y composición de las cargas a las que va estar solicitado el pavimento. Podemos definir tránsito como una sucesión de cargas en el tiempo, de diferente intensidad y frecuencia. W18 en (18 kips u 80 KN).

### **2.10.2.1. ANÁLISIS DE TRÁNSITO**

El análisis de tránsito que circula por la intersección requiere el estudio de los siguientes factores:

Tránsito en la vía principal

Tránsito en la vía secundaria

Los datos relativos a las intensidades de tránsito deberán ser tomadas durante periodos que varían según el tipo de toma de muestras en horas que sean representativas de la situación normal en ambos accesos para un día tipo.”

(Manual técnico para el diseño de carreteras, 2007)

### **2.10.2.2. PROGRAMACIÓN DE LOS AFOROS**

El número de horas de aforo varía conforme al método usado (manual de ABC, AASHTO) y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día (durante una semana las 24 horas del día establece la normativa ABC). Es conveniente que los aforos manuales en intersecciones, se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Aforos por periodos de tiempo de 16 horas, proveen más información. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de ingeniería de tránsito, los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico (martes, miércoles y jueves) a menos que el objetivo del estudio requiera días de fin de semana (en periodo de un mes manual de AASHTO). Por lo general aforos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes. Sin embargo, algunas veces es necesario efectuar aforos en

intervalos menores para el diseño de carriles de giro y para cálculo de tiempos de semáforos.

(Manual de estudios de ingeniería de tránsito, 2008)

### **2.10.3. VOLÚMENES TRÁNSITO**

“Los volúmenes de tránsito representan el movimiento vehicular sobre puntos o secciones específicas dentro de un sistema vial.

Debe tomarse en cuenta el periodo de construcción, para generar los datos aforados hasta la fecha, además considerar un crecimiento durante su uso esto a criterio del diseñador, además el ingreso de arterias aledañas que conecte el camino.

Es necesario conocer el tránsito promedio diario (TPD) y el porcentaje de camiones presentes en el volumen de tránsito a estudiar, así como la clasificación de estos camiones.

Diferentes tipos de camiones llevan distintas cargas y su número no debería ser combinado sin un buen ajuste. El uso del porcentaje de camiones para calcular el número de ESALs por camión debe ser hecho a partir de determinaciones precisas de los diferentes tipos de camiones en el flujo de tránsito.

La FHWA reconoce trece clases distintas de vehículos para el cálculo de los ESALs, estos son:

1. Motocicletas
2. Automóviles
3. Vehículos de dos ejes y cuatro ruedas
4. Ómnibus
5. Camiones simples de dos ejes y 6 ruedas
6. Camiones simples de tres ejes
7. Camiones simples de cuatro o más ejes
8. Camiones semirremolques de cuatro o menos ejes
9. Camiones semirremolques de cinco ejes
10. Camiones semirremolques de seis o más ejes
11. Camiones c/acoplado de cinco o menos ejes

12. Camiones c/acoplado de seis ejes
13. Camiones c/acoplado de siete o más ejes”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)





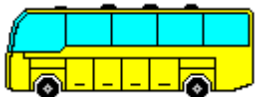





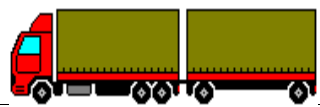

Disposición para el cálculo de los ESALs, en Bolivia según la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras) como se ve en el cuadro 2.3 y figura 2.16.

**Cuadro 2.3 Clasificación vehicular**

N°	Tipo de vehículo
1	Automóviles, Vagonetas y Jeeps
2	Camionetas
3	Minibuses (hasta 13 pasajeros)
4	Microbuses (De 2 ejes)
5	Buses Medianos (De 2 ejes)
6	Buses Grandes (2 ó más ejes)
7	Camiones Medianos (2 ejes)
8	Camiones Grandes (2 ejes)
9	Camiones Grandes (3 ejes)
10	Camiones Semiremolque
11	Camiones remolque
12	Otros Vehículos

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

**Figura 2.16 Configuración vehicular por tipo de ejes**

Código	Tipo de vehículos	Figura
1	Automóviles y Vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2 Tn)	
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	
5	Buses medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	
6	Buses grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	
7	Camiones medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	
8	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	
9	Camiones grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	
10	Camiones Semirremolque	
11	Camiones Remolque	
12	Otros Vehículos	

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras

## 2.11. EJES EQUIVALENTES

Es el método más utilizado para estimar el tránsito con fines de diseño de pavimentos y consiste en convertir las repeticiones esperadas del tránsito real a un número de aplicaciones del eje de referencia normalizado de 80 KN o 18 kips que produciría el mismo deterioro en el pavimento ( $W_{18}$ ).

## 2.12. PESOS NORMADOS EN BOLIVIA

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 que se observan en los cuadros 2.4. pesos por eje para vehículos pesados y 2.5 pesos por eje para vehículo liviano.

(La asamblea legislativa plurinacional, 2013)

**Cuadro 2.4 Límites de cargas de vehículos pesados**

Tipos de configuraciones de eje y grupos de ejes vehiculares	Peso máximo permitido por eje o grupo de ejes (toneladas)
Eje sencillo (direccional o fijo) de 2 llantos	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	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	22,00
Eje tipo tridem de 12 llantas	25,00

Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441)

**Cuadro 2.5 Límites de cargas vehículos livianos**

Rango de ancho de sección de llanta		Peso bruto total máximo permitido	
De:	Hasta:	Vehículo con eje delantero sencillo de 2 llantas y un eje trasero sencillo de 2 llantas	Vehículo con eje delantero sencillo de 2 llantas y un eje trasero sencillo de 4 llantas
175 mm (6,8")	190 mm (7.5")	5,50 toneladas	7,00 toneladas
190 mm (7,5")	270 mm (10,6")	7,00 toneladas	10,00 toneladas

Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441)

## 2.13. TIPOS DE EJES

### 2.13.1. EJE SIMPLE

“Uno de los ejes de un vehículo, que forman un solo apoyo del chasis, pudiendo ser delantero o trasero como se muestra en la figura 2.17 ejes simple de 2 y 4 ruedas.

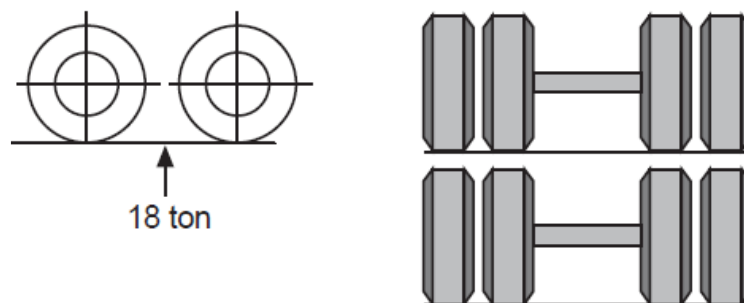
**Figura 2.17 Tipos de eje simple**



Fuente: Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441)

### 2.13.2. EJE TÁNDEM

Es el grupo de ejes formado por el sistema de dos ejes de iguales características, cuyos centros geométricos están a una distancia comprendida entre (1,20 m.) y menor o igual (2,40 m.) ver figura 2.18.

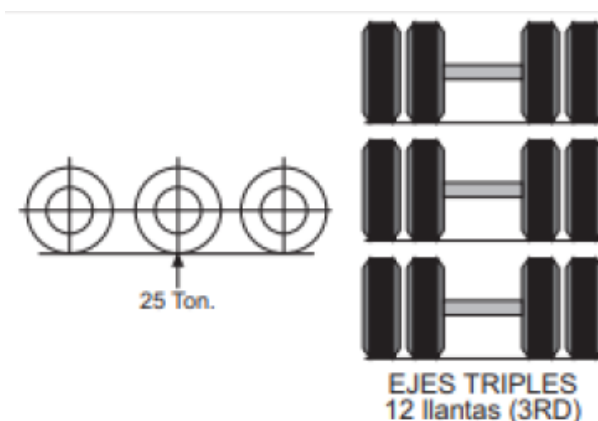
**Figura 2.18 Ejes tándem**

Fuente: Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441)

### 2.13.3. EJE TRÍDEM

Es el grupo de ejes formado por el sistema de tres ejes de iguales características, cuyos centros geométricos están a una distancia mínima de un metro veinte centímetros (1,20 m.) o máxima de dos metros cuarenta centímetros (2,40 m.), entre ejes consecutivos.” Ver figura 2.19.

(La asamblea legislativa plurinacional, 2013)

**Figura 2.19 Ejes trídem**

Fuente: Fuente: Límites de Cargas, ley de cargas (LEY N° 441)

### 2.14. FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA

Es el factor numérico que relaciona el número de aplicaciones de las cargas por eje de referencia (LEF) que produce en el pavimento un determinado deterioro y el número requerido de aplicaciones de otra carga por eje para producir el mismo deterioro.

$$LEF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ESAls de 80kn que producen una perdida de serviciabilidad}}{\text{N}^\circ \text{ de ejes de xKN que producen la misma perdida de serviciabilidad}} \quad (2.1)$$

El factor equivalente de carga depende del sistema de eje vehicular e índice de servicio final de la estructura.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

### 2.14.1. FACTOR CAMIÓN

El LEF da una manera de expresar los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero también es conveniente el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para determinar el daño producido por el vehículo total. Así nace el concepto de Factor de camión (FC). Se define como el número de ESALs por vehículo. Factor de camión TF (truck factor)

$$TF = \frac{\text{N}^\circ \text{ de ESALs}}{\text{N}^\circ \text{ de camiones}} \quad (2.2)$$

### 2.15. DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES

Representa el cálculo de los ejes equivalentes las siguientes ecuaciones, la formula reducida ecuación 2.3 y estimación del crecimiento de tráfico ecuación 2.4 o usar cuadro 2.9 crecimiento de tránsito, la ecuación 2.5 representa el crecimiento de tráfico en función de índice de crecimiento y periodo de vida útil, la ecuación 2.6 funciona con un factor equivalente de carga y la ecuación 2.7 considera vehículos livianos y pesados.

$$W_{18} = 365 \frac{\text{dias}}{\text{año}} * \%CP * TPDA * GF * DD * LD * TF \quad (2.3)$$

$$GF = ((1 + g_{tv}) * (1 + g_{tf})) - 1 \quad (2.4)$$

$$W_{18} = 365 \frac{\text{dias}}{\text{año}} * TPD * (1 + i)^n \quad (2.5)$$

$$W_{18} = 365 \frac{\text{dias}}{\text{año}} * \%Tv * TPDA * \frac{(1 + r)^n - 1}{r} * Fce \quad (2.6)$$



$$W_{18} = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \text{TPD} * (1 + i)^n * (\%V_L * F_{C_{VL}} + \%V_P * F_{C_{VP}}) \quad (2.7)$$

Donde cada una de las variables expresa lo siguiente:

$W_{18}$  = Número de ejes equivalentes de 18000 lb.

TPDA = Tránsito promedio diario anual.

$n$  = Periodo de vida del diseño.

$\% T_v$  = Porcentaje de tipo de vehículo.

$\% V_L$  = Porcentaje de vehículo liviano.

$\% V_P$  = Porcentaje de vehículo pesado.

$F_{C_{VP}}$  = Factor de carga vehículo pesado.

$F_{C_{VL}}$  = Factor de carga vehículo liviano.

$F_{CE}$  = Factor de carga equivalente.

$r, i$  = Índice de crecimiento de tránsito anual.

$\%CP$  = Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más FHWA).

$GF$  = Factor de crecimiento que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones y el factor de camiones. Ver cuadro 2.9.

$DD$  = Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno).

$LD$  = Factor distribución por carril para camiones (en tanto por uno).

$TF$  = Factor de camiones (ESALs/camiones).

$gtv$  = Crecimiento en el volumen de tránsito.

$gtf$  = Crecimiento en el factor de camión.

De las ecuaciones 2.6 – 2.7 son usadas académicamente.

### **2.15.1. PROCESAMIENTO RIGUROSO DE EJES EQUIVALENTES**

En la columna "A" se pondrá la cantidad diaria de cada tipo de vehículo especificado y del cual se tenga el conteo correspondiente.

En la columna "B" se colocará el correspondiente factor de crecimiento para cada tipo de vehículo, el cual depende de la tasa de crecimiento asumida para cada tipo de vehículo y el periodo de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, ya que no todos los tipos de vehículos tienen que crecer a la misma tasa, según el cuadro 2.15.

En la columna "C" se coloca el producto de las columnas "A" y "B" multiplicado por 365 (días del año).

En la columna "D" se coloca el factor de ESAL's, que depende de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tándem o trídem) conforme al cuadro 2.11 que facilita la determinación de ejes equivalentes para todo el tráfico, en el ingreso de tipos de eje usar la simbología del cuadro 2.14.

Los valores asumidos de índice de serviciabilidad final se los toma y el número estructural (SN para pavimentos flexibles) o espesor de losa para pavimentos rígidos, conforme al cuadro 2.9, 2.10 y demás cuadros del anexo 3, que hacen referencia al tipo de deje, tipo de pavimento en función del espesor asumido y de acuerdo a una serviciabilidad adoptada.

La columna "E" es el producto de la "C" por la "D", y la suma de esta columna "E" es el número total de ESAL's para el diseño del pavimento considerado y el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de distribución por carril.

Finalmente se debe multiplicar los factores LD ver cuadro 2.16 y DD por la sumatoria obtenida en la columna E.

**Cuadro 2.6 Procedimiento riguroso de ejes equivalentes**

Tipo de vehículo	Volumen diario "A"	Factores de crecimiento "B"	Tránsito de diseño "C"	Factor de camión "D"	ESAL diseño "E"
Automóviles y Vagonetas					
Camionetas					
Minibuses					
Microbuses					
Buses medianos					
Buses grandes					
Camiones medianos					
Camiones grandes					
Camiones grandes eje tándem					
Camiones Semirremolque					
Camiones Remolque					
Otros Vehículos					
				ESAL's de diseño	

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Cuadro 2.7 Planilla tipo de aforo vehicular de 12 tipos**

Día	Vehículos												Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1														
2														
3	→													
4														
5														
6														
7														
Total general														

Fuente: manual de carreteras Administradora boliviana de carreteras.

**Cuadro 2.8 Planilla resumen de aforo vehicular de 12 tipos**

Día	Vehículos												Total	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Semana	→												suma	
														TPD

Fuente: manual de carreteras Administradora boliviana de carreteras.

**Cuadro 2.9 Factores equivalentes de carga para pavimentos flexibles, ejes simples,  
 $P_f = 2.0$**

Carga por eje			SN pulg (mm)					
Tn	Kips	Kn	1 (25,4)	2 (50,8)	3 (76,2)	4 (101,6)	5 (127)	6 (152,4)
0,9072	2,00	8,90	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
1,814	4,000	17,800	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002
2,722	6,000	26,700	0,009	0,012	0,011	0,100	0,009	0,009
3,629	8,000	35,600	0,030	0,035	0,036	0,033	0,031	0,029
4,536	10,000	44,500	0,075	0,085	0,090	0,085	0,790	0,076
5,443	12,000	53,400	0,165	0,177	0,189	0,183	0,174	0,168
6,351	14,000	62,300	0,325	0,338	0,354	0,350	0,338	0,331
7,258	16,000	71,200	0,589	0,598	0,613	0,612	0,603	0,596
8,15	18,00	80,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9,07	20,00	89,00	1,61	1,59	1,56	1,55	1,57	1,59
9,98	22,00	97,90	2,49	2,44	2,35	2,31	2,35	2,41
10,89	24,00	106,80	3,71	3,62	3,43	3,33	3,40	3,51
11,79	26,00	115,70	5,36	5,21	4,88	4,68	4,77	4,96
12,70	28,00	124,60	7,54	7,31	6,78	6,42	6,52	6,83
13,61	30,00	133,50	10,40	10,00	9,20	8,60	8,70	9,20
14,52	32,00	142,40	14,00	13,50	12,40	11,50	11,50	12,10
15,42	34,00	151,30	18,50	17,90	16,30	15,00	14,90	15,60
16,31	36,00	160,00	24,20	23,30	21,20	19,30	19,00	19,90
17,24	38,00	169,10	31,10	29,90	27,10	24,60	24,00	25,10
18,14	40,00	178,00	39,60	38,00	34,30	30,90	30,00	31,20
19,05	42,00	186,90	49,70	47,70	43,00	38,60	37,20	38,50
19,96	44,00	195,80	61,80	59,30	53,40	47,60	45,70	47,10
20,87	46,00	204,70	76,10	73,00	65,60	58,30	55,70	57,00
21,77	48,00	213,60	92,90	89,10	80,00	70,90	67,30	68,60
22,68	50,00	222,50	113,00	108,00	97,00	86,00	81,00	82,00

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Cuadro 2.10 Factores equivalentes de carga para pavimentos rígidos, ejes simples,****P<sub>f</sub> = 2.0**

Carga por eje			D pulg (mm)								
tn	kips	KN	6 (152,4)	7 (177,8)	8 (203,2)	9 (228,6)	10 (254)	11 (279,4)	12 (304,8)	13 (330,2)	14 (355,6)
0,9072	2,0000	8,9000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
1,814	4,000	17,800	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
2,722	6,000	26,700	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
3,629	8,000	35,600	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
4,536	10,000	44,500	0,087	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
5,443	12,000	53,400	0,186	0,180	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
6,351	14,000	62,300	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336	0,336
7,258	16,000	71,200	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
8,15	18,00	80,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
9,07	20,00	89,00	1,55	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59
9,98	22,00	97,90	2,32	2,32	2,35	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41	2,42
10,89	24,00	106,80	3,37	3,34	3,40	3,47	3,51	3,53	3,54	3,55	3,55
11,79	26,00	115,70	4,76	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	5,06
12,70	28,00	124,60	6,58	6,44	6,52	6,70	6,85	6,94	7,00	7,02	7,04
13,61	30,00	133,50	8,92	8,68	8,74	8,98	9,23	9,39	9,48	9,54	9,56
14,52	32,00	142,40	11,90	11,50	11,50	11,80	12,20	12,40	12,60	12,70	12,70
15,42	34,00	151,30	15,50	15,00	14,90	15,30	15,80	16,20	16,40	16,60	16,70
16,31	36,00	160,00	20,10	19,30	19,20	19,50	20,10	20,70	21,10	21,40	21,50
17,24	38,00	169,10	25,60	24,50	24,30	24,60	25,40	26,10	26,70	27,10	27,40
18,14	40,00	178,00	32,20	30,80	30,40	30,70	31,60	32,60	33,40	34,00	34,40
19,05	42,00	186,90	40,10	38,40	37,70	38,00	38,90	40,10	41,30	42,10	42,70
19,96	44,00	195,80	49,40	47,30	46,40	46,60	47,60	49,00	50,40	51,60	52,40
20,87	46,00	204,70	60,40	57,70	56,60	56,70	57,70	59,30	61,10	62,60	63,70
21,77	48,00	213,60	73,20	69,90	68,40	68,40	69,40	71,20	73,30	75,30	76,80
22,68	50,00	222,50	88,00	84,10	82,20	82,00	83,00	84,90	87,40	89,80	91,70

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Cuadro 2.11 Factores equivalentes de carga para todo el tráfico

	Configuración	Livianos		Buses				Camiones					
		Automovil, vagoneta y jeep	Camionetas	Minibus	Microbus	Bus mediano	Bus grande	Camión mediano	Camión grande dos ejes	Camión grande tres ejes	Camión semiremolque	Camión con remolque	Otros
Tipos de eje	Eje delantero												
	1 er eje trasero												
	2do eje trasero												
	3er eje trasero												
	4to eje trasero												
	5to eje trasero												
Pesos por eje (tn)	eje delantero												
	1 er eje trasero												
	2do eje trasero												
	3er eje trasero												
	4to eje trasero												
	5to eje trasero												
Factor camión	eje delantero												
	1 er eje trasero												
	2do eje trasero												
	3er eje trasero												
	4to eje trasero												
	5to eje trasero												
Total de ejes equivalentes													

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Cuadro 2.12 Tráfico total a partir de Tráfico Promedia Diario (TPD)**

Consideracion de tráfico	Livianos			Buses			Camiones				Otros	
	Automovil Vagoneta Jeep	Camioneta	Minibus	Microbus	Mediano	Grande	Mediano	Grande 2 ejes	Grande 3 ejes	Semi Remolque		Con Remolque
Tráfico aforado												
Inicio de operación												
Tráfico generado												
Tráfico inducido												
Tráfico total												

Fuente: Elaboración propia



**Cuadro 2.13 Factores equivalentes de carga para el tráfico de factor camión**

Tipo de vehículo	Volumen diario "A"	Factor de camión "B"	ESAL diseño "C"
Automóviles y Vagonetas			
Camionetas			
Minibuses			
Microbuses			
Buses medianos			
Buses grandes			
Camiones medianos			
Camiones grandes			
Camiones grandes eje tándem			
Camiones Semirremolque			
Camiones Remolque			
Otros Vehículos			
<b>TPDA</b>	Suma		Suma
<b>Número de camiones</b>	Suma		

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 2.14 Denominación de ejes para el cálculo de factor equivalente**

Denominación de esjes	Nomenclatura
Eje simple de 2 ruedas	S
Eje simple de 4 ruedas	SD
Eje tanden de 4 ruedas	TS
Eje tanden de 8 ruedas	TD
Eje tridem de 6 ruedas	TRS
Eje tridem de 12 ruedas	TRD

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 2.15 Factores de crecimiento de tránsito**

Periodo de análisis (años)	Factor de crecimiento *	Tasa de crecimiento anual (%)						
		2	4	5	6	7	8	10
1,00	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,00	2	2,02	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,10
3,00	3	3,06	3,12	3,15	3,18	3,21	3,25	3,31
4,00	4	4,12	4,25	4,31	4,37	4,44	4,51	4,64
5,00	5	5,20	5,42	5,53	5,64	5,75	5,87	6,11
6,00	6	6,31	6,63	6,80	6,98	7,15	7,34	7,72
7,00	7	7,43	7,90	8,14	8,39	8,65	8,92	9,49
8,00	8	8,58	9,21	9,55	9,90	10,26	10,64	11,44
9,00	9	9,75	10,58	11,03	11,49	11,98	12,49	13,58
10,00	10	10,95	12,01	12,58	13,18	13,82	14,49	15,94
11,00	11	12,17	13,49	14,21	14,97	15,78	16,65	18,53
12,00	12	13,41	15,03	15,92	16,87	17,89	18,98	21,38
13,00	13	14,68	16,63	17,71	18,88	20,14	21,50	24,52
14,00	14	15,97	18,29	19,16	21,01	22,55	24,21	27,97
15,00	15	17,29	20,02	21,58	23,28	25,13	27,15	31,77
16,00	16	18,64	21,82	23,66	25,67	27,89	30,32	35,95
17,00	17	20,01	23,70	25,84	28,21	30,84	33,75	40,55
18,00	18	21,41	25,65	28,13	30,91	34,00	37,45	45,60
19,00	19	22,84	27,67	30,54	33,76	37,38	41,45	51,16
20,00	20	24,30	29,78	33,06	36,79	41,00	45,76	57,28
25,00	25	32,03	41,65	47,73	54,86	63,25	73,11	98,35
30,00	30	40,57	56,08	66,44	79,06	91,46	113,28	164,49
35,00	35	49,99	73,65	90,32	111,43	138,24	172,32	271,02

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

\*factor =  $\frac{((1+g)^n-1)}{g}$  donde g = tasa/100 y no debe ser nula, si es nula considerar periodo de análisis.

## 2.16. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR DIRECCIÓN (DD)

En general es 0,5 es decir que, del total del flujo vehicular censado, la mitad va por cada dirección, pero en algunos casos puede ser mayor en una dirección que en otra, lo que debe considerarse en un censo de tránsito.

Aunque el factor DD generalmente es de 0,5 (50%) para la mayor parte de vías vehiculares, hay casos en los que puede moverse más peso en una dirección que en otra.

Así, el lado con los vehículos más pesados, deberá ser diseñado para un gran número de unidades ESAL. La experiencia ha demostrado que DD puede variar de (0,3 a 0,7) dependiendo de cuál dirección está "cargada" y cual está "descargada" puede utilizarse 0,6.

## 2.17. FACTOR DE DISTRIBUCIÓN POR CARRIL (LD)

En el de diseño es aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza en ese carril. En este caso  $LD = 1$ . Para caminos multicarril, el carril de diseño es el más externo, dado que los camiones y por lo tanto la mayor parte de los ESAL's, usan ese carril. En este caso LD puede variar de acuerdo al cuadro 2.16.

**Cuadro 2.16 Factor de distribución direccional (LD)**

Número de carriles en cada dirección	LD
1	1,00
2	0,80 - 1,00
3	0,60 - 0,80
4	0,50 - 0,75

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

## 2.18. ÍNDICE DE CRECIMIENTO ANUAL

Es el crecimiento anual de vehículos contando como parámetro el año anterior.

El parque automotor de Bolivia alcanzó a 1.800.354 vehículos

Con base en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) reportó que a 2017, el parque automotor en Bolivia alcanzó a 1.800.354 vehículos, cantidad superior en 5,2% a la registrada en 2016,

cuando llegó a 1.711.005 unidades tal como se observa en el cuadro 2.17 y la clasificación por tipo de vehículo de la gestión 2016 – 2017 que se muestra en el cuadro 2.18.

**Cuadro 2.17 Parque automotor, según departamento, 2016 – 2017**

Departamento	2016		2017		Variación porcentual
	Número de vehículos	Participación porcentual	Número de vehículos	Participación porcentual	
TOTAL	1.711.005,00	100,00	1.800.354,00	100,00	5,20
Chuquisaca	67.022,00	3,90	70.480,00	3,90	5,20
La Paz	407.621,00	23,80	427.922,00	23,80	5,00
Cochabamba	363.603,00	21,30	386.952,00	21,50	6,40
Oruro	93.766,00	5,50	94.799,00	5,30	1,10
Potosí	61.056,00	3,60	64.221,00	3,60	5,20
Tarija	95.711,00	5,60	102.203,00	5,70	6,80
Santa Cruz	577.553,00	33,80	605.540,00	33,60	4,80
Beni	41.051,00	2,40	44.193,00	2,50	7,70
Pando *	3.622,00	0,20	4.044,00	0,20	11,70

Fuente: Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) Instituto Nacional de Estadística (INE).

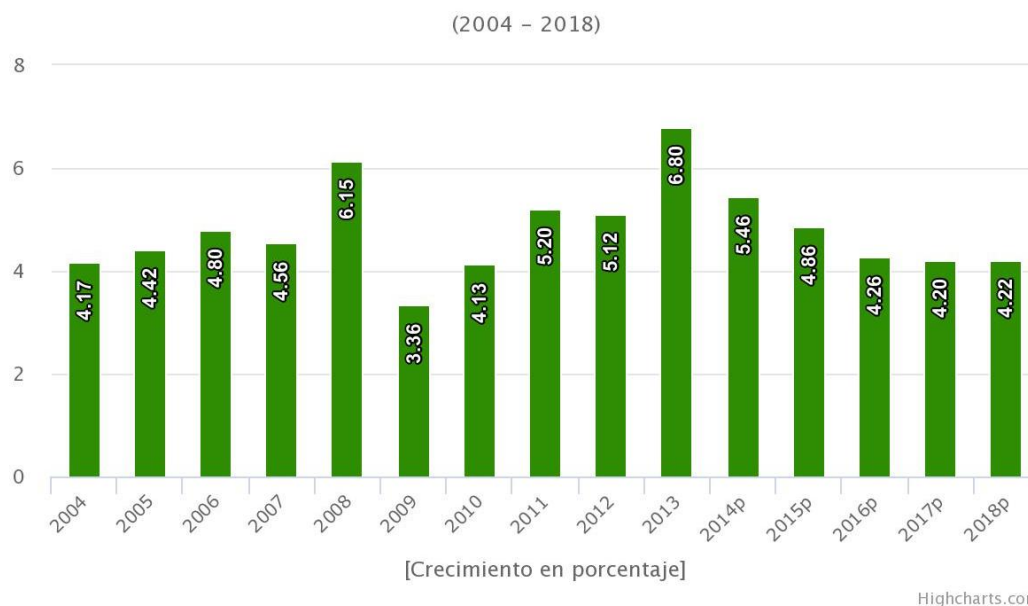
**Cuadro 2.18 Parque automotor según clase de vehículo 2016 - 2017**

Clases de vehículo	2016		2017		Valoración porcentual
	Número de Vehículos	Participación porcentual	Número de Vehículos	Participación porcentual	
Total	1.711.005,00	100,00	1.800.354,00	100,00	5,20
Automóvil	303.733,00	17,80	313.170,00	17,40	3,10
Camión	123.929,00	7,20	123.619,00	6,90	-0,30
Camioneta	173.211,00	10,10	179.842,00	10,00	3,80
Furgón	11.360,00	0,7	12.612,00	0,70	11,00
Jeep	60.871,00	3,6	61.322,00	34,00	0,7
Microbus	19.584,00	1,10	19.663,00	1,10	0,40
Minibús	94.358,00	5,50	103.381,00	5,70	9,60
Motocicleta	391.219,00	22,90	435.560	24,40	12,10
Ómnibus	10.863,00	0,60	11.079,00	0,60	2,00
Quadra Tiack	4.239,00	0,20	4.683,00	0,30	10,50
Torpedo	98,00	0,00	130,00	0,00	32,70
Tracto - Camión	22.756,00	1,30	24.195,00	1,30	6,30
Trimóvil - Camión	18,00	0,00	18,00	0,00	0,00
Vagoneta	494.766,00	28,90	508.080,00	28,20	2,70

Fuente: Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) Instituto Nacional de Estadística (INE).

El crecimiento también puede ser medido por el PIB (Producto interno bruto a la última gestión del año como se presenta en la figura 2.20 el consumo de combustible se puede notar en el cuadro 2.19.

**Figura 2.20 Producto Interno Bruto (PIB) anual**



Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE)

**Cuadro 2.19 Consumo de gasolina y diésel**

Gestion	Cantidad gasolina	Porcentaje %	Cantidad Diesel	Porcentaje %
2005	3,42		6,62	
2006	3,75	9,65	7,28	9,97
2007	4,32	15,20	7,59	4,26
2008	5,21	20,60	7,87	3,69
2009	5,76	10,56	7,95	1,02
2010	6,37	10,59	8,37	5,28
2011	6,96	9,26	9,11	8,84
2012	7,48	7,47	9,84	8,01
2013	8,14	8,82	10,67	8,43
2014	8,83	8,48	11,27	5,62
2015	9,52	7,81	11,36	0,80
2016	10,38	9,03	11,38	0,18

Fuente: Y.P.F.B. REFINACIÓN

En el cuadro 2.20 se puede observar resultados del último censo en Bolivia, el cuadro 2.21 refleja el promedio de todos los índices en estudio.

**Cuadro 2.20 Indicadores de población según departamento y municipio censo 2012**

DEPARTAMENTO Y MUNICIPIO	POBLACIÓN EMPADRONADA 2001			POBLACIÓN EMPADRONADA 2012			TASA DE MIGRACIÓN	TASA ANUAL DE CRECIMIEN
	Total	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	INTERNA	
<b>TARIJA</b>	<b>391.226</b>	<b>195.305</b>	<b>195.921</b>	<b>483.518</b>	<b>241.118</b>	<b>242.400</b>		<b>1,9</b>
<b>Cercado</b>								
Tarija	153.457	73.954	79.503	205.375	99.522	105.853	1,7	2,6
<b>Aniceto Arce</b>								
Padcaya	19.260	10.074	9.186	18.681	9.611	9.070	-0,5	-0,3
Bermejo	33.310	17.140	16.170	34.505	17.235	17.270	0,1	0,3
<b>Gran Chaco</b>								
Yacuiba	83.518	41.695	41.823	92.245	46.112	46.133	0,7	0,9
Caraparí	9.035	5.124	3.911	15.366	8.946	6.420	13,7	4,7
Villamontes	23.765	12.531	11.234	39.867	20.584	19.283	7,8	4,6
<b>Aviles</b>								
Uriondo	12.331	6.155	6.176	14.781	7.345	7.436	2,7	1,6
Yunchará	5.173	2.451	2.722	5.490	2.730	2.760	-3,8	0,5
<b>Méndez</b>								
Villa San Lorenzo	21.375	10.391	10.984	23.863	11.729	12.134	2,0	1,0
El Puente	10.663	5.120	5.543	11.354	5.674	5.680	0,6	0,6
<b>Burnet</b>								
<b>O'Connor</b>								
Entre Ríos	19.339	10.670	8.669	21.991	11.630	10.361	-0,8	1,1

Fuente: Instituto nacional de estadística

**Cuadro 2.21 Promedio de índice de tráfico (i %)**

Variable	Livianos	Buses	Camiones	Otros
Población prov. inicio				
Población prov. destino				
TPDA "si hubiera"				
PIB				
Consumo gasolina				
Consumo diesel				
Parque vehicular				
<b>Promedio</b>				
Inicio operación años				
Tráfico generado %				
Tráfico inducido %				

Fuente: Elaboración propia.

## 2.19. CONFIABILIDAD Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

El nivel de confianza es uno de los parámetros importantes introducidos por la AASHTO al diseño de pavimentos, porque establece un criterio que está relacionado con el desempeño del pavimento frente a las solicitaciones exteriores. La confiabilidad se define como la probabilidad de que el pavimento diseñado se comporte de manera satisfactoria durante toda su vida de proyecto, bajo las solicitaciones de carga e interperismo, o la probabilidad de que los problemas de deformación y fallas estén por debajo de los niveles permisibles.

La confiabilidad del diseño toma en cuenta las posibles variaciones de tráfico previstas, así como en las variaciones del modelo de comportamiento AASHTO, proporcionando un nivel de confiabilidad (R %) que asegure que las secciones del pavimento duren el periodo para el cual fueron diseñadas en el cuadro 2.24 se puede ver el tipo de carretera y su recomendación de confiabilidad.

El desvío estándar es una medida del desvío de los datos con respecto al valor medio. Cuanto menor sea el desvío estándar, los datos medidos estarán más próximos al valor medio, estos valores fueron desarrollados a partir de un análisis de varianza que existía en el AASHO Road Test y en base a predicciones futuras de tránsito, ver cuadro 2.22

para el nivel de confiabilidad recomendado y el cuadro 2.23 desviación estándar en función al tipo de pavimento.

**Cuadro 2.22 Nivel de confiabilidad aconsejado**

Tipo de carretera	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99,9	80-99,9
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Cuadro 2.23 Desvío estándar bajo condiciones de diseño**

Condiciones de diseño	Desviación estándar ( $S_o$ )	
	Pav. rígido	Pav. flexible
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0,34	0,44
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0,39	0,49

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

La esquematización del comportamiento real del pavimento y la curva de diseño propuesta por la AASHTO tienen la misma forma, pero no coinciden. La falta de coincidencia se debe a los errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a la dispersión de la información utilizada en el dimensionamiento del pavimento. Por esta razón la AASHTO adoptó un enfoque regresional para ajustar estas dos curvas. De esta forma los errores se representan mediante una desviación estándar  $S_o$ , para compatibilizar los dos comportamientos. El factor de ajuste entre las dos curvas se define como el producto de la desviación normal  $Z_R$ , por la desviación estándar  $S_o$ . Los factores de desviación normal estándar  $Z_R$  se muestran en el cuadro 2.24 en relación con la confiabilidad.



Si la construcción se va a realizar por etapas, la vida útil ha de ser menor al periodo de análisis (vida útil < periodo de análisis), en este caso se deben considerar las confiabilidades de todo el periodo de diseño, de donde resulta que:”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

$$R_{\text{etapa}} = R_{\text{total}}^{\frac{1}{n}} \quad (2.8)$$

Donde:

n: Número de etapas previstas.

$R_{\text{etapa}}$ : Confiabilidad de cada etapa

$R_{\text{total}}$ : Confiabilidad para el periodo total de diseño.

Este aspecto es sumamente importante para el diseño de pavimentos.

**Cuadro 2.24 Relación de confiabilidad y el valor de  $Z_R$**

Confiabilidad R( %)	Desviación normal estándar $Z_R$
50	0,000
60	0,253
70	0,524
75	0,674
80	0,841
85	1,037
90	1,282
91	1,340
92	1,405
93	1,476
94	1,555
95	1,645
96	1,751
97	1,881
98	2,054
99	2,327
99,9	3,090
99,99	3,750

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

## 2.20. MÓDULO RESILIENTE

“La subrasante es la capa en la que se apoya la estructura del pavimento y la característica especial que define la propiedad de los materiales que componen la subrasante, se conoce como módulo resiliente ( $M_R$ ).

La calidad de los suelos en el caso de las subrasantes: se puede relacionar con el módulo de resiliencia, módulo de Poisson, valor soporte del suelo (CBR) y el módulo de reacción de la subrasante( $k$ ).

El módulo de resiliencia es una medida de la propiedad elástica de los suelos que reconoce a su vez las características no lineales de su comportamiento. El módulo de resiliencia puede ser usado directamente para el diseño de pavimentos flexibles, pero también puede ser convertido a un módulo de reacción de la subrasante (valor  $k$ ) para el diseño de pavimentos rígidos.

La subrasante es definida como el suelo preparado y compactado para soportar la estructura de un sistema de pavimento.

Estas propiedades de los suelos que constituyen la subrasante, subbase y base son las variables más importantes que se deben considerar al momento de diseñar una estructura de pavimento”

(Ing. Coronado Iturbide, 2002)

“**El Manual de ABC**, recomienda que para la capa subbase en cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte CBR mayor o igual a 40% y la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles de no más de 40%.

En cuanto a las propiedades mecánicas, el material deberá tener un soporte  $CBR \geq 80\%$ ; la fracción gruesa deberá tener una resistencia al desgaste, medida por el ensaye de Los Ángeles, de no más de 35%. En caso de tratamiento superficial doble, el soporte deberá ser  $CBR \geq 100\%$

También, proporciona un medio de evaluación de los materiales de construcción de pavimentos, incluyendo suelos de subrasante, bajo una variedad de condiciones

ambientales y de estado de esfuerzos, que simulen en la realidad las situaciones existentes en pavimentos sometidos a cargas móviles del tránsito.

$M_R$  es el módulo resiliente, esto es, la relación entre el esfuerzo dinámico y la deformación que puede substituirse, en procedimientos analíticos que incluyen cargas de tráfico dinámico y requieren de un módulo de elasticidad.

$$Mr = \frac{\sigma d}{Er}$$

**Cámara de compresión triaxial.** La cámara de compresión triaxial se utiliza para contener la muestra y el fluido de confinamiento durante el ensayo. La cámara es similar a muchas celdas triaxial normales, excepto que es algo más grande para facilitar la carga montada internamente y el equipo de medida de la deformación, y que tiene salidas adicionales para las guías eléctricas de los aparatos de medida”

(Manual técnico para el diseño de carreteras, 2007)

## 2.21. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación de suelos es el Indicador de las propiedades físico - mecánicas que tienen los suelos.

### 2.21.1. CLASIFICACIÓN SEGÚN SUCS

Dicha clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. Como se muestra en el cuadro 2.25 y en el cuadro 2.26 se muestra las características de los suelos.

**Cuadro 2.25 Simbología del grupo SUCS**

Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto [ $>50$ ]	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo [ $<50$ ]	H

Fuente: Bañón Blázquez Luis y Beviá García José F.

**Cuadro 2.26 Características entre los suelos según SUCS**

DIVISIONES PRINCIPALES		SÍMBOLO	COMPORTAMIENTO MECÁNICO	CAPACIDAD DE DRENAJE	Densidad óptima P.M.	CBR In situ
SUELOS DE GRANO GRUESO	Gravas	GW	Excelente	Excelente	2.00 - 2.24	60 - 80
		GP	Bueno a excelente	Excelente	1.76 - 2.08	25 - 60
		GM { d u	Bueno a excelente Bueno	Aceptable a mala Mala a impermeable	2.08 - 2.32 1.92 - 2.24	40 - 80 20 - 40
		GC	Bueno	Mala a impermeable	1.92 - 2.24	20 - 40
	Arenas	SW	Bueno	Excelente	1.76 - 2.08	20 - 40
		SP	Aceptable a bueno	Excelente	1.60 - 1.92	10 - 25
		SM { d u	Aceptable a bueno Aceptable	Aceptable a mala Mala a impermeable	1.92 - 2.16 1.68 - 2.08	20 - 40 10 - 20
		SC	Malo a aceptable	Mala a impermeable	1.68 - 2.08	10 - 20
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas (LL < 50)	ML	Malo a aceptable	Aceptable a mala	1.60 - 2.00	5 - 15
		CL	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.60 - 2.00	5 - 15
		OL	Malo	Mala	1.44 - 1.70	4 - 8
	Limos y arcillas (LL > 50)	MH	Malo	Aceptable a mala	1.28 - 1.60	4 - 8
		CH	Malo a aceptable	Casi impermeable	1.44 - 1.76	3 - 5
		OH	Malo a muy malo	Casi impermeable	1.28 - 1.68	3 - 5
SUELOS ORGÁNICOS		Pt	Inaceptable	Aceptable a mala	-	-

Fuente: Bañón Blázquez Luis Y Beviá García José F.

### 2.21.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN AASHTO

Ha sido en Estados Unidos una de las más populares en carreteras es la empleada por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Inspirada en el modelo de Casagrande, considera siete grupos básicos de suelos, numerados desde el A-1 hasta el A-7. A su vez, algunos de estos grupos presentan subdivisiones; así, el A-1 y el A-7 tienen dos subgrupos y el A-2, cuatro. También se encuentra clasificada por un sub índice de grupo (IG).” En el cuadro 2.27 se puede apreciar una clasificación completa con relación al CBR.

(Ing. Coronado Iturbide, 2002)

**Cuadro 2.27 Características de los suelos según AASHTO y SUCS**

Clasificación ASSHTO	Descripción	Clasificación S.U.C.S	Densidad Seca (lb/pie <sup>3</sup> )	CBR %	Valor K (Psi/in)
Suelos granulares:					
A-1-a, bien graduada	Grava	GW , GP	125 - 140	60 - 80	300 - 400
A-1-a, bien graduada			120 - 130	35 - 60	300 - 400
A-1-b	Arena Gruesa	SW	110 - 130	20 - 40	200 - 400
A-3	Arena Fina	SP	105 - 120	15 - 25	150 - 300
A-2 Material Granular con alto contenido de finos					
A-2-4 gravoso	Grava Limosa	GM	130 - 145	40 - 80	300 - 500
A-2-5 gravoso	Grava Areno Limosa				
A-2-4 arenoso	Arena Limosa	SM	120 - 135	20 - 40	300 - 400
A-2-5 arenoso	Arara Gravo limosa				
A-2-6 gravoso	Grava Arcillosa	GC	120 - 140	20 - 40	200 - 450
A-2-7 gravoso	Grava Areno Arcillosa				
A-2-6 arenoso	Arcilla Arenosa	sc	105 - 130	10 - 20	150 - 350
A-2-7 arenoso	Arcilla Grava Arenosa				
Suelos finos:					
A-4	Limo	ML, OL	90 - 105	4 - 8	25 - 165*
	Mezclas de Limo/Arena/Grava		100 - 125	5 - 15	40 - 220*
A-5	Limo mal graduado	MH	80 - 100	4 - 8	25 - 190*
A-6	Arcilla Plástica	CL	100 - 125	5 - 15	25 - 255*
A-7-5	Arcilla Elastica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 - 125*
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH,OH	80 - 110	3 - 5	40 - 220*

(\*) El valor de suelos finos depende altamente de su grado de saturación

Fuente: Guía de versión 1997 manual de AASHTO.

“Con los valores del CBR se pueden obtener los módulos resilientes utilizando las relaciones siguientes:

Si  $CBR < 10 \%$

$$M_R \text{ (PSI)} = 1500 * CBR \quad (2.9)$$

Si  $CBR \geq 10 \%$  y  $\leq 80\%$

$$M_R \text{ (MPA)} = 22.1 * CBR^{0.55} \quad (2.10)$$

$$M_R \text{ (PSI)} = 3205 * CBR^{0.55} \quad (2.11)$$

## 2.22. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (K)

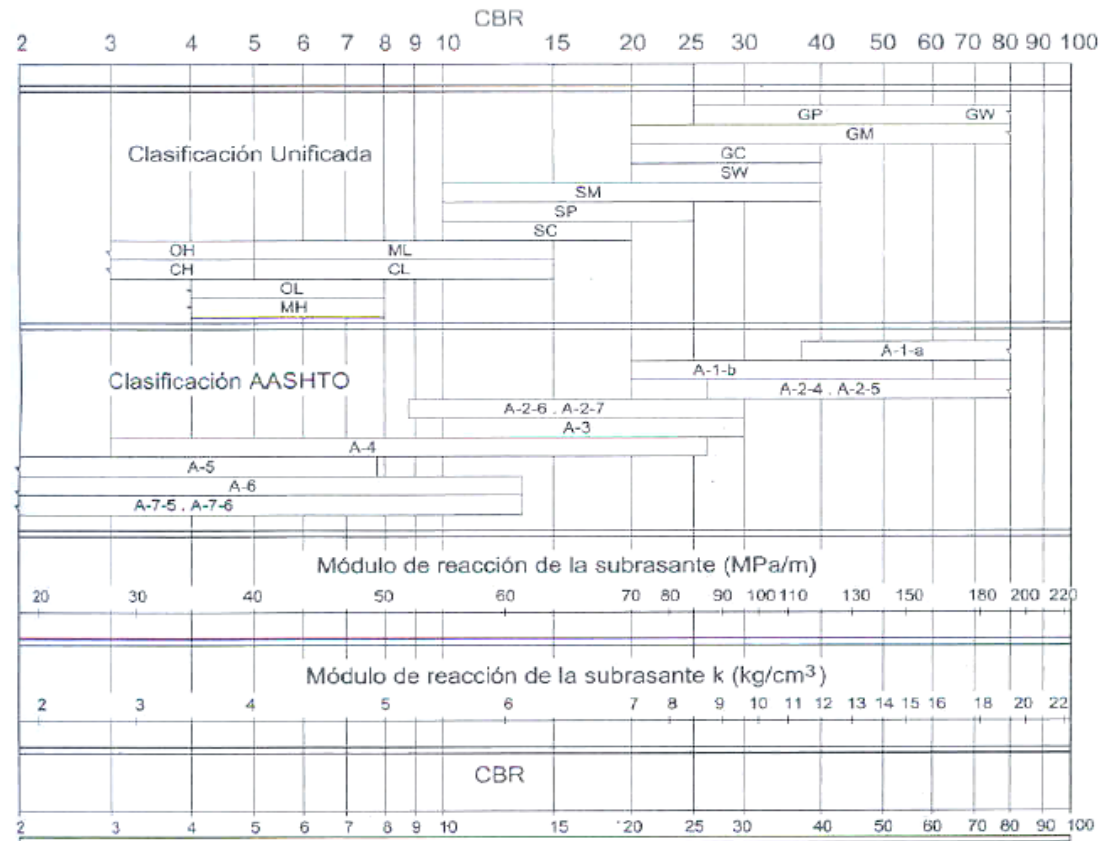
Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

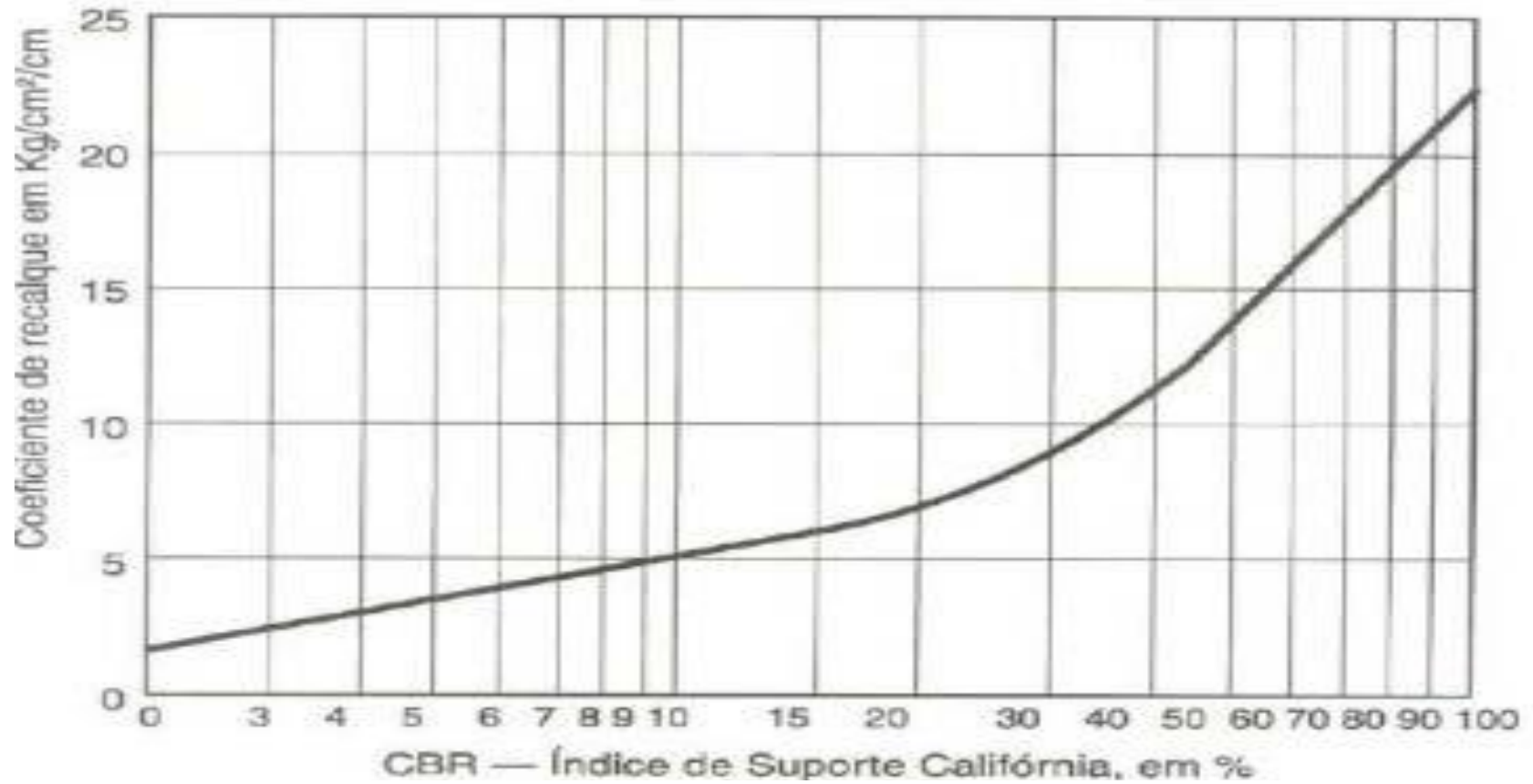
Las relaciones de la figura 2.21 son satisfactorias para propósitos de diseño y la figura 2.22 que es una curva relacionada en función al CBR, la figura 2.23. muestra el valor k bajo una subbase, mas cuadros están en el anexo 4.

**Figura 2.21 Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante**



Fuente: Manual Portland Cement Association: Subgrades and subbases for concrete pavements-Skokie. PCA 1971

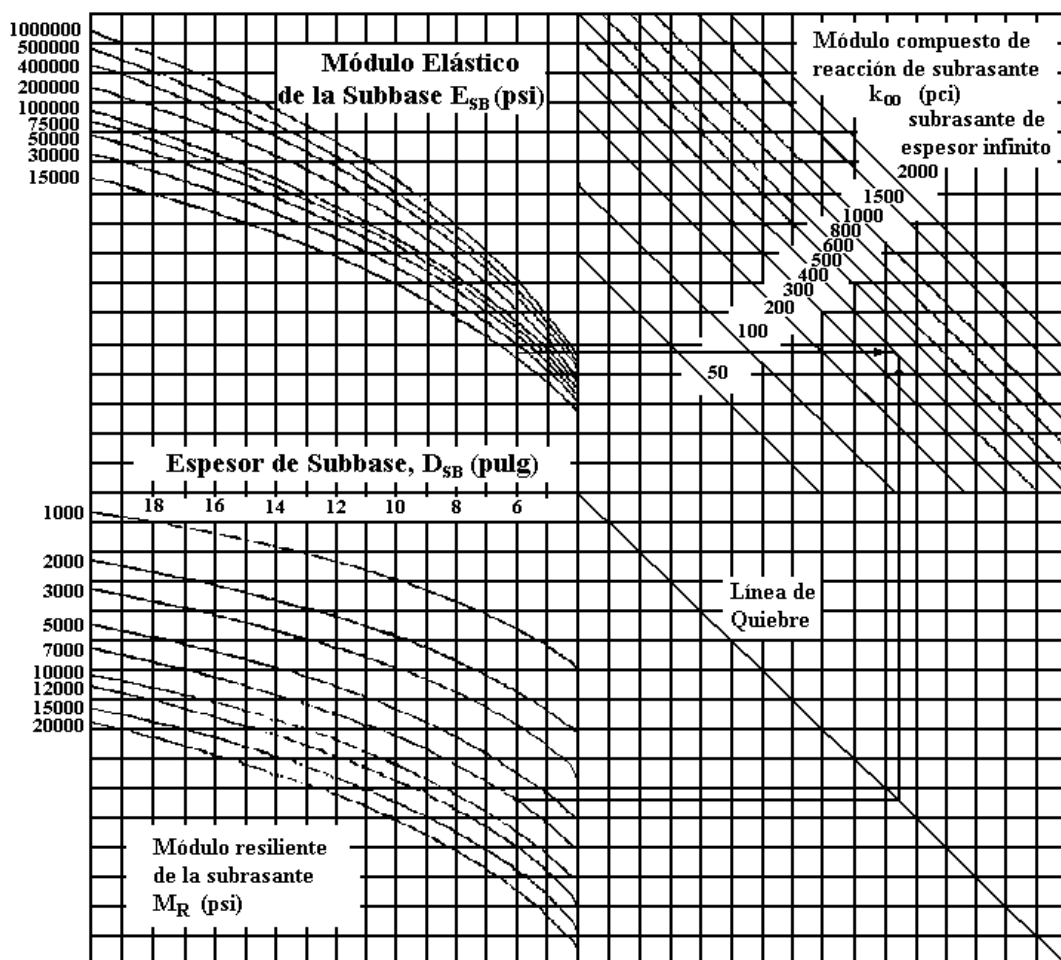
Figura 2.22 Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante



Fuente: SENÇO, 1997



Figura 2.23 Módulo compuesto de reacción de la subrasante



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Cuadro 2.28 Aumento de k debido a presencia de subbase granular**

Valor de soporte de subrasante		Valor soporte sobre el sistema estructural (Mpa/m), para espesor de base igual a:			
CBR (%)	K (MPa/m)	10 cm	15 cm	20 cm	30 cm
2	16	19	22	27	33
3	24	27	31	37	45
4	30	34	38	44	54
5	34	38	42	49	59
6	38	42	46	53	65
7	41	45	50	56	69
8	44	48	53	60	72
9	47	52	56	63	76
10	49	54	58	65	79
11	51	56	60	67	81
12	53	58	62	69	84
13	54	59	63	70	85
14	56	61	65	72	87
15	57	62	66	73	88
16	59	64	68	75	91
17	60	65	69	76	92
18	61	66	70	77	93
19	62	67	71	78	94
20	63	68	73	79	96

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

### 2.23. 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 Serviabiilty Index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial,  $P_o$  es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal,  $P_f$  es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista. Los valores recomendados son los que se obtuvieron en el AASHO Road Test, se puede observar en el cuadro 2.29.

Serviciabilidad inicial:

$P_o = 4,5$  para pavimentos rígidos

$P_o = 4,2$  para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

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

$P_f = 2,0$  para caminos de menor tránsito.

### **Cuadro 2.29 Índice de serviciabilidad**

Índice de serviciabilidad (PSI)	Calificación
5-4	Muy buena
4-3	Buena
3-2	Regular
2-1	Mala
1-0	Muy mala

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

#### **2.24. DRENAJE**

El valor de este coeficiente depende de dos parámetros: la capacidad del drenaje, que se determina de acuerdo al tiempo que tarda el agua en ser evacuada del pavimento, y el porcentaje de tiempo durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación, en el transcurso del año. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual y de las condiciones de drenaje, la AASHTO define cinco capacidades de drenaje, que se muestran en el cuadro 2.30.

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.

**Cuadro 2.30 Capacidad de drenaje**

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de 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: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Esta calidad de drenaje se expresa en la fórmula del dimensionamiento (Número estructural) a través de unos coeficientes de drenaje  $m_i$  que afectan a las capas no ligadas (cuadro 2.31).

**Cuadro 2.31 Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles**

Calidad de drenaje	% de tiempo en 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: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Para el diseño de pavimentos rígidos se usan los coeficientes de drenaje  $C_d$  que ajustan la ecuación de diseño que considera la resistencia de la losa, las tensiones y condiciones de soporte (cuadro 2.32).

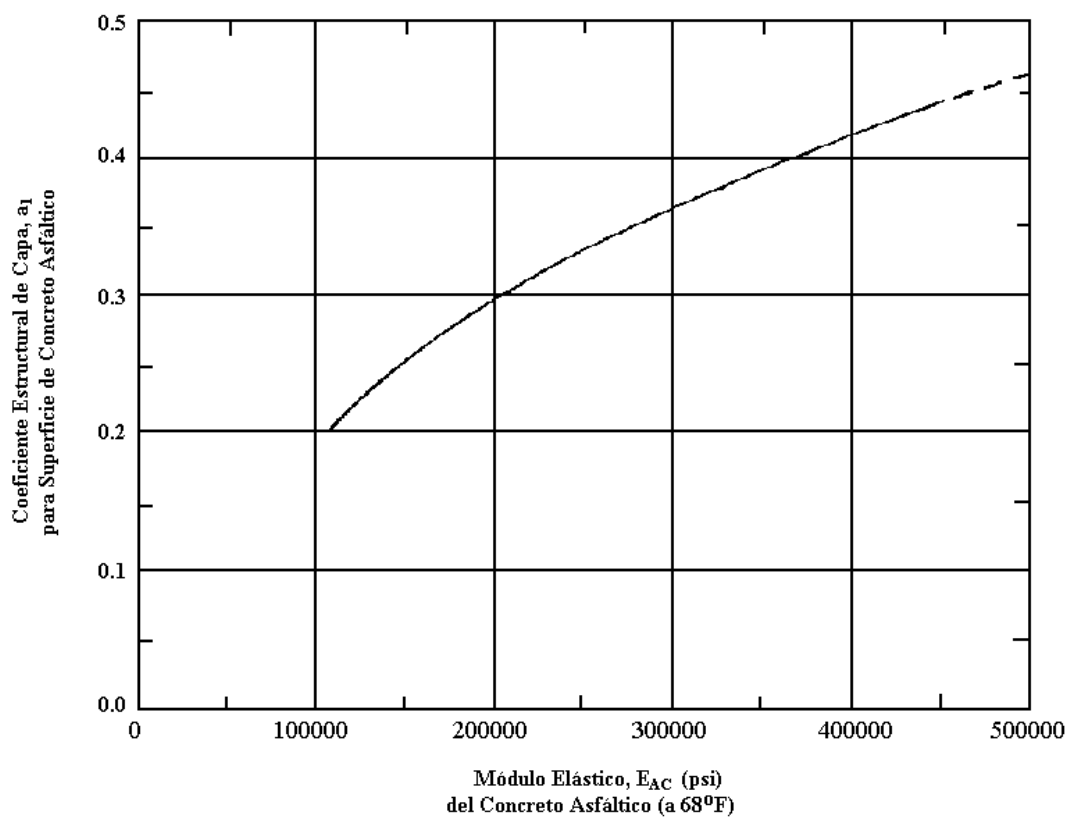
**Cuadro 2.32 Coeficientes de drenaje para pavimentos rígidos**

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>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: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

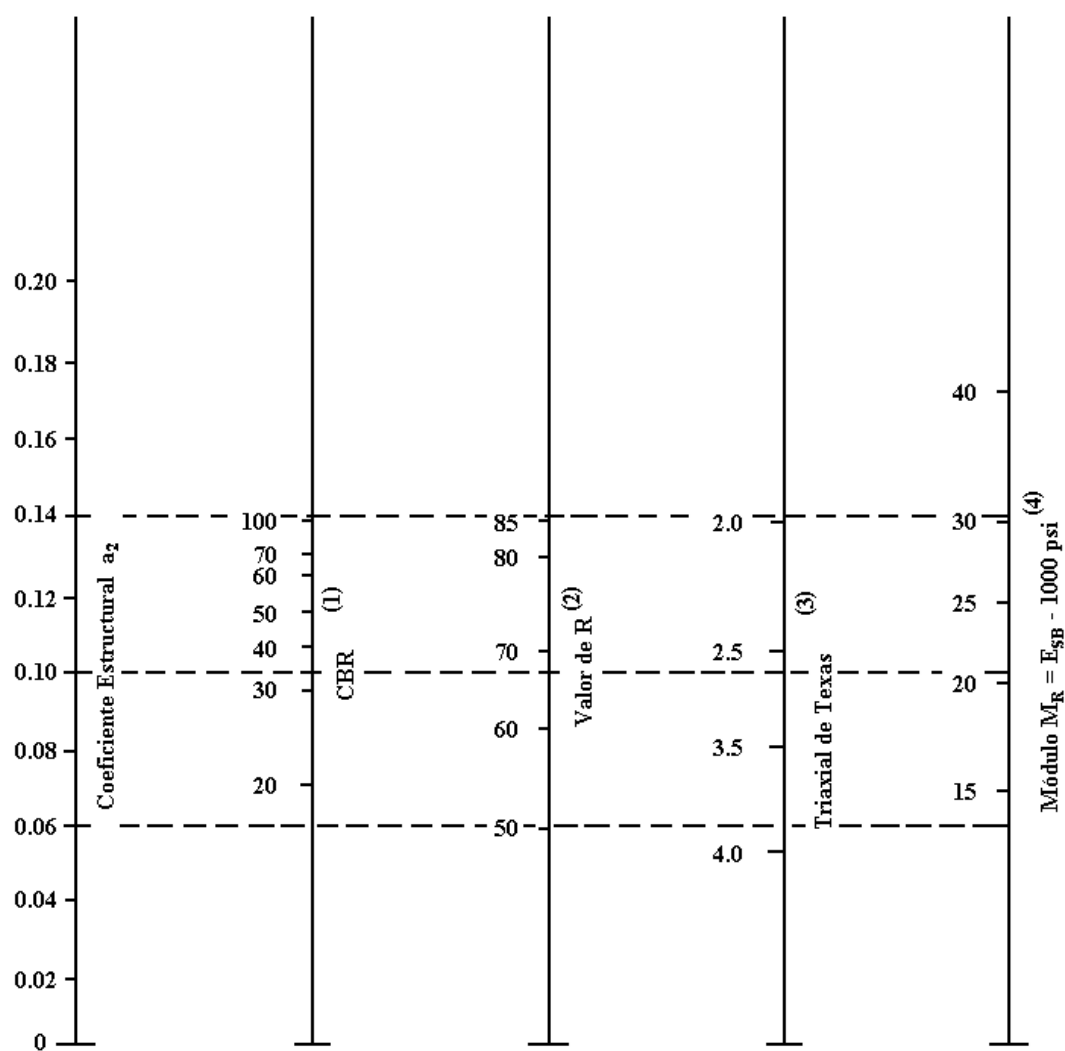
## 2.25. COEFICIENTES ESTRUCTURALES

Los coeficientes de capa a1, a2 y a3 se obtienen utilizando las correlaciones de valores de diferentes pruebas de laboratorio: Módulo Resiliente, Texas Triaxial, Valor R y CBR, tal como se muestra en las figuras 2.24 a 2.28 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.

**Figura 2.24 Coeficiente estructural de capa asfáltica**

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

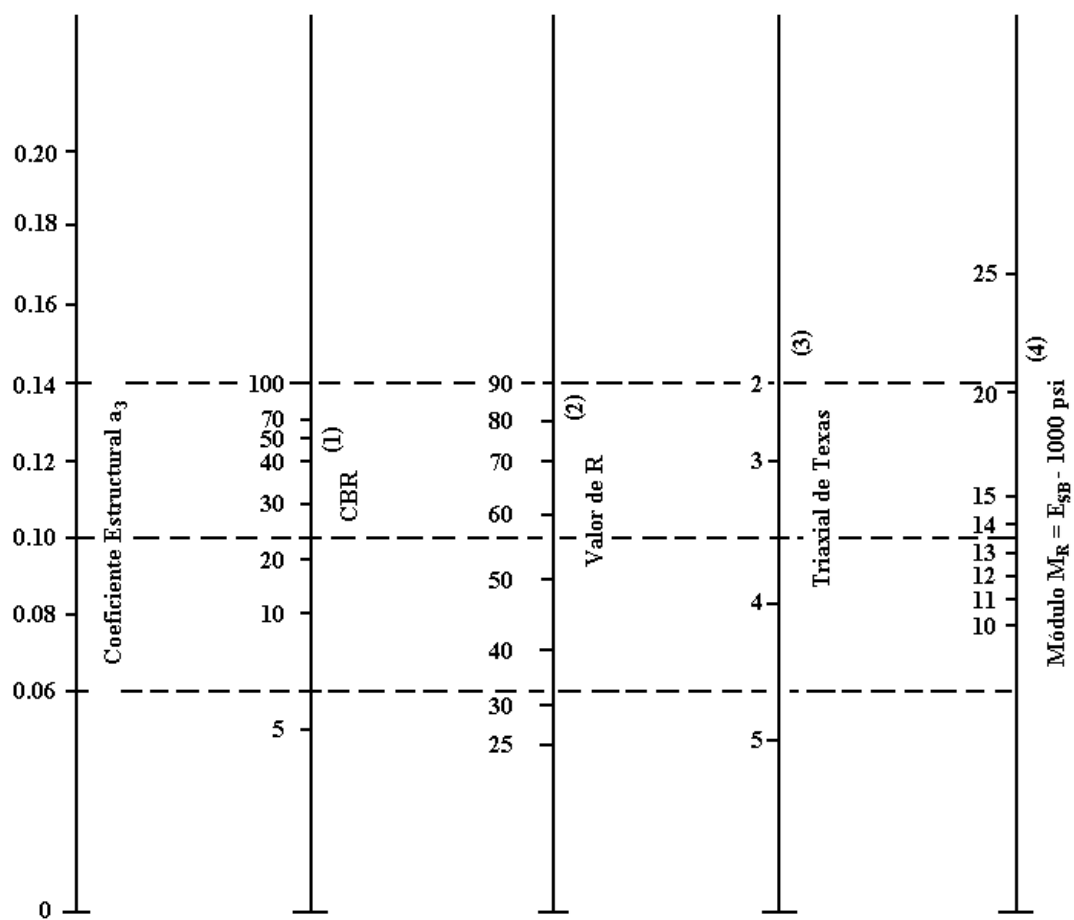
**Figura 2.25 Coeficiente estructural para base granular**



- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.  
 (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.  
 (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.  
 (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Figura 2.26 Coeficiente estructural para subbase granular**

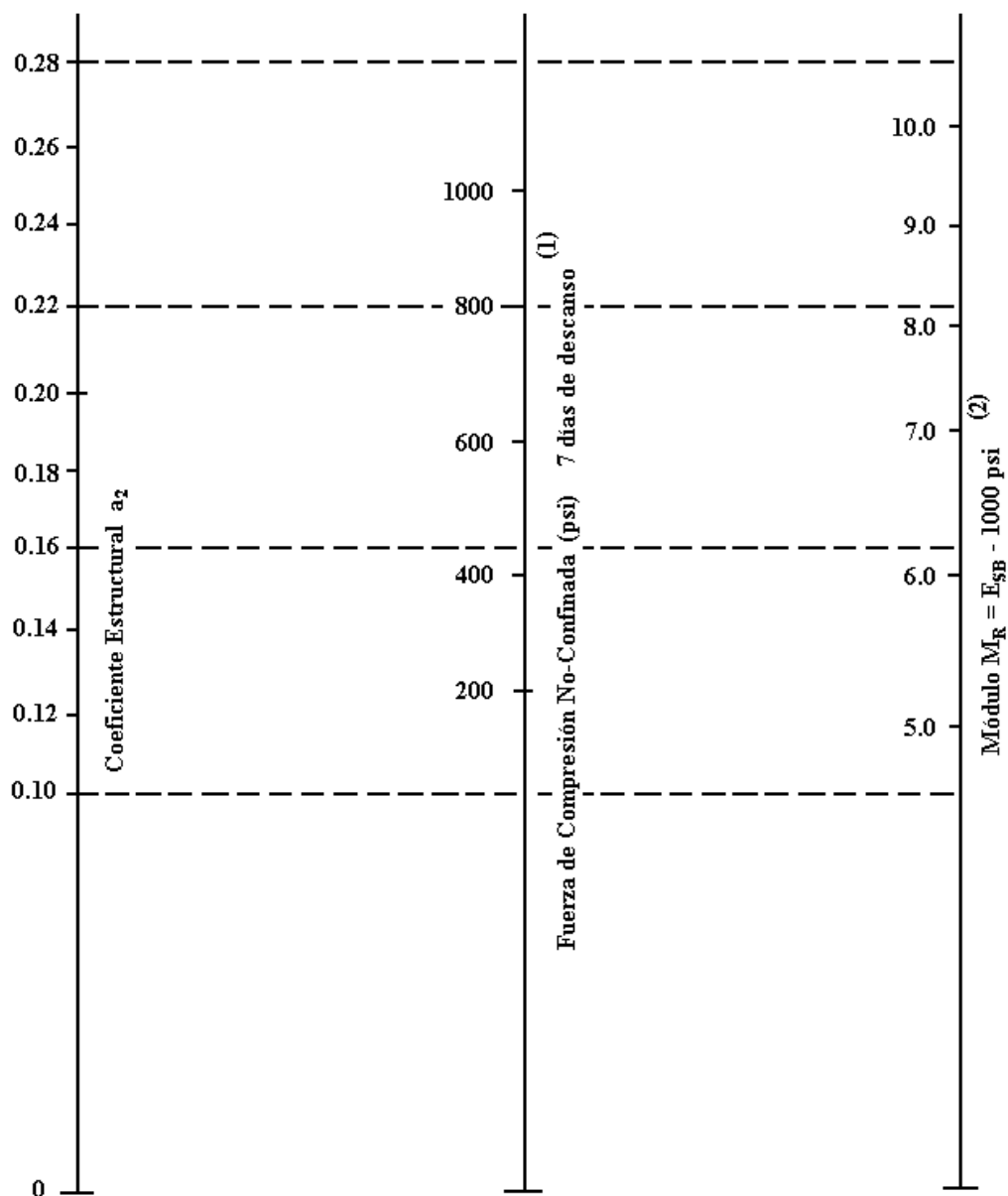


- (1) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Illinois.  
 (2) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de California, Nuevo Mexivo y Wyoming.  
 (3) Escala derivada por correlaciones promedios obtenidas de Texas.  
 (4) Escala derivada del proyecto NCHRP (3)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)



Figura 2.27 Coeficiente estructural para base granular y tratada con cemento

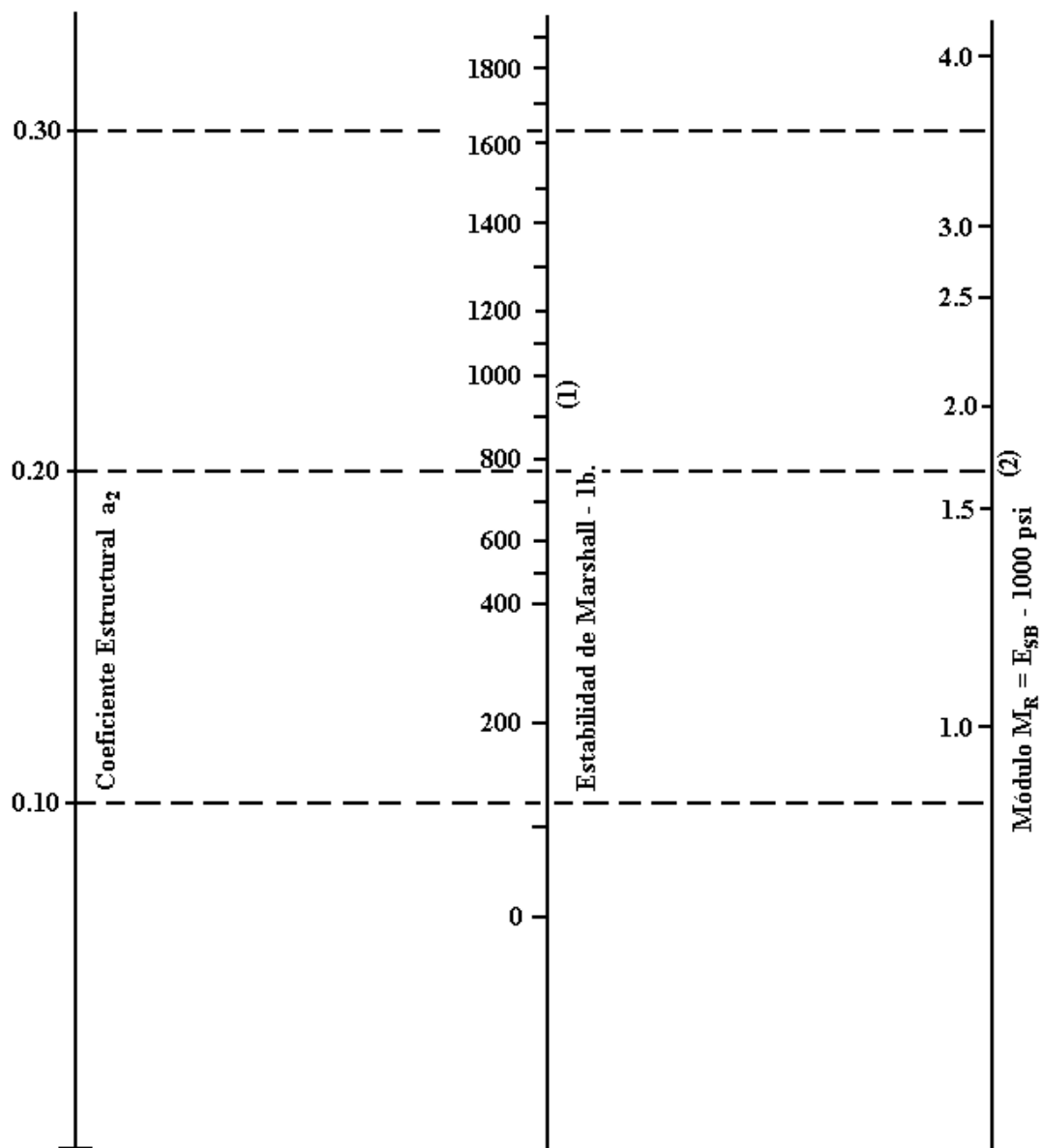


(1) Escala derivada por correlaciones promedio de Illinois, Louisiana y Texas.

(2) Escala derivada en el proyecto NCHRP (3).

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Figura 2.28 Coeficiente estructural para base tratada con cemento



(1) Escala derivada por correlaciones promedios de Illinois.

(2) Escala derivada en el proyecto NCHRP (3).

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

## 2.26. DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

“Este procedimiento está basado en modelos que fueron desarrollados en función de la performance del pavimento, las cargas vehiculares y resistencia de la subrasante para el cálculo de espesores.

El propósito del modelo es el cálculo del Número Estructural requerido (SN), en base al cual se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento.

### 2.26.1. ECUACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE

$$\text{Log } W_{18} = (z_R)(S_o) + (9.36)(\log(SN + 1)) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta ISP}{4.2 - 1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32)(\log M_R) - 8.07 \quad (2.12)$$

Donde las variables que considera la metodología de AASHTO son:

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

R (%) = Confiabilidad del proyecto.

$S_o$  = Desviación estándar de todas las variables.

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$P_t$  = Índice de servicio final.

$P_o$  = Índice de servicio inicial.

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

$W_{18}$  = Tráfico equivalente o ESAL's previstos.

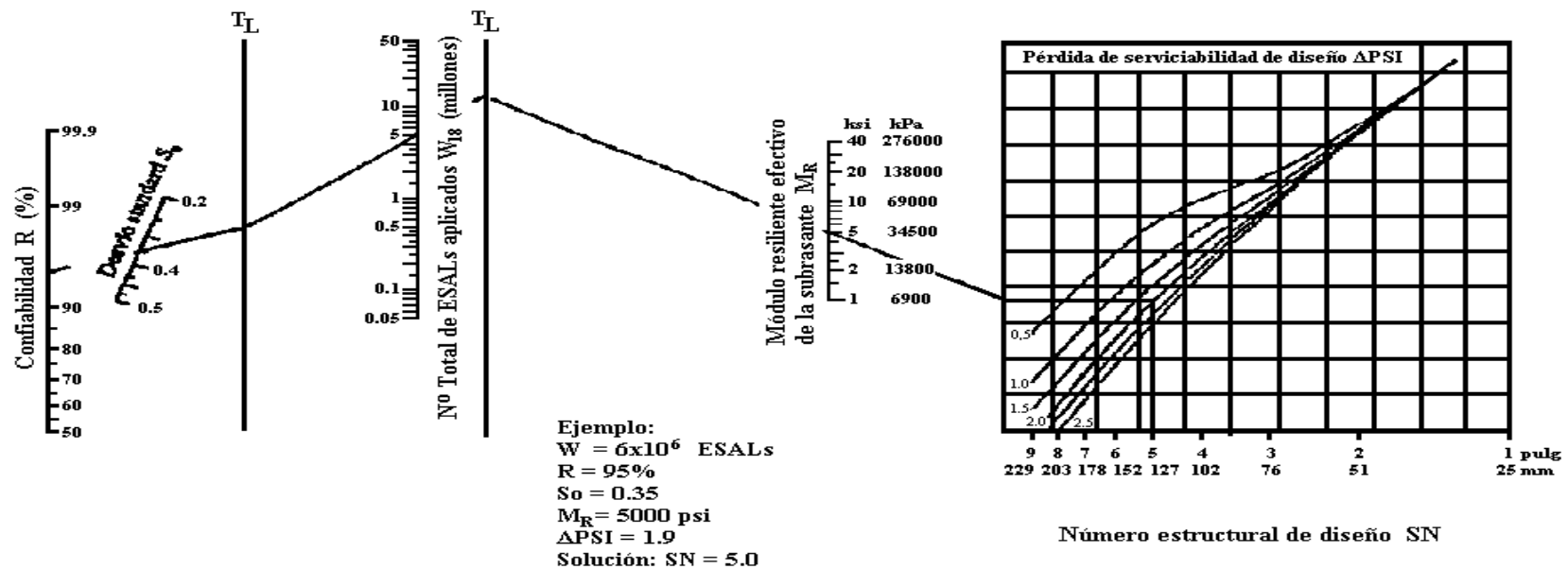
SN = Número estructural.

### 2.26.2. NOMOGRAMA DE DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE (AASHTO 93)

El nomograma sirve para el cálculo visual del número estructural (SN), donde los datos de entrada son:

$\Delta PSI$ ,  $M_R$ ,  $S_o$ ,  $W_{18}$  y  $R$  (%), mencionadas en las variables ver cuadro 2.33.

**Cuadro 2.33 Nomograma de diseño de pavimento flexible**



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

### 2.26.3. DISEÑO DE ESPESORES

La estructura del pavimento flexible está formada por un sistema de varias capas, por lo cual debe dimensionarse cada una de ellas considerando sus características propias.

Una vez que el diseñador ha obtenido el Número Estructural SN a partir de la subrasante para la sección estructural del pavimento, se requiere determinar una sección multicapa, que en conjunto provea una suficiente capacidad de soporte, equivalente al número estructural de diseño. Para este fin se utiliza la siguiente ecuación que permite obtener los espesores de la capa de rodamiento o carpeta, de la capa base y de la sub-base:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3 \quad (2.13)$$

Donde:

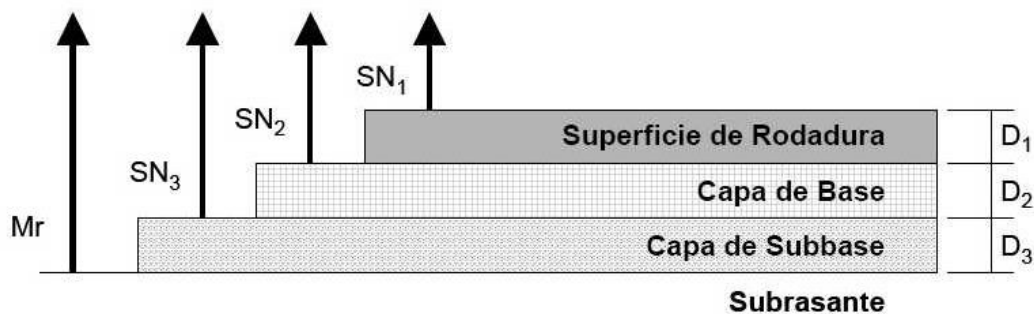
$a_1, a_2, a_3$  = Son los coeficientes estructurales o de capa (adimensionales), carpeta de rodadura, capa base y capa subbase.

$m_2, m_3$ : son los coeficientes de drenaje para capa base y subbase.

$D_1, D_2, D_3$  = Son los espesores de capas (Espesor de la carpeta, base y sub-base) en pulgadas o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

En el control de los espesores  $D_1, D_2$  y  $D_3$ , a través del SN, se busca dar protección a las capas granulares no tratadas, de las tensiones verticales excesivas que producirían deformaciones permanentes, como se muestra en la figura 2.29.

**Figura 2.29 Número estructural**



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (2.14)$$

Se adopta un espesor  $D_1$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa será:

$$SN^C_1 = a_1 * D_1 \quad (2.15)$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se usa el  $M_R$  de la subbase, para obtener el número estructural  $SN_2$  que será absorbido por la carpeta y la capa base, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN^C_1}{a_2 * m_2} \quad (2.16)$$

Se adopta un espesor  $D_2$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido será:

$$SN^C_2 = a_2 * m_2 * D_2 \quad (2.17)$$

Finalmente, para la sub-base se ingresa con el  $M_R$  que corresponde a la subrasante y se obtiene  $SN_3 = SN$  para todo el paquete estructural, por tanto, el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN^C_1 + SN^C_2)}{a_3 * m_3} \quad (2.18)$$

Se adopta un espesor  $D_3$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la subbase será:

$$SN^C_3 = a_3 * m_3 * D_3 \quad (2.19)$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN^C_1 + SN^C_2 + SN^C_3 \geq SN \quad (2.20)$$

Este procedimiento no es aplicable para determinar espesores sobre capas que tengan un módulo resiliente mayor a 40.000 psi (280 MPa). En este caso los espesores se determinarán mediante criterios constructivos o de acuerdo a la relación costo-eficiencia.

## 2.27. DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

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

### 2.27.1. ECUACIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO

$$\text{Log } W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta\text{PSI}}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[ \frac{E_c}{k} \right]^{0.25}} \right]} \right] \quad (2.21)$$

Donde las variables que considera la metodología de AASHTO Son:

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

R (%) = Confiabilidad del proyecto.

$S_0$  = Desviación estándar de todas las variables.

$\Delta\text{PSI}$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$P_t$  = Índice de servicio final.

$P_o$  = Índice de servicio inicial.

$W_{18}$  = Tráfico equivalente o ESAL's previstos.

D = Espesor de pavimento de concreto (en pulgadas)

$S'_c$  = Resistencia media del concreto (en psi) o flexotracción a los 28 días (métodos de carga en los tercios de la luz)

$C_d$  = Coeficiente de drenaje

$J$  = Coeficiente de transferencia de cargas.

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

$K$  = Módulo de reacción (en pci, libras por pulgada cúbica) de la superficie (subbase, subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

## 2.28. VARIABLES DE ENTRADA

Las variables de entrada son las mismas que para el pavimento flexible, pero se adicionan las propiedades del hormigón.

## 2.29. MATERIALES QUE FORMAN PARTE DEL HORMIGÓN

### 2.29.1. MÓDULO DE ROTURA DEL CONCRETO

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

La resistencia a compresión ( $f'_c$ ) es la resistencia a 28 días a cara axial lograda en especímenes de concreto.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)

“Además, se debe indicar su clase de resistencia en Mpa o en lbs/pulg<sup>2</sup>, según sea el caso, 21, 28, 35 y 42 Mpa (3000, 4000, 5000 y 6000 lb/pulg<sup>2</sup>)”.

(Ing. Coronado Iturbide, 2002)

El módulo de rotura o resistencia a la tracción por flexión del hormigón  $S'_c$  se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio ecuación 2.22 y por tracción indirecta como se ve en la ecuación 2.23.

$$S'_c = K * \sqrt{f'_c} \quad (2.22)$$

Donde:

$f'_c$  = Es la resistencia a compresión del hormigón (psi).



$S'c$  = Resistencia media del concreto (en psi)

$K$  = Constante de valores entre 7 y 12.

Resistencia a tracción indirecta ayuda a determinar la variable resistencia media del concreto.

$$S'c = 1.02 * f'i + 210 \quad (2.23)$$

Donde:

$f'i$  = Resistencia a tracción indirecta en psi.

$$S'c = 1.02 * f'i + 1450 \quad (2.24)$$

Donde:

$f'i$  = Resistencia a tracción indirecta en Kpa.

#### Cuadro 2.34 Valores de contracción del hormigón

Resistencia a la tracción indirecta $f'i$ kPa (psi)	Contracción en mm/mm (pulg/pulg)
2070 (300)	0,0008
2760 (400)	0,0006
3450 (500)	0,00045
4140 (600)	0,0003
4830 (700)	0,0002

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

El coeficiente de dilatación térmica depende de la relación A/C, de la edad del hormigón, del contenido de cemento, de la humedad relativa y del tipo de agregado. Los valores recomendados por AASHTO se muestran en cuadro 2.35.

**Cuadro 2.35 Coeficiente de dilatación del hormigón**

Tipo de agregado grueso	Coeficiente de dilatación	
	X 10 <sup>-6</sup> /°C	x 10 <sup>-6</sup> /°F
Cuarzo	11,90	6,60
Arenisca	11,70	6,50
Grava	10,80	6,00
Granito	9,50	5,30
Basalto	8,60	4,80
Caliza	6,80	3,80

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Tensión en el acero: Se debe utilizar el 75% de la resistencia última del acero. En el cuadro 2.36 se muestran los valores de tensiones para acero de grado 60.

**Cuadro 2.36 Tensiones de trabajo del acero en Mpa (ksi)**

f <sub>i</sub> ' del Hormigón a los 28 días		Dimensión de las barras de refuerzo		
KPa	psi	12mm	16mm	20mm
2070	300	448 (65)	393 (57)	372 (54)
2760	400	462 (67)	414 (60)	379 (55)
3450	500	462 (62)	421 (61)	386 (56)
4140	600	462 (67)	434 (63)	400 (58)
4830	700	462 (67)	448 (65)	407 (59)
5520	800	462 (67)	462 (67)	414 (60)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

### 2.29.2. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura.

$$E_C = 57000 * \sqrt{f'_C} \quad (2.25)$$

Donde:

$E_C$  = Módulo de elasticidad del concreto (psi).

$f'_c$  = Es la resistencia a compresión del hormigon (psi).

$$E_C = 150000 * \sqrt{f'_C} \quad (2.26)$$

Donde:

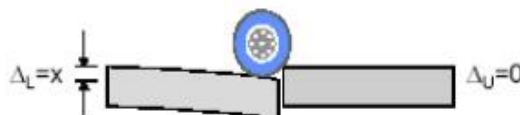
$E_C$  = Módulo de elasticidad del concreto (Kpa).

$f'_c$  = Es la resistencia a compresión del hormigon (Kpa).

### 2.29.3. COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA

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 según se muestra en la figura 2.30 y 2.31.

**Figura 2.30 Transferencia de carga nula = 0 %**



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Figura 2.31 Transferencia de carga excelente = 100 %**



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Se considera un coeficiente de transferencia de carga  $J$ , con el fin de evaluar la capacidad del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. En el cuadro 2.37. se muestran valores de coeficientes ( $J$ ), recomendadas para diferentes condiciones:

**Cuadro 2.37 Coeficientes de transferencia de cargas**

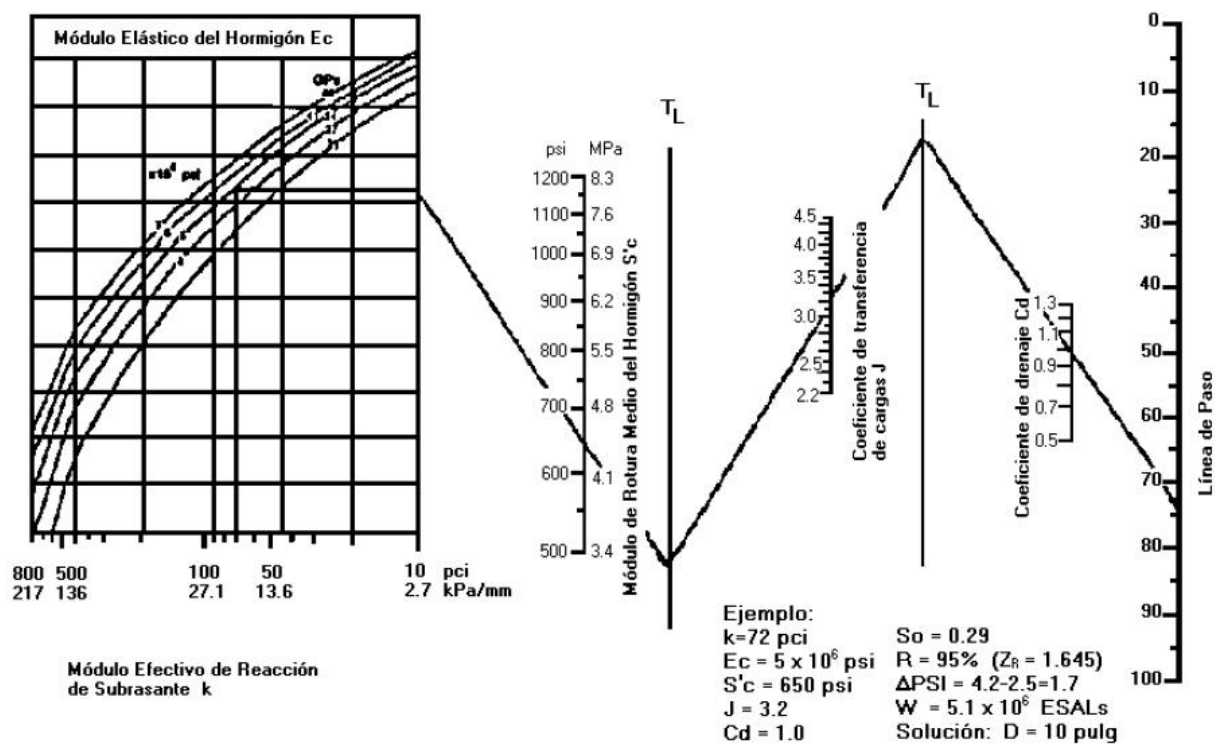
Tipo de pavimento	Berma de Asfalto		Berma de H vinculada	
	Disp. de transferencia		Disp. de transferencia	
	si	no	si	no
Junta sencilla y junta reforzada	3,20	3,80 - 4,40	2,50 - 3,10	3,60 - 4,20
Continuamente reforzada	2,90 - 3,20	N/D	2,30 - 2,90	N/D

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

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.

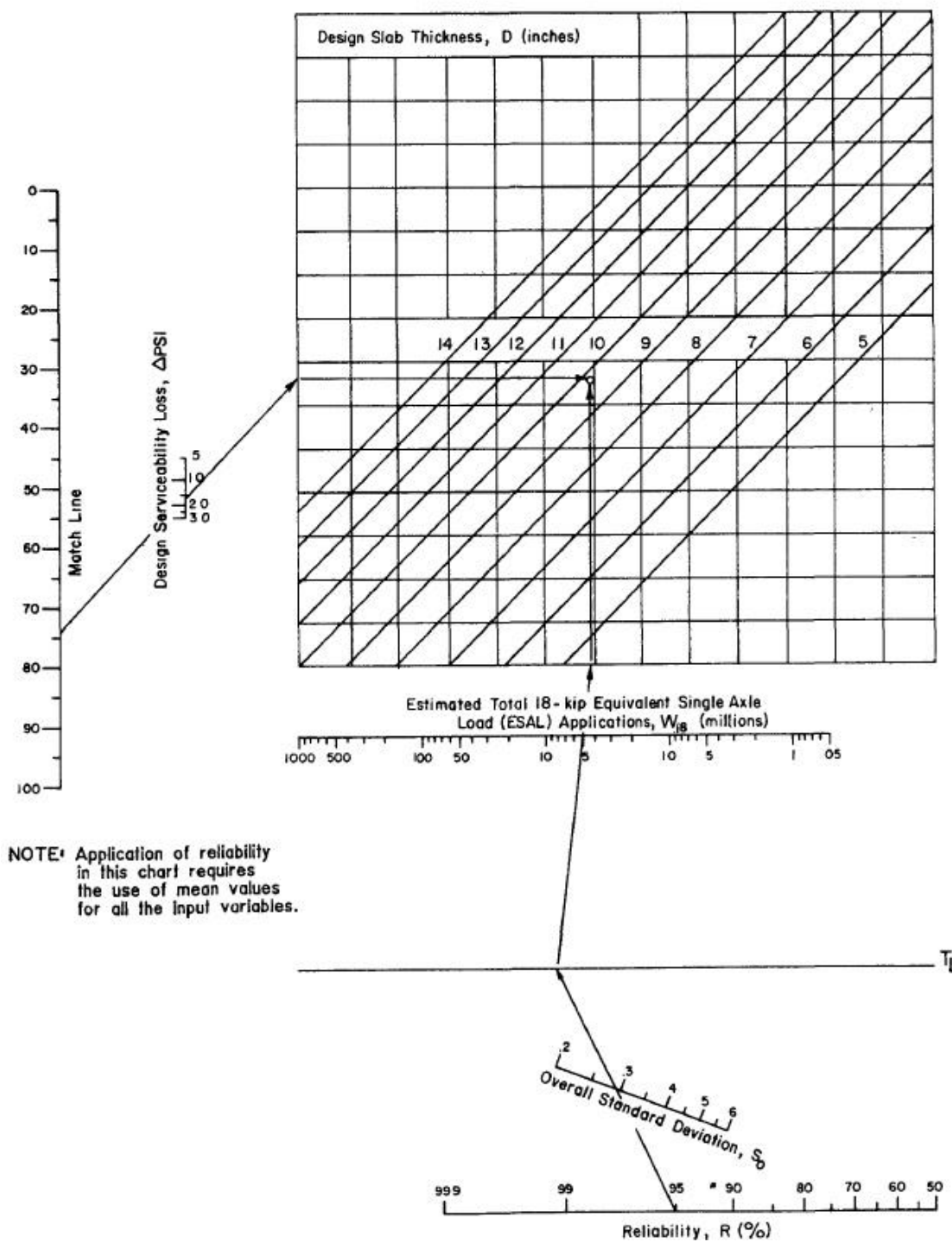
## 2.29.4. NOMOGRAMA DEL DISEÑO

Cuadro 2.38 Nomograma para el diseño de pavimento rígido



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Cuadro 2.39 Nomograma para el diseño de pavimento rígido



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

## 2.30. VARIABLES PARA EL CÁLCULO DE ARMADURAS EN PAVIMENTOS CON JUNTAS

### 2.30.1. LONGITUD DE LOSA

Es la distancia de separación entre las juntas transversales. El valor numérico de esta longitud afecta el comportamiento de los pavimentos de hormigón armado, en mayor grado mientras mayor sea la longitud.

### 2.30.2. TENSIONES DE TRABAJO

La tensión de trabajo recomendada para las barras de acero ( $f_s$ ) es el 75% de la tensión de fluencia, para un acero grado 40, la tensión admisible es de 207 MPa (30000 psi) y para un acero de grado 60 es de 307 MPa (45000 psi), más valores se encuentran en la tabla 2.40.

**Cuadro 2.40 Propiedades de los aceros**

Grado	ASTM	$f_y$ min	$f_y$ max	$f_u$ min
		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )
40	A 615	2,300	--	4,200
60	A 615	4,200	--	6,300
75	A615	5.3	--	7,000
60	A 706	4,200	5,500	5,600

Fuente: <http://biblioteca.uns.edu.pe>

### 2.30.3. FACTOR DE FRICCIÓN

Representa la resistencia friccional entre la base inferior de la losa y la superficie superior de la subbase o subrasante (si no tiene subbase). Esta resistencia se valora a través del factor de fricción “F” que fue obtenido considerando la teoría de fricción de un cuerpo sobre otro y se utiliza para determinar el porcentaje de acero requerido, mediante la ecuación 2.27 en unidades inglesas y 2.28 en unidades métricas.

$$P_s = \left( \frac{L * F}{2 * f_s} \right) * 100 \quad (2.27)$$

El peso unitario del hormigón de 2300 Kg/m<sup>3</sup> (22.5 KN/ m<sup>3</sup> o 144 pcf)

Donde:

$P_s$  = Porcentaje de armadura requerida.

$L$  = Longitud de losa.

$F$  = Factor de fricción.

$f_s$  = Tensión de trabajo del acero (psi)

Para unidades métricas la ecuación se transforma en:

$$P_s = \left( \frac{\gamma_H \cdot L \cdot F}{2 \cdot f_s} \right) * 100 \quad (2.28)$$

Donde:

$P_s$  = Porcentaje de armadura requerida

$\gamma_H$  = Peso específico del hormigón  $\approx 22,5 \text{ kN/m}^3$

$L$  = Longitud de losa en metros

$F$  = Factor de fricción

$f_s$  = Tensión de trabajo del acero en kPa

El factor de fricción representa la fuerza requerida, en relación al peso de la losa, para hacer deslizar la losa sobre la sub-base. Por ejemplo,  $F = 1,5$  significa que se requiere una fuerza de 1,5 veces de peso de la losa, para deslizar la misma sobre la subbase. En el cuadro 2.41 se indican algunos valores de factor de fricción.”

(American Association of State and Highway Transportation Officials, 1993)



**Cuadro 2.41 Valores del factor de fricción**

Tipo de material bajo la losa	Factor de fricción (F)
Tratamiento superficial	2,20
Estabilización con cal	1,80
Estabilización con asfalto	1,80
Estabilización con cemento	1,80
Grava de río	1,50
Piedra triturada	1,50
Arenisca	1,20
Subrasante natural	0,90

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

#### 2.30.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL HORMIGÓN

Se debe considerar la resistencia a tracción a los 28 días y el valor del 86% del módulo de rotura del hormigón.

#### 2.30.5. RETRACCIÓN DEL HORMIGÓN

La retracción por secado es la que ocurre por pérdida de agua y su efecto es una reducción de las dimensiones de la pieza del hormigón. Los valores recomendados por AASHTO (1993) están en el cuadro

**Cuadro 2.42 Valores de contracción del hormigón**

Resistencia a la tracción indirecta $f'_i$ kPa (psi)	Contracción en mm/mm (pulg/pulg)
2070 (300)	0,0008
2760 (400)	0,0006
3450 (500)	0,00045
4140 (600)	0,0003
4830 (700)	0,0002

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

### 2.30.6. COEFICIENTE DE DILATACIÓN DEL HORMIGÓN

El coeficiente de dilatación térmica depende de la relación A/C, de la edad del hormigón, del contenido de cemento, de la humedad relativa y del tipo de agregado. Los valores recomendados por AASHTO se muestra en el Cuadro 2.43.

**Cuadro 2.43 Coeficiente de Dilatación del Hormigón**

Tipo de agregado grueso	Coeficiente de dilatación	
	X 10 <sup>-6</sup> /°C	x 10 <sup>-6</sup> /°F
Cuarzo	11,90	6,60
Arenisca	11,70	6,50
Grava	10,80	6,00
Granito	9,50	5,30
Basalto	8,60	4,80
Caliza	6,80	3,80

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

El cálculo del número de barras requeridos en el diseño por la ecuación 2.29 y la separación de las barras de junta longitudinal por la ecuación 2.30.

$$N = 0.01273 * P_s * W_s * \left(\frac{D}{\phi^2}\right) \quad (2.29)$$

Donde:

N = Cantidad de barras requeridas.

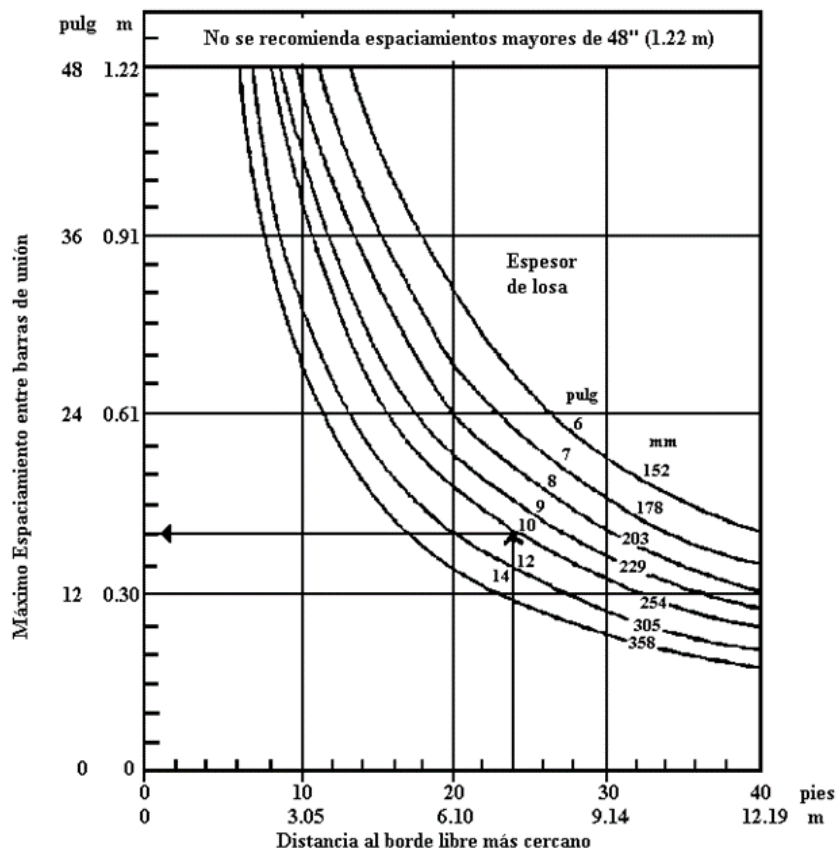
P<sub>s</sub> = Porcentaje de armadura requerida.

W<sub>s</sub> = Ancho total de la sección del pavimento (pulg).

D = Espesor de la losa de hormigón (pulg).

Ø<sup>2</sup> = Diámetro de barra de acero (pulg).

**Figura 2.32 Espaciamiento máximo recomendado para barras de unión de 13 mm en pavimentos de hormigón simple. acero grado 40**



Ejemplo: Distancia al borde libre = 24 pies  
 D = 10 pulg  
 Solución: Espaciamiento = 16 pulg

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Diseño de armadura longitudinal**, esta armadura se utiliza tanto en pavimentos de hormigón armado con juntas, como en pavimentos continuos. Se colocan con el fin de controlar las fisuras longitudinales, para que éstas se mantengan cerradas, minimizando el ingreso de agua y garantizando una buena transferencia de cargas.

La ecuación 30 puede ser usada para la determinación de separación entre barras:

$$Y = \frac{As}{P_t * D} * 100 \quad (2.30)$$

donde:

Y = Separación entre barras

As = Sección transversal de acero

Pt = Porcentaje de acero

D = Espesor de losa

Se recomienda que la separación entre barras, Y, se encuentre entre 914 a 1524 [mm] (36 a 60 pulg).

**Cuadro 2.44 Tensiones de trabajo del acero en Mpa (ksi)**

f <sub>i</sub> ' del Hormigón a los 28 días		Dimensión de las barras de refuerzo		
KPa	psi	12mm	16mm	20mm
2070	300	448 (65)	393 (57)	372 (54)
2760	400	462 (67)	414 (60)	379 (55)
3450	500	462 (62)	421 (61)	386 (56)
4140	600	462 (67)	434 (63)	400 (58)
4830	700	462 (67)	448 (65)	407 (59)
5520	800	462 (67)	462 (67)	414 (60)

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

**Cuadro 2.45 Dimensiones en pasajuntas en pavimentos urbanos**

Espesor del pavimento (cm)	Diámetro de la pasajunta		Longitud (cm)	Separación (cm)
	mm	pulgadas		
10 - 150	16	5/8	30	45
15 - 18	20	3/4	38	38
18 - 20	25	1	38	30
20 - 25	32	1 1/4	38	30

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

### 2.30.7. CÁLCULO DE LAS BARRAS DE UNIÓN TRANSVERSAL

Estas barras se colocan a lo largo de las juntas longitudinales o entre el borde de calzada y una banquina vinculada. Su función es la de evitar la separación entre carriles de circulación o el descenso de una respecto a la otra. Además, no deben unirse muchas losas ya que esto restringiría el movimiento entre losas provocando problemas. El ancho máximo de pavimento a unir es de 11,6 m (dos carriles de 3,7 m de ancho, una berma externa de 3 m y una berma interna de 1,2 m de ancho).

Las características de los pasadores no requieren de grandes cálculos. Las dimensiones recomendadas por AASHTO son:

Diámetro del pasador = 1/8 de espesor de la losa

Longitud = 18 pulgadas (45cm)

Espaciamiento = 12 pulgadas (30cm)

## **2.31. DIMENSIÓN DEL RESERVORIO DE JUNTAS**

### **2.31.1. PROFUNDIDAD INICIAL DE LA JUNTA**

La profundidad de las juntas longitudinales y transversales debe ser, que asegure que la fisura tendrá lugar en el sitio, la profundidad debe ser:

Junta transversal = 1/4 espesor de la losa.

Junta longitudinal = 1/3 espesor de la losa.

Las juntas pueden hacerse por aserrado, colocado de moldes o plásticos formando las juntas.

### **2.31.2. DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL RESERVORIO DE JUNTAS**

Los movimientos de apertura y cierre de la junta y tipo de material de sellado a usar, dependen de la longitud de la losa, cambios de temperatura, coeficiente térmico del hormigón y la fricción entre losa y subbase, la apertura media de una junta se la calcula por la ecuación 2.31.

$$\Delta L = C * L * ((\alpha_c * T) + Z) \quad (2.31)$$

Donde:

$\Delta L$  = Apertura de junta por variaciones de temperatura y contracción por secado (pulg o mm)

$\alpha_c$  = Coeficiente de contracción térmica del hormigón °F<sup>-1</sup> o °C<sup>-1</sup>

T = Rango de temperatura (diferencia de temperatura en el momento del vaciado del hormigón y la mínima (°F o °C))

Z = Retracción por secado del hormigón

L = Espaciamiento entre juntas (pulg o mm)

C = factor de ajuste está en función de la fricción de la losa y subbase C= 0.8 subbase granular no tratada y C= .065 para subbase estabilizada.

El ancho de la junta requerido es:

$$W = \Delta L / S \quad (2.32)$$

Donde:

W = Ancho de la junta de contracción

$\Delta L$  = Apertura de junta por variaciones de temperatura y contracción por secado (pulg o mm)

S = Deformación específica admisible del material del sellado. Para asfalto S = 0,25 mm/mm (25%) y para selladores de silicona S = 0,50 mm/mm (50%), para selladores in situ, la profundidad del reservorio se determina en función al factor de forma deseado para la junta (relación ancho/profundidad). Por la naturaleza del sellador varía entre 0,5 y 2,0 con un valor típico de 1,0 para selladores asfálticos y de 2,0 para selladores de silicona

Para selladores prefabricados se colocan en las juntas a presión y deben quedar comprimidos entre 20 y 50 % de su ancho normal durante toda su vida. En este caso, las dimensiones del reservorio son aconsejadas por el fabricante.

### **2.32. APLICACIÓN**

Es un término que proviene del vocablo latino applicatio y que hace referencia a la acción y el efecto de aplicar o aplicarse (poner algo sobre otra cosa, emplear o ejecutar algo, atribuir).

Este es un vocablo que puede tener varios usos o significados; y puede aludir al posicionamiento o colocación de algo en particular sobre otro o que haga contacto con este. Uno de los usos más destacados en la actualidad para aplicación reside en la informática donde es un programa creado para un uso en específico.

### **2.33. VISUAL BASIC**

“El software VISUAL BASIC es un programador con un lenguaje de programación visual con un entorno de desarrollo gráfico proveniente del Basic. Es uno de los lenguajes más utilizados para realizar aplicaciones de grande o pequeño tamaño, En su entorno de Visual Basic existen dos componentes principales que son la barra de herramientas y la barra de menús; mediante las cuales podemos dar entrada y salida a los datos.

Tiene su propia estructura, así como el lenguaje hablado y escrito; por ejemplo, un libro consta de capítulos, con párrafos que a su vez contiene frases que están formadas por palabras, en Visual Basic los módulos son como los capítulos, los procedimientos como los párrafos y las líneas de código como las frases.

#### **2.33.1. MODO DE DISEÑO Y MODO DE PROGRAMACIÓN**

La aplicación Visual Basic de Microsoft puede trabajar de dos modos distintos: en modo de diseño y en modo de ejecución. En modo de diseño el usuario construye interactivamente la aplicación, colocando controles en el formulario, definiendo sus propiedades, y desarrollando funciones para gestionar los eventos.

La aplicación se prueba en modo de ejecución. En ese caso el usuario actúa sobre el programa (introduce eventos) y prueba cómo responde el programa. Hay algunas propiedades de los controles que deben establecerse en modo de diseño, pero muchas otras pueden cambiarse en tiempo de ejecución desde el programa escrito en Visual Basic.

También hay propiedades que sólo pueden establecerse en modo de ejecución y que no son visibles en modo de diseño.

#### **2.33.2. FORMULARIOS Y CONTROLES**

Cada uno de los elementos gráficos que pueden formar parte de una aplicación típica de Windows es un tipo de control: los botones, las cajas de diálogo y de texto, las cajas de selección desplegables, los botones de opción y de selección, las barras de desplazamiento horizontales y verticales, los gráficos, los menús, y muchos otros tipos de elementos son controles para Visual Basic. Cada control debe tener un nombre a

través del cual se puede hacer referencia a él en el programa. Visual Basic proporciona nombres por defecto que el usuario puede modificar.

En la terminología de Visual Basic se llama formulario (form) a una ventana. Un formulario puede ser considerado como una especie de contenedor para los controles. Una aplicación puede tener varios formularios, pero un único formulario puede ser suficiente para las aplicaciones más sencillas. Los formularios deben también tener un nombre, que puede crearse siguiendo las mismas reglas que para los controles.

### **2.33.3. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN VISUAL BASIC**

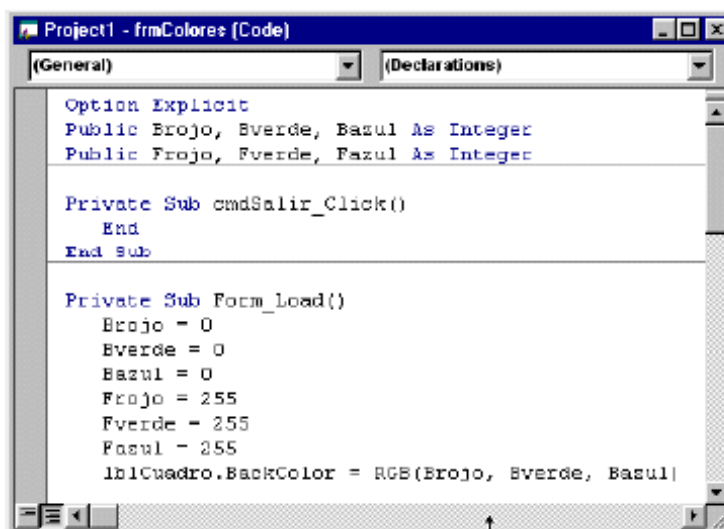
Cuando se arranca Visual Basic aparece en la pantalla una configuración. En ella se pueden distinguir los siguientes elementos:

1. La barra de títulos, la barra de menús y la barra de herramientas de Visual Basic en modo Diseño (parte superior de la pantalla).
2. Caja de herramientas (toolbox) con los controles disponibles (a la izquierda de la ventana).
3. Formulario (form) en gris, en que se pueden ir situando los controles (en el centro). Está dotado de una rejilla (grid) para facilitar la alineación de los controles.
4. Ventana de proyecto, que muestra los formularios y otros módulos de programas que forman parte de la aplicación (arriba a la derecha).
5. Ventana de Propiedades, en la que se pueden ver las propiedades del objeto seleccionado o del propio formulario (en el centro a la derecha). Si esta ventana no aparece, se puede hacer visible con la tecla <F4>.
6. Ventana FormLayout, que permite determinar la forma en que se abrirá la aplicación cuando comience a ejecutarse (abajo a la derecha).

Existen otras ventanas para edición de código (Code Editor), ver figura 2.33 y para ver variables en tiempo de ejecución con el depurador o Debugger (ventanas Immediate, Locals y Watch). Todo este conjunto de herramientas y de ventanas es lo que se llama un entorno integrado de desarrollo o IDE (Integrated Development Environment).



**Figura 2.33 Ventana editora de código**



```

Project1 - frmColores [Code]
(General) (Declarations)
Option Explicit
Public Brojo, Everde, Azul As Integer
Public Brojo, Everde, Azul As Integer

Private Sub cmdSalir_Click()
    End
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Brojo = 0
    Everde = 0
    Azul = 0
    Brojo = 255
    Everde = 255
    Azul = 255
    lblCuadro.BackColor = RGB(Brojo, Everde, Azul)

```

Fuente: Aprende Visual Basic (como si estuviera en primero)

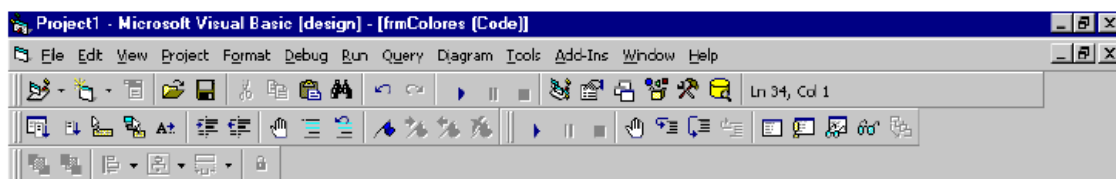
#### **2.33.4. BARRA DE MENÚS Y BARRA DE HERRAMIENTAS**

La barra de menús de Visual Basic resulta similar a la de cualquier otra aplicación de Windows, bajo dicha barra aparecen las barras de herramientas, con una serie de botones que permiten acceder fácilmente a las opciones más importantes de los menús. En Visual Basic existen cuatro barras de herramientas: Debug, Edit, Form Editor y Standard. Por defecto sólo aparece la barra Standard. Haciendo clic con el botón derecho sobre cualquiera de las barras de herramientas aparece un menú contextual con el que se puede hacer aparecer y ocultar cualquiera de las barras. Al igual que en otras aplicaciones de Windows, también pueden modificarse las barras añadiendo o eliminando botones (opción Customize).

En la barra de herramientas Standard también se pueden ver a la derecha dos recuadros con números, que representan cuatro propiedades del formulario referentes a su posición y tamaño que se verán más adelante: Top y Left, que indican la posición de la esquina superior izquierda del formulario, y también Height y Width, que describen el tamaño del mismo en unas unidades llamadas twips, que se corresponden con la vigésima parte de un punto (una pulgada tiene 72 puntos y 1440 twips). Las dimensiones de un control aparecen también cuando con el ratón se arrastra sobre el formulario, los botones de la barra de herramientas Standard responden a las funciones más importantes: abrir y/o

guardar nuevos proyectos, añadir formularios, hacer visibles las distintas ventanas del entorno de desarrollo, etc. Todos los botones tienen su correspondiente comando en alguno de los menús. Son importantes los botones que permiten arrancar y/o parar la ejecución de un proyecto, pasando de modo diseño a modo de ejecución y viceversa. En la figura 2.34. se puede observar las distintas herramientas y menús dentro del programa de Visual Basic.

**Figura 2.34 Barra de menús y barras de herramientas de Visual Basic**

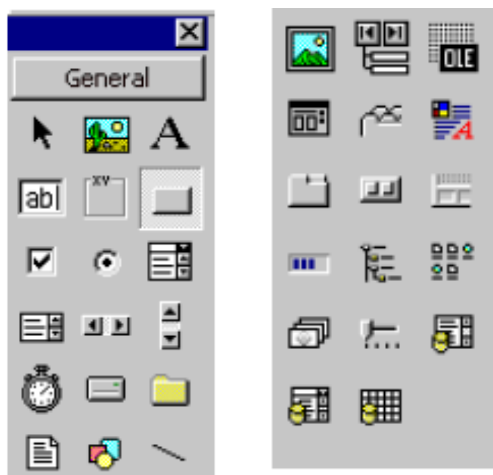


Fuente: Aprenda Visual Basic (como si estuviera en primero)

### **2.33.5. LAS HERRAMIENTAS (toolbox)**

La caja de herramientas, que incluye los controles con los que se puede diseñar la pantalla de la aplicación. Estos controles son por ejemplo botones, etiquetas, cajas de texto, zonas gráficas, etc. Para introducir un control en el formulario simplemente hay que clicar en el icono adecuado de la toolbox, se puede observar en la figura 2.35 todos los botones y colocarlo en el formulario con la posición y el tamaño deseado, clicando y arrastrando con el ratón. Haciendo clic dos veces sobre el icono de un control aparece éste en el centro del formulario y se puede modificar su tamaño y/o trasladar con el ratón como se desee.

**Figura 2.35 Caja de componentes (toolbox)**



Fuente: Aprenda Visual Basic (como si estuviera en primero)

### 2.33.6. FORMULARIOS Y MÓDULOS

Los formularios son las zonas de la pantalla sobre las que se diseña el programa y sobre las que se sitúan los controles o herramientas de la toolbox. Al ejecutar el programa, el form se convertirá en la ventana de la aplicación, donde aparecerán los botones, el texto, los gráficos, etc.

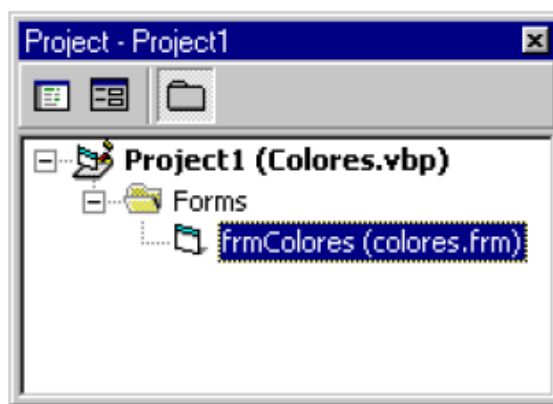
Para lograr una mejor presentación existe una malla o retícula (grid) que permite alinear los controles manualmente de una forma precisa (evitando tener que introducir coordenadas continuamente). Esta malla sólo será visible en el proceso de diseño del programa; al ejecutarlo no se verá. De cualquier forma, se puede desactivar la malla o cambiar sus características en el menú Tools/Options/General, cambiando la opción Align Controls to Grid.

Exteriormente, los formularios tienen una estructura similar a la de cualquier ventana. Sin embargo, también poseen un código de programación que estará escrito en Basic, y que controlará algunos aspectos del formulario, sobre todo en la forma de reaccionar ante las acciones del usuario (eventos). El formulario y los controles en él situados serán el esqueleto o la base del programa. Una aplicación puede tener varios formularios, pero siempre habrá uno con el que arrancará la aplicación; este formulario se determina a partir del menú Project/Properties, en Startup Objects.

### 2.33.7. VENTANA DE PROYECTO(project) Y PROPIEDADES(properties)

Esta ventana, permite acceder a los distintos formularios y módulos que componen el proyecto. Desde ella se puede ver el diseño gráfico de dichos formularios (botón View Object), y también permite editar el código que contienen (botón View Code). Estos botones están situados en la parte superior de la ventana, debajo de la barra de títulos. En la figura 2.36 se puede ver el modo de proyecto.

**Figura 2.36 Ventana de proyecto**



Fuente: Aprenda Visual Basic (como si estuviera en primero)

Los módulos estándar (ficheros \*.bas) contienen sólo código que, en general, puede ser utilizado por distintos formularios y/o controles del proyecto e incluso por varios proyectos. Por ejemplo, puede prepararse un módulo estándar de funciones matemáticas que sea de utilidad general. Normalmente contienen siempre algunas declaraciones de variables globales o Public, que serán accesibles directamente desde todos los formularios.

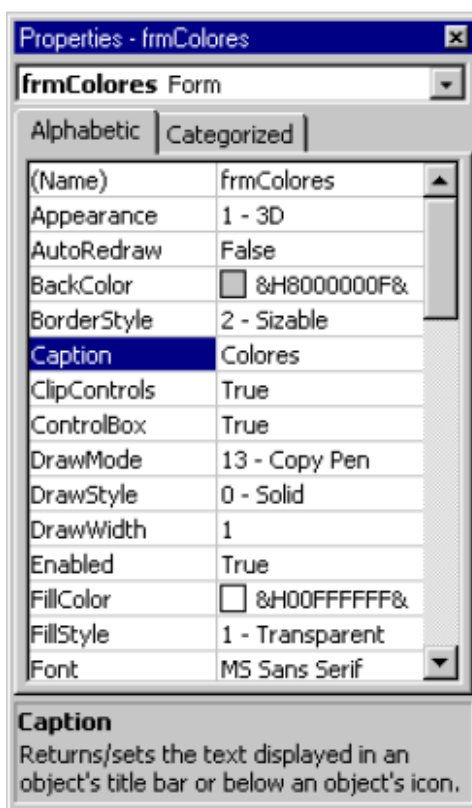
Los módulos de clase (ficheros \*.cls) contienen clases definidas por el usuario. Las clases son como formularios o controles complejos, sin interface gráfica de usuario.

Todos los objetos Visual Basic tienen unas propiedades que los definen: su nombre (Name), su etiqueta o título (Caption) como se observa en la figura 2.37, el texto que contiene (Text), su tamaño y posición, su color, si está activo o no (Enabled), etc. Todas estas propiedades se almacenan dentro de cada control o formulario en forma de estructura (similar a las del lenguaje C). Por tanto, si por ejemplo en algún momento se

quiere modificar el nombre de un botón basta con hacerlo en la ventana de propiedades (al diseñar el programa) o en el código en Basic (durante la ejecución), mediante el operador punto (.), en la forma.”

(Garcia de Jalón, Rodríguez, & Brazález, 1999)

**Figura 2.37 Ventana de propiedades**



Fuente: Aprende Visual Basic (como si estuviera en primero)

**CAPÍTULO 3**  
**METODOLOGÍA DE TRABAJO**

## CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

### 3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Se ha implementado la metodología de AASHTO (American Association of State and Highway Transportation Officials 1993), para el cálculo de ejes equivalentes (W18), el diseño de pavimento flexible y rígido.

Hay dos modalidades de acceso de datos en el proceso de desarrollo:

Inserción de variables al programa.

Cálculo de las variables en el programa.

#### 3.1. INSERCIÓN DE VARIABLES AL PROGRAMA

Este proceso es el más sencillo consta de ir colocando las variables en el programa STRUCPAV, que el diseñador las tiene calculadas o son conocidas para el proceso de cálculo.

#### 3.2. CÁLCULO DE LAS VARIABLES EN EL PROGRAMA

Este proceso se refiere a que el diseñador puede apoyarse en el programa para poder calcular las variables que nos las tenga estimadas, durante el diseño.

El cálculo de Esal's se puede realizar de tres modos:

##### 3.2.1. MÉTODO SIMPLIFICADO

En este proceso se utiliza la formula simplificada del método AASHTO, la ecuación 2.3

$$W_{18} = 365 \frac{\text{dias}}{\text{año}} * \%CP * TPDA * GF * DD * LD * TF$$

para determinar el GF (factor de crecimiento de camiones y vehículos) se puede ayudar con el cuadro 2.15, donde se debe entrar con la duración del proyecto o periodo de análisis, donde la duración del proyecto está determinada por el diseñador (periodo de vida útil dl proyecto) en función de la zona y tipo de tráfico según refleja el cuadro 2.2 y un índice de crecimiento automotor que puede ser tomado del cuadro 2.17 o ser

considerado por el proyectista con el promedio de índices de crecimiento usando el cuadro 2.21.

El valor de la variable GF, también debe ser calculado desde los camiones pequeños hasta acabar el total de vehículos tipo, posteriormente estos datos se incluyen en el cuadro 2.13. para el cálculo del TF.

La variable TF (factor de camión) se la puede estimar mediante la ecuación 2.2.

$$TF = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de ESALs}}{\text{N}^{\circ} \text{ de camiones}}$$

En caso de no contar con el número Esal's de camiones se puede estimar mediante el uso del cuadro 2.11, para inicio del cálculo donde se calcula los valores de factor equivalente.

La forma de introducir los datos para el tipo de eje en el cuadro 2.11 tipos de eje, se debe usar el cuadro 2.14 en este cuadro esta la manera de la nomenclatura según el tipo de eje. Del mismo modo para introducir los datos de pesos según el tipo de eje se debe usar los pesos normados según el cuadro 2.4 y cuadro 2.5.

El cálculo de factores equivalentes de carga se usa para estimar los factores, el tipo de pavimento, serviciabilidad final y un espesor asumido inicial.

Estos cuadros varían según el tipo de eje y en función de la serviciabilidad final, el cuadro 2.9 y 2.10 los demás cuadros están en el anexo 3.

Una vez contabilizado los factores equivalentes se debe continuar con el cuadro 2.13 pero en este caso solo se contabilizará el tráfico de camiones o vehículos pesados a partir de los camiones pequeños hasta el final y únicamente toma la sumatoria de los mismos para ser dividida entre el número total de camiones considerados.

Se registra todo el tráfico es decir de los 12 tipos de vehículos separados en la columna A.

La sumatoria de esta columna es el TPD sin proyección, pero solo desde los vehículos pequeños se determina el cálculo de TF.



El número de camiones es la suma de la columna A desde el camión pequeño hasta acabar la fila.

La columna B factor de camión que fue calculado según el 2.15 se registra los valores de cada vehículo por separado a partir del camión pequeño hasta acabar.

La columna C es la multiplicación de las columnas A y B, pero solo desde el camión pequeño hasta acabar. Se suma la columna C y nos da como resultado el número de Esal's de camiones.

Para el cálculo de la variable DD (factor de distribución por dirección) se considera que  $DD = 0,3$  a  $0,7$  y LD (factor de distribución por carril) se puede seleccionar del cuadro 2.16.

### **3.2.2. MÉTODO RIGUROSO**

En la columna "A" del cuadro 2.6, se pondrá la cantidad diaria de cada tipo de vehículo especificado y del cual se tenga el conteo correspondiente.

En caso de no contar con el aforo o resumen del tráfico, se puede usar los cuadros 2.7 y 2.8.

En la columna "B" se colocará el correspondiente factor de crecimiento para cada tipo de vehículo, el cual depende de la tasa de crecimiento asumida para cada tipo de vehículo y el periodo de diseño considerado, cada tipo de vehículo puede tener una tasa de crecimiento distinta, ya que no todos los tipos de vehículos tienden a crecer en la misma tasa, por razones de falta de acceso a datos por un mismo tramo se puede usar el mismo crecimiento, usar el cuadro 2.15.

En la columna "C" se coloca el producto de las columnas "A" y "B" multiplicado por 365 (días del año).

En la columna "D" se coloca el factor de Esal's, que depende de cada peso y configuración o tipo de camión (ejes simples, tándem o trídem) conforme al cuadro 2.11 que facilita la determinación de ejes equivalentes para todo el tráfico, en el ingreso de tipos de eje usar la simbología del cuadro 2.14.

Se adopta los valores de índice de serviciabilidad final se los toma y el número estructural (SN para pavimentos flexibles) o espesor de losa para pavimentos rígidos, conforme al cuadro 2.9 y 2.10 y demás cuadros del anexo 3, que hacen referencia al tipo de eje, tipo de pavimento en función del espesor asumido y de acuerdo a una serviciabilidad adoptada (estos cuadros ayudan a estimar los factores equivalentes de carga para el cálculo de Esal's)

La columna "E" es el producto de la "C" por la "D", y la suma de esta columna "E" es el número total de Esal's para el diseño del pavimento considerado y el cual debe afectarse por el factor de distribución por dirección y el factor de distribución por carril.

Finalmente se debe multiplicar los factores LD, se debe usar el cuadro 2.16 y DD = (0,3 a 0,7) por la sumatoria obtenida en la columna E.

Para el resto de parámetros el programa ayuda a calcular y algunos parámetros deben ser colocados por el diseñador.

### 3.2.3. MÉTODO FORMULAS DIRECTAS

Las fórmulas directas que como sugerencia son para cálculos académicos.

$$W_{18} = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \text{TPD} * (1 + i)^n \quad (2.5)$$

La ecuación 2.5 sirve para hacer la proyección del tráfico a partir del índice de crecimiento y periodo de vida útil del diseño.

$$W_{18} = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \%Tv * \text{TPD} * \frac{(1 + r)^n - 1}{r} * Fce \quad (2.6)$$

$$W_{18} = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} * \text{TPD} * (1 + i)^n * (\%V_L * Fc_{VL} + \%V_P * Fc_{VP}) \quad (2.7)$$

Desde la ecuación 2.6 hasta la ecuación 2.7, son fórmulas de cálculo del Esal's o  $W_{18}$ , usados exclusivamente para ver el comportamiento del tráfico de manera académica, sin embargo, es criterio del diseñador poder hacer factible estas posibilidades.

Donde:

$W_{18}$  = Número de ejes equivalentes de 18000 lb.

TPD = Tránsito promedio diario.

n = Periodo de vida del diseño.

% Tv = Porcentaje de tipo de vehículo.

% VL = Porcentaje de vehículo liviano.

% VP = Porcentaje de vehículo pesado.

FC<sub>VP</sub> = Factor de carga vehículo pesado.

FC<sub>VL</sub> = Factor de carga vehículo liviano.

F<sub>CE</sub> = Factor de carga equivalente.

r, i = Índice de crecimiento de tránsito anual.

%CP = Porcentaje de camiones pesados (clase 5 o más FHWA).

GF= Factor de crecimiento que tiene en cuenta el crecimiento en volumen de camiones y el factor de camiones.

DD = Factor de distribución direccional para camiones (en tanto por uno).

LD = Factor distribución por carril para camiones (en tanto por uno).

TF = Factor de camiones (ESALs/camiones).

Entre otros parámetros del diseño tenemos que el resto de variables según esta división puede ser introducidos de manera directa al programa de aplicación de diseño de pavimentos flexibles y rígidos.

### 3.3. PARÁMETROS PARA DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

A partir de la ecuación 2.12, es la ecuación para el diseño de pavimento flexible.

$$\text{Log } W_{18} = (z_R)(S_o) + (9.36)(\log(SN + 1)) - 0.20 + \frac{\log\left[\frac{\Delta ISP}{4.2 - 1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + (2.32)(\log M_R) - 8.07$$

Donde las variables son:

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

R (%) = Confiabilidad del proyecto.

$S_o$  = Desviación estándar de todas las variables.

$\Delta PSI$  = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$P_t$  = Índice de servicio final.

$P_o$  = Índice de servicio inicial.

$M_R$  = Módulo resiliente de la subrasante. (En psi)

$W_{18}$  = Tráfico equivalente o Esal's previstos.

SN = Número estructural.

El cálculo de la variable  $Z_R$ , se realiza mediante el cuadro 2.24 Relación de confiabilidad y el valor de  $Z_R$  el dato de entrada es la confiabilidad y a partir de ella se busca la desviación estándar normal, en caso de no estar tabulada se la tiene que interpolar.

La desviación estándar se selecciona del cuadro 2.23 desvió estándar bajo condiciones de diseño; en el cuadro se encuentran desviaciones recomendadas para que el diseñador escoja.

El cálculo de diferencia entre los índices de servicio ( $\Delta PSI$ ) inicial y final se lo determina bajo los siguientes parámetros que fueron estimados por la metodología de AASHTO y con la siguiente ecuación.

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

Serviciabilidad inicial:

$P_o = 4,5$  para pavimentos rígidos

$P_o = 4,2$  para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

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

$P_f = 2,0$  para caminos de menor tránsito.

El cálculo del módulo resiliente debe ser efectuado de acuerdo a las siguientes ecuaciones y considerando el CBR del suelo a ser utilizado.

Con los valores del CBR se pueden obtener el módulo resiliente utilizando las relaciones siguientes:

Si  $CBR < 10$  %a

$$M_R \text{ (PSI)} = 1500 * CBR \quad (2.9)$$

Si  $CBR \geq 10$  % y  $\leq 80$ %

$$M_R \text{ (MPA)} = 22.1 * CBR^{0.55} \quad (2.10)$$

$$M_R \text{ (PSI)} = 3205 * CBR^{0.55} \quad (2.11)$$

Una vez ingresadas estas variables es posible encontrar el número estructural SN y a partir de aquí se debe encontrar los espesores de capas.

Con la ecuación 13 se puede establecer los espesores de capa y apoyándose en más ecuaciones.

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3 \quad (2.13)$$

$$D_1 \geq \frac{SN_1}{a_1} \quad (2.14)$$

Se adopta un espesor D1 ligeramente mayor y el número estructural absorbido por esta capa es:

$$SN^C_1 = a_1 * D_1 \quad (2.15)$$

Para determinar el espesor mínimo de la capa base, se usa el  $M_R$  de la subbase, para obtener el número estructural  $SN_2$  que será absorbido por la carpeta y la capa base, de donde:

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN^C_1}{a_2 * m_2} \quad (2.16)$$

Se adopta un espesor  $D_2$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido es:

$$SN^C_2 = a_2 * m_2 * D_2 \quad (2.17)$$

Finalmente, para la sub-base se ingresa con el  $M_R$  que corresponde a la subrasante y se obtiene  $SN_3 = SN$  para todo el paquete estructural, por tanto, el espesor será:

$$D_3 \geq \frac{SN - (SN_1^C + SN_2^C)}{a_3 * m_3} \quad (2.18)$$

Se adopta un espesor  $D_3$  ligeramente mayor y el número estructural absorbido por la subbase será:

$$SN_3^C = a_3 * m_3 * D_3 \quad (2.19)$$

La suma de los números estructurales de las capas que constituyen el pavimento debe ser mayor o igual a:

$$SN_1^C + SN_2^C + SN_3^C \geq SN \quad (2.20)$$

Donde:

$a_1, a_2, a_3$  = Son los coeficientes estructurales o de capa (adimensionales), carpeta de rodadura, capa base y capa subbase.

$a_1$  puede determinarse observando la figura 2.24

$a_2$  puede determinarse observando la figura 2.25

$a_3$  puede determinarse observando la figura 2.26

$m_2, m_3$  = Son los coeficientes de drenaje para capa base y subbase estos coeficientes pueden encontrarse con ayuda del cuadro 2.31 Coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles.

$D_1, D_2, D_3$  = Son los espesores de capas (Espesor de la carpeta, base y sub-base) en pulgadas o mm, en este sentido, el número estructural llevará las unidades de los espesores de las diferentes capas del pavimento.

En el control de los espesores  $D_1, D_2$  y  $D_3$ , a través del SN, se busca dar protección a las capas inferiores, como se muestra en la figura 2.29.

### 3.4. PARÁMETROS PARA DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO

La flexión del hormigón  $S'c$  se determina con el ensayo a flexión con carga al tercio ecuación 2.22 y por tracción indirecta como se ve en la ecuación 2.23 en (psi) y ecuación

2.24 (en kpa), al aplicar una de estas dos ecuaciones se determina la resistencia del concreto.

$$S'c = K * \sqrt{f'_c} \quad (2.22)$$

K = Constante de valores entre 7 y 12.

$$S'c = 1.02 * f'i + 210 \quad (2.23)$$

$$S'c = 1.02 * f'i + 1450 \quad (2.24)$$

Donde:

f'i = Resistencia a tracción indirecta usar cuadro 2.34

El módulo de elasticidad en los pavimentos de concreto armado continuo se determina usando la ecuación 2.25 en (psi) o 2.26 en (kpa).

$$E_C = 57000 * \sqrt{f'_c} \quad (2.25)$$

Donde:

$E_C$  = Módulo de elasticidad del concreto (psi).

f'c = Es la resistencia a compresión del hormigon (psi).

$$E_C = 150000 * \sqrt{f'_c} \quad (2.26)$$

Donde:

$E_C$  = Módulo de elasticidad del concreto (Kpa).

f'c = Es la resistencia a compresión del hormigón (Kpa).

Para el cálculo de armaduras se debe usar los cuadros 2.41

Las ecuaciones 2.27 en unidades inglesas y 2.28 en unidades métricas, se aplican para determinar el porcentaje de armadura que debe ir a las juntas longitudinales.

$$P_S = \left( \frac{L * F}{2 * f_S} \right) * 100 \quad (2.27)$$

$$P_s = \left( \frac{\gamma_{H^o} * L * F}{2 * f_s} \right) * 100 \quad (2.28)$$

Donde:

$P_s$  = Porcentaje de armadura requerida

$\gamma_H$  = Peso específico del hormigón  $\approx 22,5 \text{ kN/m}^3$

$L$  = Longitud de losa en metros

$F$  = Factor de fricción

$f_s$  = Tensión de trabajo del acero

Las ecuaciones 2.29 determina la cantidad de barras requeridas y 2.30 determina la separación de las barras.

$$N = 0.01273 * P_s * W_s * \left( \frac{D}{\phi^2} \right) \quad (2.29)$$

Donde:

$N$  = Cantidad de barras requeridas.

$P_s$  = Porcentaje de armadura requerida.

$W_s$  = Ancho total de la sección del pavimento (pulg).

$D$  = Espesor de la losa de hormigón (pulg).

$\phi^2$  = Diámetro de barra de acero (pulg).

$$Y = \frac{A_s}{P_t * D} * 100 \quad (2.30)$$

Donde:

$Y$  = Separación entre barras

$A_s$  = Sección transversal de acero

$P_t$  = Porcentaje de acero

$D$  = Espesor de losa

Se recomienda que la separación entre barras,  $Y$ , se encuentre entre (914 a 1524 mm) y (36 a 60 pulg).



Para determinar la armadura transversal se recomienda las características de los pasadores no requieren de grandes cálculos. Las dimensiones recomendadas por AASHTO son:

Diámetro del pasador = 1/8 de espesor de la losa

Longitud = 18 pulgadas (45 cm)

Espaciamiento = 12 pulgadas (30 cm)

La profundidad de las juntas longitudinales y transversales debe ser, que asegure que la fisura tendrá lugar en el sitio, la profundidad debe ser:

Junta transversal = 1/4 espesor de la losa.

Junta longitudinal = 1/3 espesor de la losa.

Las juntas pueden hacerse por aserrado, colocado de moldes o plásticos formando las juntas.

La apertura de junta se calcula con la ecuación 2.31 y el ancho de apertura de la junta se estima mediante la ecuación 2.32.

$$\Delta L = C * L * ((\alpha_c * T) + Z) \quad (2.31)$$

Donde:

$\Delta L$  = Apertura de junta por variaciones de temperatura y contracción por secado (pulg o mm)

$\alpha_c$  = Coeficiente de contracción térmica del hormigón °F<sup>-1</sup> o °C<sup>-1</sup>

T = Rango de temperatura (diferencia de temperatura en el momento del vaciado del hormigón y la mínima (°F o °C))

Z = Retracción por secado del hormigón

L = Espaciamiento entre juntas (pulg o mm)

C = factor de ajuste está en función de la fricción de la losa y subbase C= 0.8 subbase granular no tratada y C= .065 para subbase estabilizada.

$$W = \Delta L / S \quad (2.32)$$

Donde:

$W$  = Ancho de la junta de contracción

$\Delta L$  = Apertura de junta por variaciones de temperatura y contracción por secado (pulg o mm)

$S$  = Deformación específica admisible del material del sellado.

Para asfalto  $S = 0,25$  mm/mm (25%)

Para selladores de silicona  $S = 0,50$  mm/mm (50%)

Sellador varía entre 0,5 y 2,0 con un valor típico de 1,0 para selladores asfálticos.

### **3.5. ESQUEMA PRINCIPAL DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Es la representación esquemática de todo el diseño en base a la programación realizada en el lenguaje de programación de Visual Basic.

Representa la entrada y salida de datos de forma esquemática para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos también está incluida la determinación de ejes equivalentes.

#### **3.5.1. REPRESENTACIÓN CONCEPTUAL DEL PROGRAMA**

En la figura 3.1 se describe la funcionalidad del programa, como abrir, guardar y nuevo proyecto, mismo que podrá ser guardado en un archivo de tipo XML. El proyecto puede ser una estructura de pavimento flexible rígido indistintamente en cualquier punto del desarrollo del trabajo del usuario, de acuerdo al alcance de programa, tales como el cálculo mismo del número estructural del pavimento (pavimento flexible) o espesor del pavimento (pavimento rígido) que podrá ser exportado en EXCEL, manteniendo el registro de datos aforados, resumen de tráfico hasta el cálculo de ESALs y el paquete estructural del pavimento.

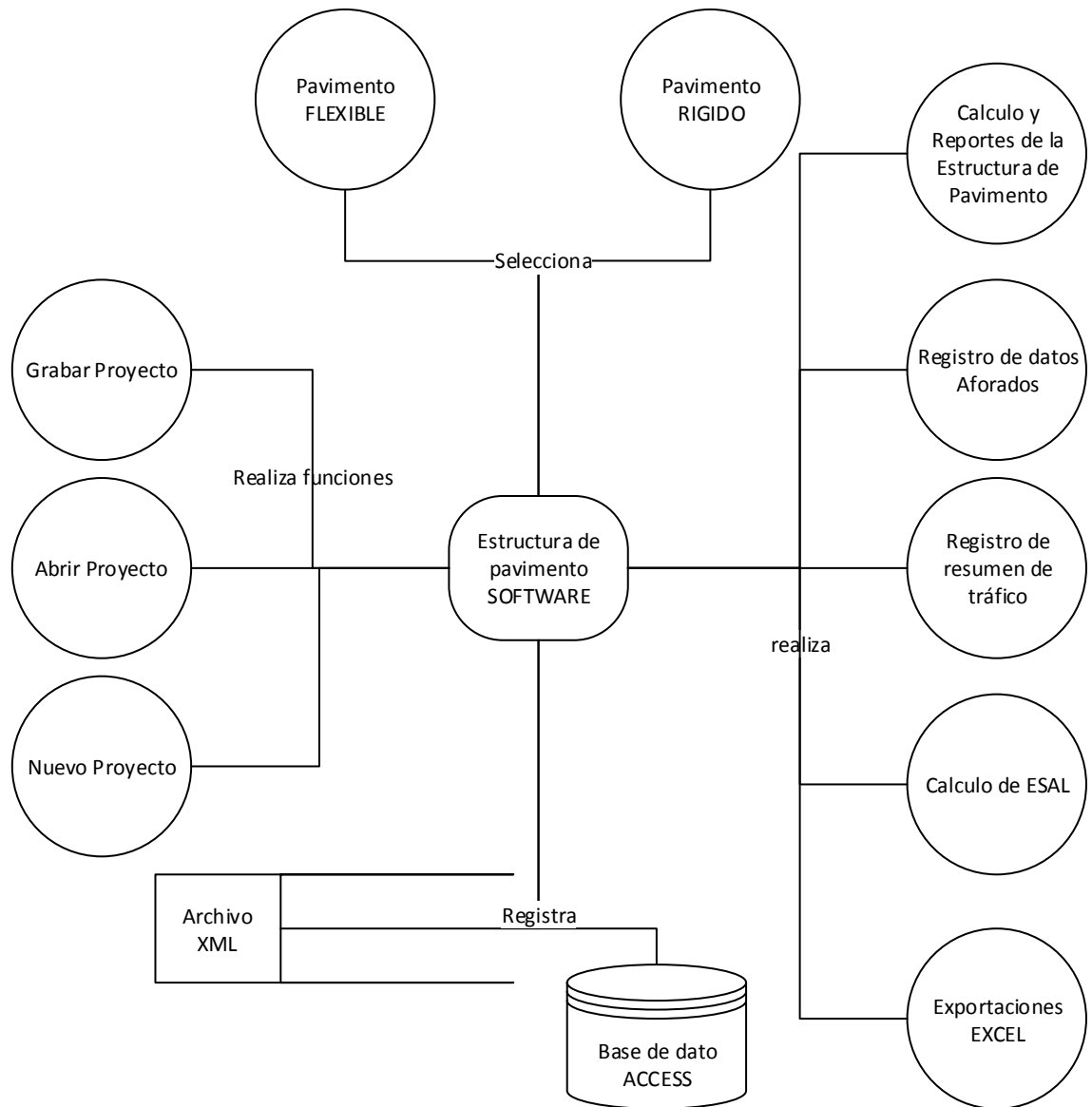
En la figura 3.2 se puede observar el desarrollo esquemático para la manipulación dentro de lo que es el cálculo de ejes equivalentes  $W18$  o ESALs, uno debe colocar el inicio de operación del proyecto a partir de la estimación de tráfico aforado en una gestión determinada por el proyectista, el tráfico inducido y el tráfico generado debe ser

colocado en porcentaje %, estos dos parámetros están generados a partir del tráfico de operación dando como resultado el volumen total de diseño.

Los tipos de eje se colocan según los 12 tipos de vehículo establecidos dentro del programa, este proceso como está en el cuadro 2.11. El peso por eje debe ser colocado por el proyectista según al tipo de eje establecido en la ley de cargas, para lo cual no se debe colocar un peso menor a 0,91 toneladas.

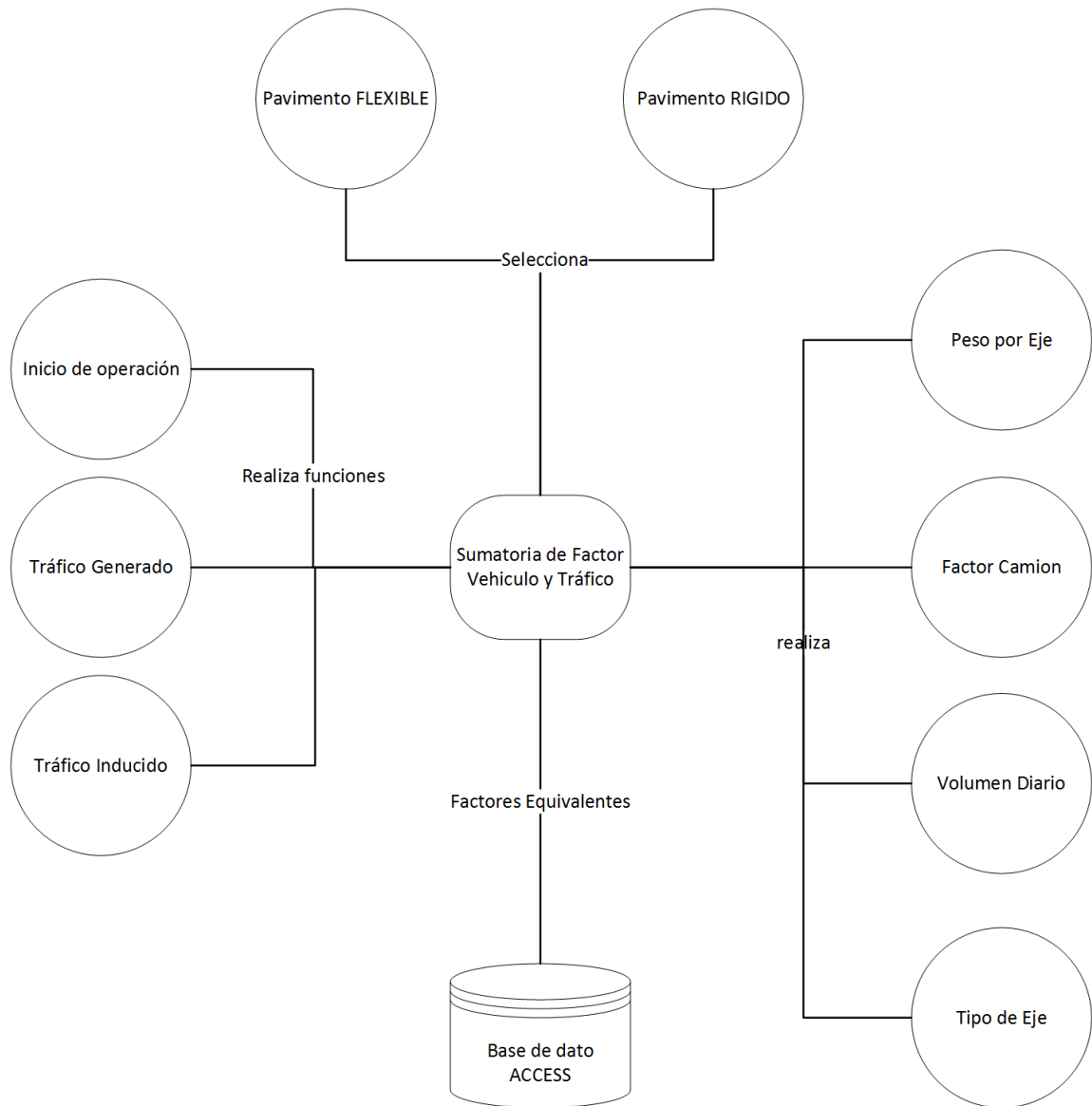
El factor camión se ejecuta automáticamente, se debe tener en cuenta que para este proceso se debe colocar el periodo de vida útil del proyecto.

**Figura 3.1 Modelo conceptual de funcionamiento del programa de estructura de pavimento**



Fuente: Elaboración propia

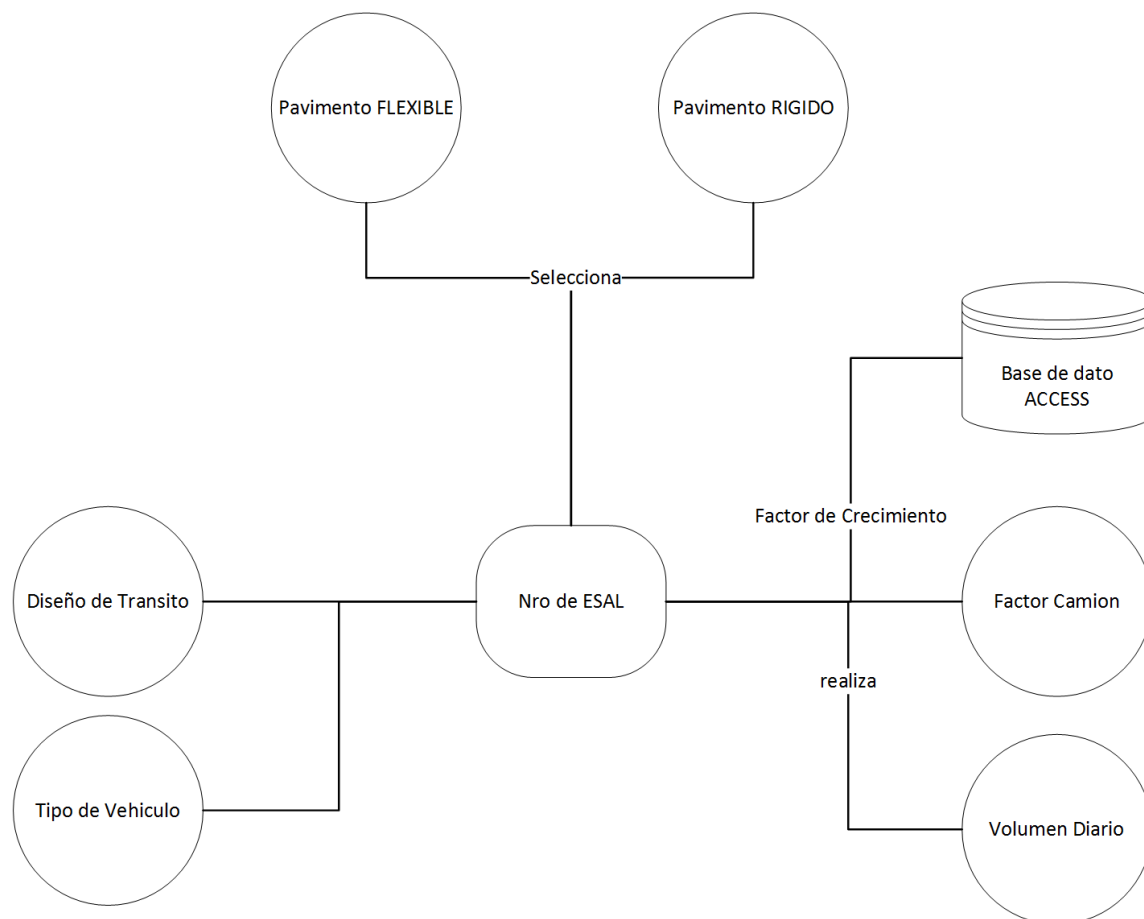
**Figura 3.2 Modelo conceptual de funcionamiento de cálculo de ejes equivalentes**



Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.3 se puede ver como los procesos anteriores dan como resultado el número de ejes equivalentes W18, por el método reducido considerando los 12 tipos de vehículo, en esta parte se encuentra el factor de dirección por sentido y por carril.

**Figura 3.3 Modelo conceptual de funcionamiento de número de Esal's**

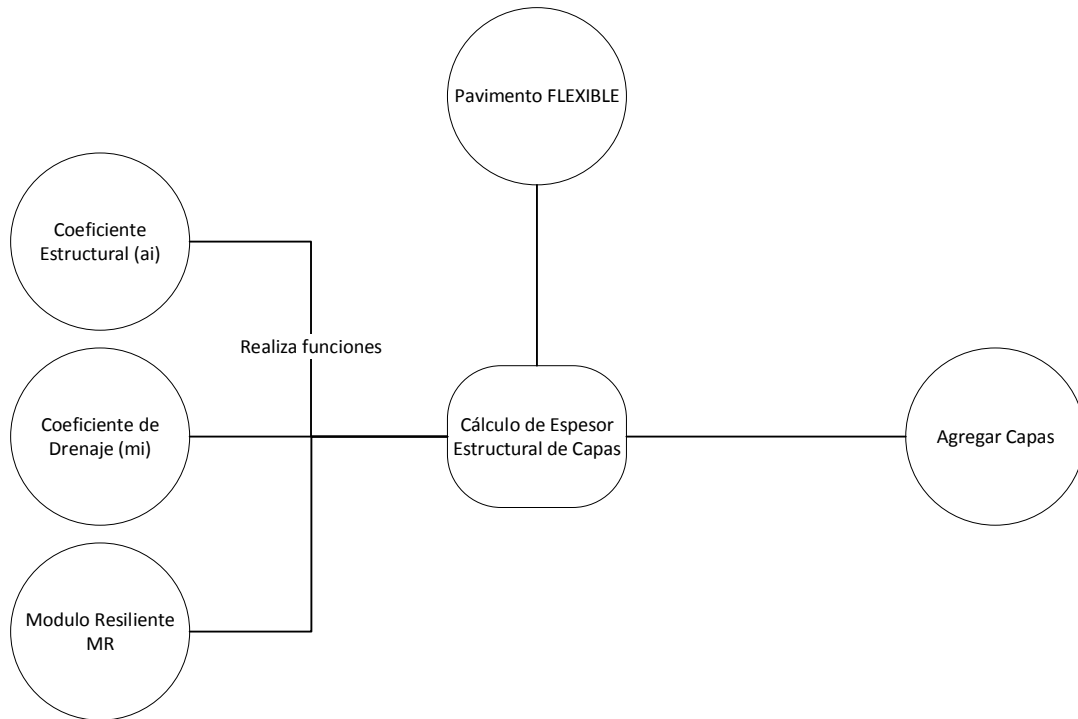


Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.4 se puede efectuar el diseño de capas para el pavimento flexible a partir de los CBR % (de la base y subbase) en caso de tener más capas se puede agregar las capas necesarias, los coeficientes estructurales se deben colocar y coeficientes de drenaje pueden ser calculados o colocados por el proyectista.

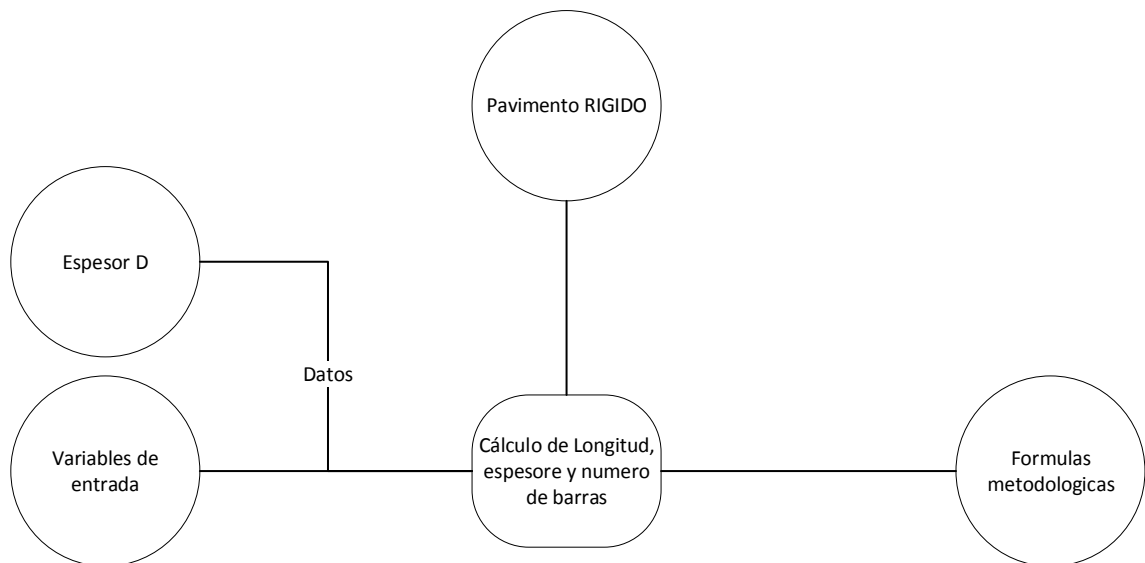
En la figura 3.5 está el modelo de pavimento rígido, a partir de sus datos de entrada (variables) y la determinación de las armaduras longitudinal y transversal respectivamente y el reservorio de juntas de dilatación.

**Figura 3.4 Modelo conceptual de diseño de capas de pavimento flexible**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.5 Modelo conceptual de diseño de pavimento rígido**



Fuente: Elaboración propia

### 3.6. BASE DE DATOS

Son todas las planillas y cuadros guardados en la base de datos para su respectivo uso en el programa.

Para poder tener una buena base de datos se recopiló información tanto de reglamentos y normas bolivianas como en parámetros y manuales extranjeros, basados netamente en la metodología de AASHTO.

Toda la base de datos se encuentra guardada en el Microsoft Office Access, se escogió este paquete ofrecido por la familia office, debido a que todas las máquinas lo tienen instalado, y sus componentes son reconocidos por cualquier computador.

El didáctico modo de guardar y trabajar con los cuadros guardados en la base de datos se presenta en el cuadro 3.1.

#### 3.6.1. RESUMEN DE LA BASE DE DATOS

**Cuadro 3.1 Resumen de la base de datos**

Clasificación	Base de datos	Descripción	Columnas
Confiabilidad	Confiabilidad desviación estándar	Relación de confiabilidad y $Z_R$	2
	ZN	Área bajo la curva normal	11
Coeficiente de drenaje	Coeficientes de drenaje pav rígido	Relación de calidad de drenaje y % de humedad	4
	Coeficientes de drenaje pav flexible	Relación de calidad de drenaje y % de humedad	4



Tablas de Aforado	Aforo fecha	Registro de días de aforado	3
	Aforo vehículos	Registro de Vehículos según el tipo de eje(resumen)	16
Tablas de Factores equivalentes de carga	SNTWOS	Pavimento flexible, ejes simples pf =2,0	6
	SNTWOT	Pavimento flexible, ejes tándem pf =2,0	6
	SNTWOTR	Pavimento flexible, ejes trídem pf =2,0	6
	SNTFS	Pavimento flexible, ejes simples pf =2,5	6
	SNTFT	Pavimento flexible, ejes tándem pf =2,5	6
	SNTFTR	Pavimento flexible, ejes tridem pf =2,5	6
	SNTHS	Pavimento flexible, ejes simples pf =3,0	6
	SNTHT	Pavimento flexible, ejes tándem pf =3,0	6
	SNTHTR	Pavimento flexible, ejes trídem pf =3,0	6

	RSNTWOS	Pavimento rígido, ejes simples pf =2,0	9
	RSNTWOT	Pavimento rígido, ejes tándem pf =2,0	9
	RSNTWOTR	Pavimento rígido, ejes trídem pf =2,0	9
	RSNTFS	Pavimento rígido, ejes simples pf =2,5	9
	RSNTFT	Pavimento rígido, ejes tándem pf =2,5	9
	RSNTFTR	Pavimento rígido, ejes trídem pf =2,5	9
	RSNTHS	Pavimento rígido, ejes simples pf =3,0	9
	RSNTHT	Pavimento rígido, ejes tándem pf =3,0	9
	RSNTHTR	Pavimento rígido, ejes trídem pf =3,0	9

Fuente: Elaboración propia

### 3.7. DISEÑO DE DIAGRAMAS DE FLUJO

Los diagramas se muestran para representar el proceso lógico constructivo del desarrollo de la fase de programación, de acuerdo a las variables y procesos establecidos en la sección 3.2 y sección 3.6 base de datos.

### 3.7.1. CÁLCULO DE COEFICIENTES ESTRUCTURALES

Para el cálculo del coeficiente de drenaje para pavimentos flexibles se realizó la siguiente representación de proceso, que se muestra en la figura 3.6.

Donde primero se entra a la base de datos que se realizó en el paquete Microsoft Access. En la sección 3.6.1. base de datos, se muestra todo el resumen de los mismos.

El nombre en la base de datos guardada es (f\_coeficiente\_drenaje\_pavflex), las variables de entrada son calidad de drenaje (cd) texto (excelente a muy pobre) y porcentaje de humedad (% h) varía desde (1 % a 25 %), se puede observar el cuadro 2.31, las variables de salida es coeficiente de drenaje adimensional (cd que es un número que está en función del tipo de drenaje y porcentaje de humedad).

El proceso, lee la calidad de drenaje y busca el porcentaje, si encuentra la condición entera lee el resultado y si no encuentra sigue buscando en la segunda condición hasta encontrarlo, si no es exacto el porcentaje, lo interpola y finalmente arroja el resultado.

El mismo proceso se realiza para el cálculo de coeficiente de drenaje para el pavimento rígido, donde su entrada a la base de datos es (f\_coeficiente\_drenaje\_pavRigido), tiene distintos valores, se puede observar en el cuadro 2.32 y está guardado a la base de datos y el modelo del diagrama se muestra en la figura 3.6.

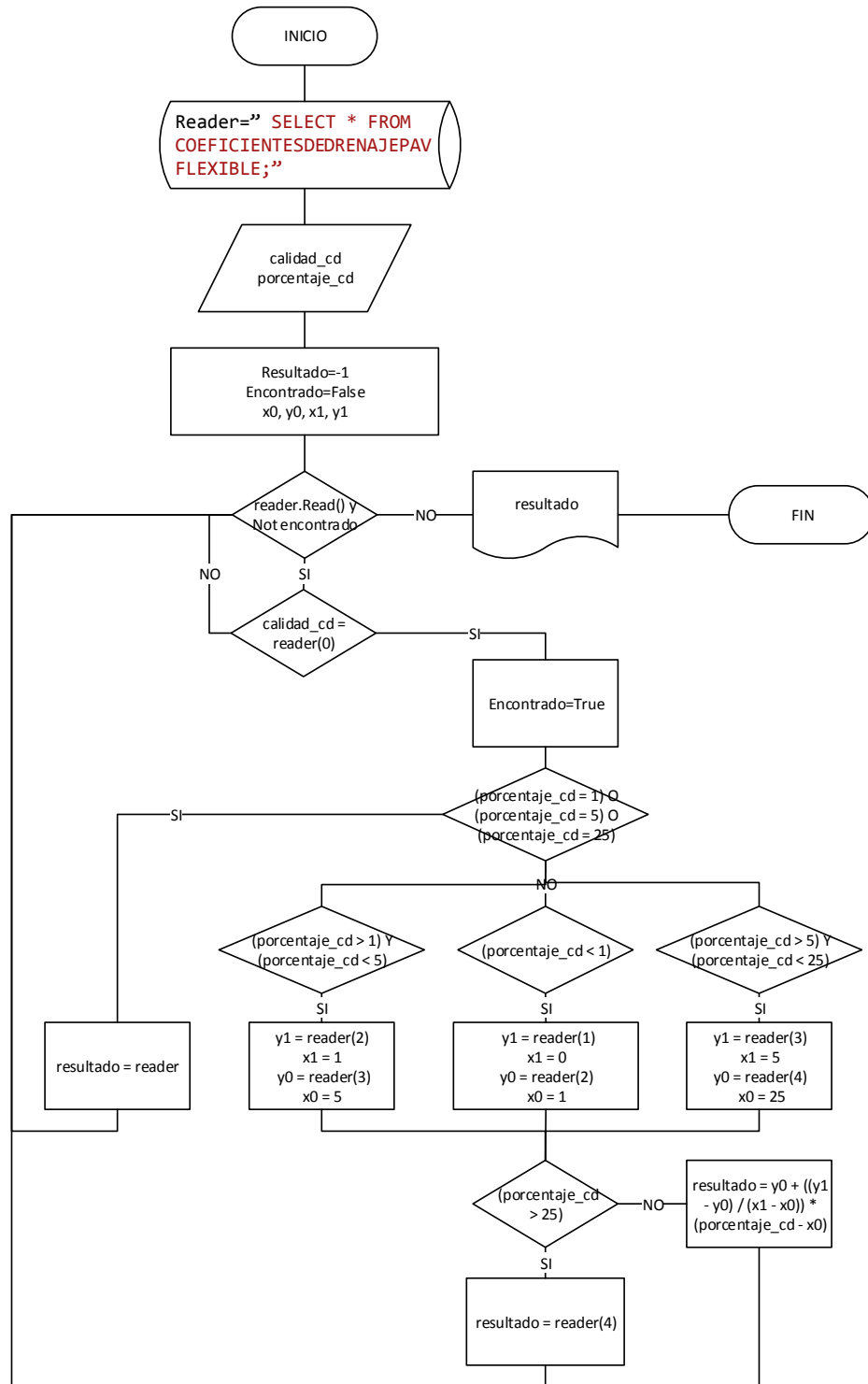
Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1,40-1,35	1,35-1,30	1,30-1,20	1,20
Bueno	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,00	1,00
Regular	1,25-1,15	1,15-1,05	1,00-0,80	0,80
Pobre	1,15-1,05	1,05-0,80	0,80-0,60	0,60
Muy pobre	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,40	0,40

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures (AASHTO 1993)

Los valores en el cuadro representan los parámetros de contenido de humedad y calidad de drenaje para el pavimento flexible, donde se debe entrar con la calidad de drenaje y posteriormente el porcentaje de humedad próximo a saturación, en caso de no ser entero y ese valor, se debe interpolar para encontrar el mismo.

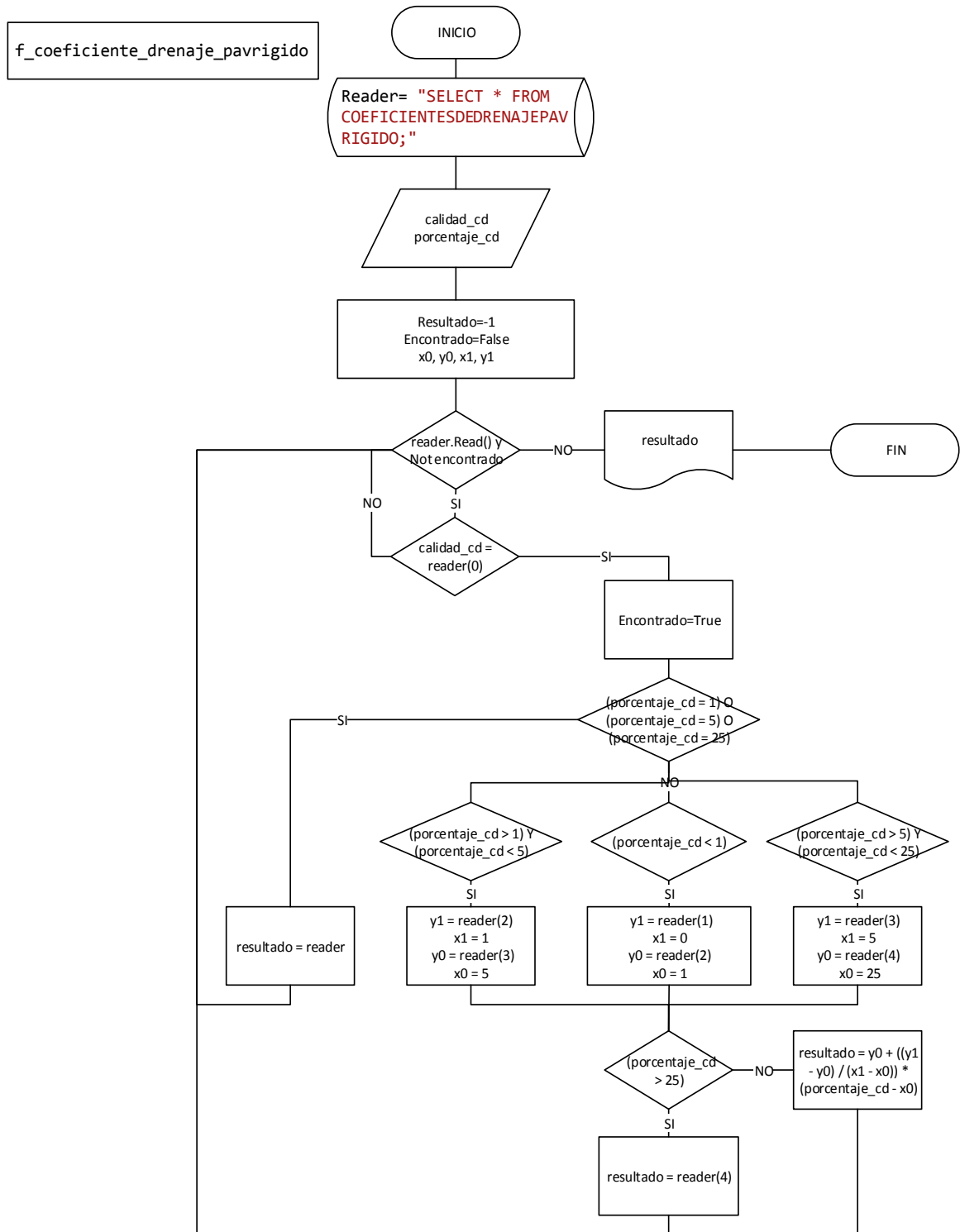
Figura 3.6 Coeficiente de drenaje pavimento flexible

f\_coeficiente\_drenaje\_pavflexible



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Coeficiente de drenaje pavimento rígido



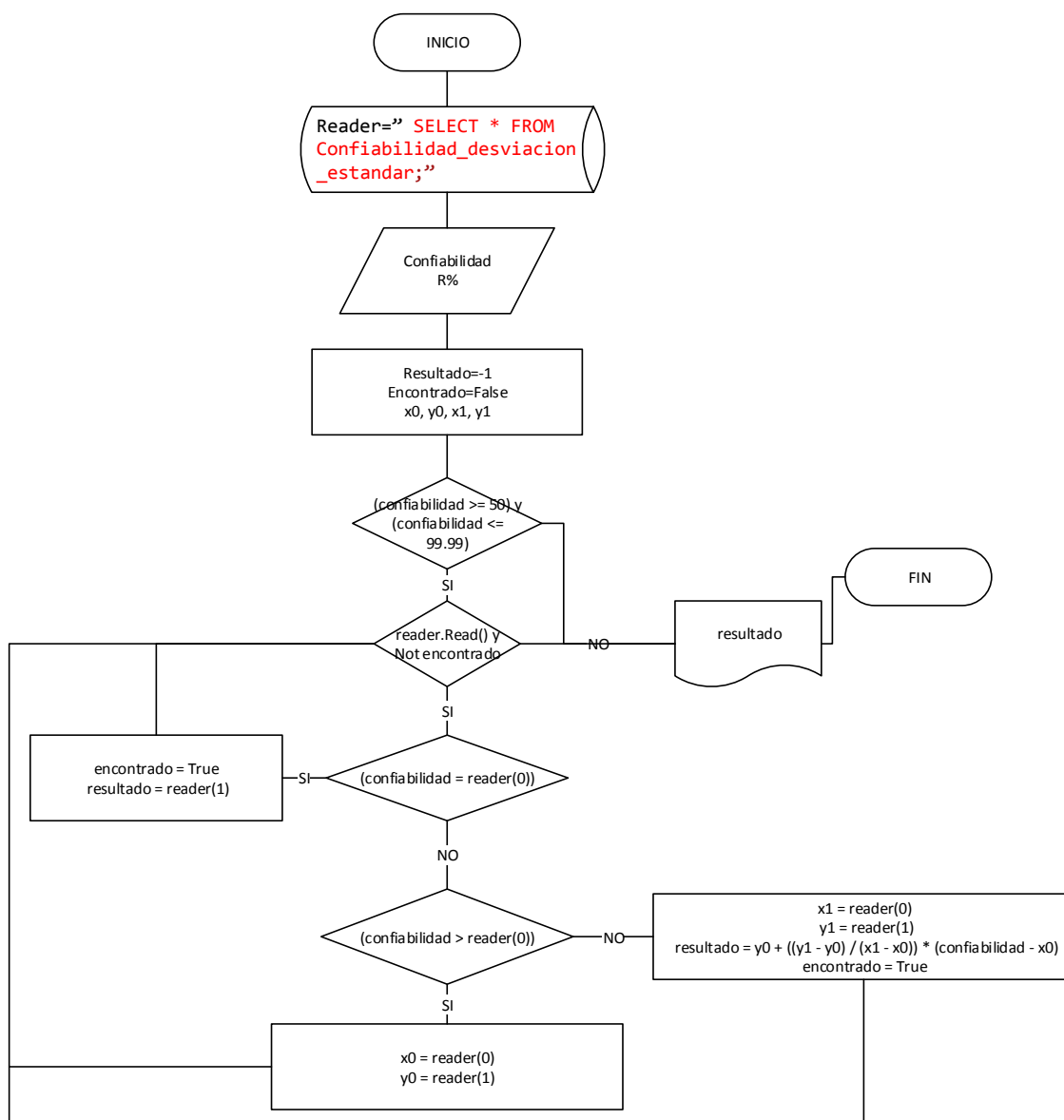
Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. CONFIABILIDAD (R %)Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR (ZR)

El nombre de la base de datos guardada es (Confiabilidad\_desviación\_estandar), las variables de entrada son (Confiabilidad R% desde 50 – 99.99), las variables de salida es desviación estándar normal (ZR).

El proceso, lee la confiabilidad y si encuentra de forma exacta lee el resultado y, si no es exacto el porcentaje, lo interpola y finalmente arroja el resultado se puede observar la figura 3.8.

**Figura 3.8 Confiabilidad y desviación estándar**



Fuente: Elaboración propia

Los desarrollos de los diagramas de flujo se encuentran en el anexo 6.

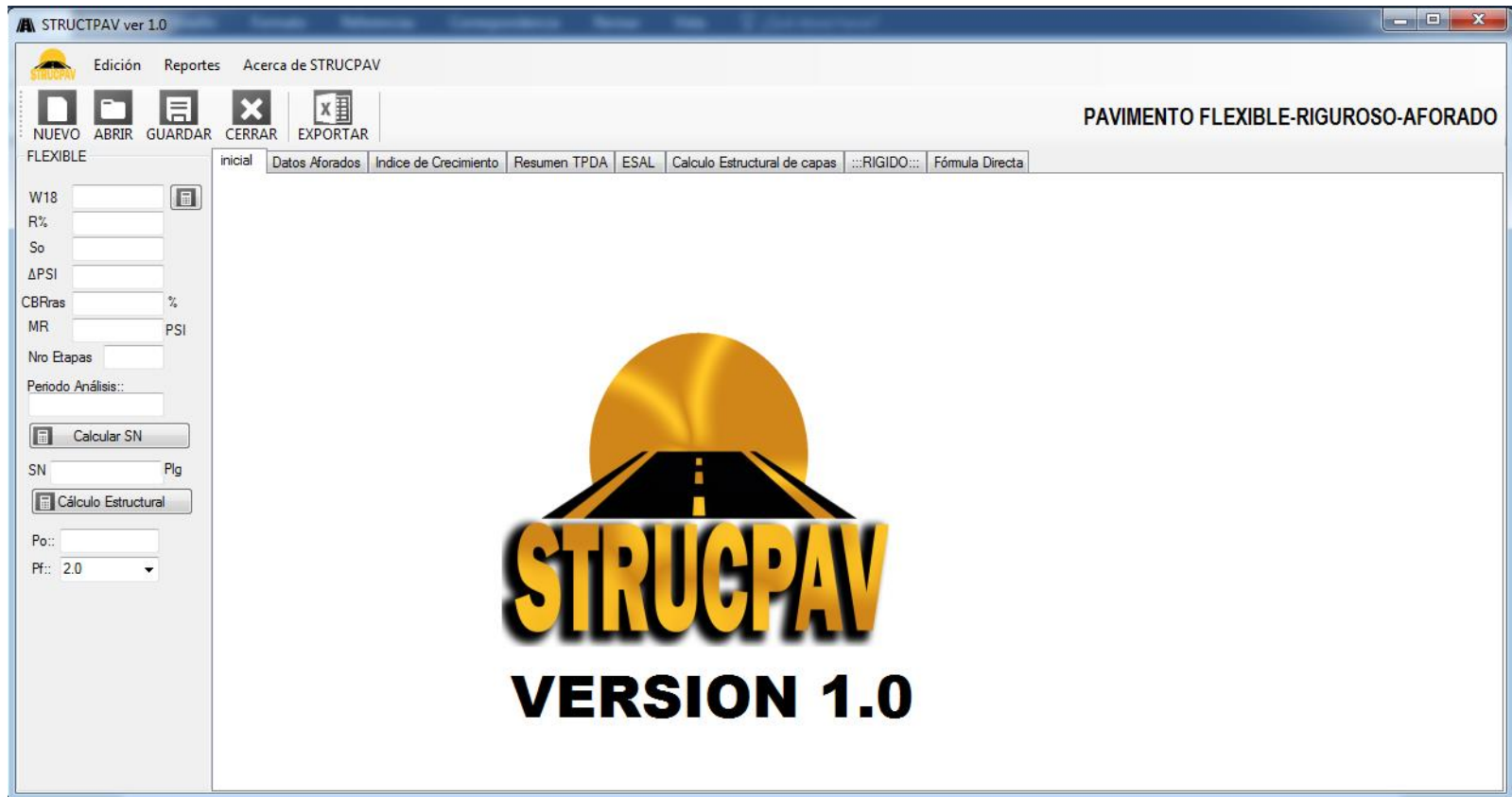
### **3.8. PROGRAMA STRUCPAV**

El programa STRUCPAV, en su versión 1.0 tiene por finalidad agilizar el proceso de diseño de pavimentos flexible y rígido siguiendo la metodología de AASHTO, con la particularidad de que el programa calcula los ejes equivalentes a partir del aforo del tráfico según la metodología de la ABC.

La programación se realizó usando las herramientas básicas del Visual Basic, conforme a la sección 2.33, siguiendo la secuencia de la metodología AASHTO y el proceso lógico que se encuentra en la sección 3.7 diseño de diagramas de flujo

En la figura 3.9 se puede observar la pantalla principal y el entorno del programa al realizar la ejecución del mismo.

Figura 3.9 Pantalla principal del programa



Fuente: Elaboración propia



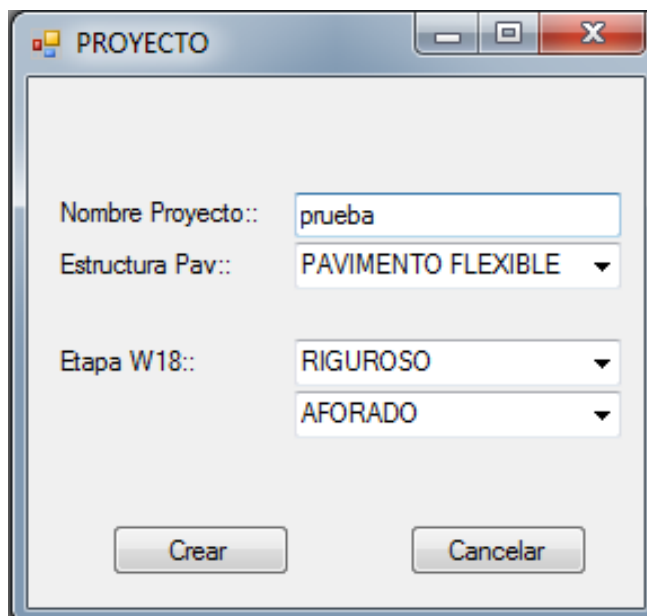
### 3.8.1. ENTORNO DEL PROGRAMA

El entorno del programa, cuenta con pequeños iconos de acceso rápido para su fácil ejecución, la primera que es un nuevo proyecto, seguida de las imágenes (abrir, guardar, cerrar y exportar) como se puede observar en la figura 3.9.

#### 3.8.1.1. PAVIMENTO FLEXIBLE

En la figura 3.10 Describe la pantalla, cuando se selecciona el tipo de pavimento Flexible (en este caso), “después de haber entrado a un nuevo proyecto” y en la primera fila está el nombre del proyecto, en la segunda el tipo de pavimento a seleccionar desde una pestaña desplegable, en la tercera fila se encuentra la determinación de ejes equivalentes y los métodos riguroso o simplificado y en la cuarta fila desde donde se iniciará el proceso de cálculo, cada variable depende de su propia configuración de entrada de datos y cálculo.

**Figura 3.10 Pantalla del tipo de pavimento flexible**



The image shows a software window titled "PROYECTO" with a standard Windows-style title bar (minimize, maximize, close buttons). The window contains the following elements:

- Nombre Proyecto::**: A text input field containing the word "prueba".
- Estructura Pav::**: A dropdown menu with "PAVIMENTO FLEXIBLE" selected.
- Etapas W18::**: Two stacked dropdown menus. The top one has "RIGUROSO" selected, and the bottom one has "AFORADO" selected.
- Buttons**: Two buttons at the bottom, "Crear" on the left and "Cancelar" on the right.

Fuente: Elaboración propia

#### 3.8.1.2. PAVIMENTO RÍGIDO

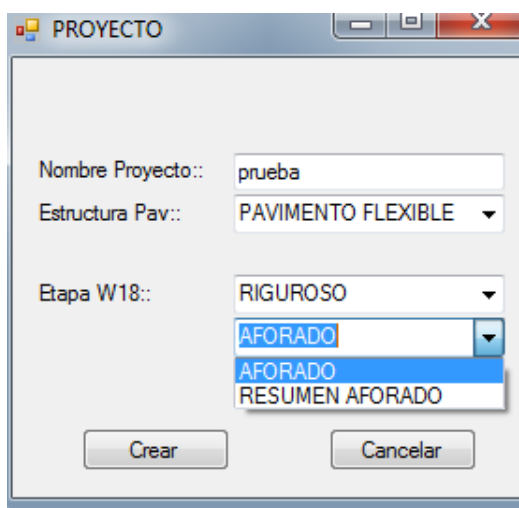
En la figura 3.11 Describe la pantalla, cuando se selecciona el tipo de pavimento Rígido utilizando la flecha desplegable, la determinación de ejes equivalentes tiene tres funcionalidades (etapa W18):

1. Método simplificado.
2. Método riguroso.
3. Método de fórmulas directas (para la estimación de ejes equivalentes).

En la sección 3.1. Inserción de variables y sección 3.2. Cálculo de variables se establece la funcionalidad de cada una de ellas.

cada variable depende de su propia configuración de entrada de datos y cálculo.

**Figura 3.11 Pantalla del tipo de pavimento rígido**



Fuente: Elaboración propia

### 3.8.2. DETERMINACIÓN DE TRÁFICO

Se realiza la determinación de tráfico a partir de estimación o la planilla de aforo, si en caso el diseñador ya tiene su planilla aforada calculada y proyectada, puede realizar una inserción de datos en la planilla resumida, en la figura 3.12 se puede observar como se ve la planilla aforada, tiene 2 diferentes columnas de inserción de datos, en la columna 1 (inserción de datos), estimación de días de aforo y sentidos de aforo) uno puede añadir el nombre del sitio de aforo, la cantidad de días aforados y los sentidos de aforo (si es un solo carril o ambos carriles).

En la columna 2 uno debe insertar sus datos aforados (la sugerencia que se tiene es una planilla de 24 horas, si uno desea otra modalidad de horas pico puede realizar insertando datos solo en horas pico). Y así puede ir variando la inserción según la cantidad de días aforados.

**Figura 3.12 Pantalla del tipo de pavimento Rígido**

STRUCTPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCTPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

PAVIMENTO FLEXIBLE

inicial Datos Aforados Resumen TPDA ESAL

Fecha: domingo, 08 de  
 Estación: ABRA EL CONDOR  
 Observación: ABRA EL CONDOR

W18  
 R%  
 So  
 ΔPSI  
 MR  
 SN

Kpa  
 mm

Calcular

FECHA	HORA	AUTOS	CAMIO NETAS	MINI BUS	MICRO BUS	BUS MEDIANO	BUS GRANDE	CAMION PEQUEÑO	CAMION MEDIANO	CAMION GRANDE	SEMIRE MOLQUE	RE MOLQUE	OTROS EJES
08/09/2013	0 - 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/09/2013	1 - 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/09/2013	2 - 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08/09/2013	3 - 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
09/09/2013	4 - 5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10/09/2013	5 - 6	1	2	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
11/09/2013	6 - 7	5	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
12/09/2013	7 - 8	2	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
06/09/2013	8 - 9	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07/09/2013	9 - 10	3	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
08/09/2013	10 - 11	5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
08/09/2013	11 - 12	2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
08/09/2013	12 - 13	2	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.3. DETERMINACIÓN DE EJES EQUIVALENTES

Una vez obtenida los registros aforados se pasa al cálculo de ejes equivalentes (Esal's o  $W_{18}$ ) tal como se muestra en la figura 3.12, debe apoyarse con los cuadros 2.6. y 2.8, en la figura 3.13 está el cálculo de ejes equivalentes y volumen total de tráfico descrito en la sección 3.5.

Figura 3.13 Cálculo de Esal's.

STRUCTPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCTPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

PAVIMENTO FLEXIBLE

ESAL | Cálculo Estructural de capas | --RIGIDOS--

inicial Datos Aforados Resumen TPDA

W18:

R1:

So:

ΔPSI:

CBR<sub>ras</sub>:

MR:

PSI:

Nro Etapas:

Periodo Análisis:

Calcular SN

SN:  Plg:

Cálculo Estructural

Po:

Pf: 2.0

TIPO EJE	LIVIANOS				BUSES			CAMIONES					OTRO MAS EJE	
	AUTOS	CAMIONETA	MINIBUS	MICROBUS	BUS MEDIANO	BUS GRANDE	CAMIÓN PEQ	CAMIÓN MEDIANO 2 EJES	CAMIÓN GRANDE 3 EJES	CAMIÓN SEMI REMOLQUE	CAMIÓN REMOLQUE			
TIPOS DE EJE	EJE DELANTERO	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
TIPOS DE EJE	1ER EJE TRASERO	S	S	SD	SD	SD	TD	SD	TD	TS	SD	TD	SD	SD
TIPOS DE EJE	2DO EJE TRASERO									TD	TRD	SD	TD	
TIPOS DE EJE	3ER EJE TRASERO											TRD	S	
TIPOS DE EJE	4TO EJE TRASERO												TD	
TIPOS DE EJE	5TO EJE TRASERO													
PESO POR EJE	EJE DELANTERO	5.5	5.5	7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7	7.7
PESO POR EJE	1ER EJE TRASERO	7	7	10	11	11	18	10	18	10	11	18	11	
PESO POR EJE	2DO EJE TRASERO									18	25		11	18
PESO POR EJE	3ER EJE TRASERO											25	7	
PESO POR EJE	4TO EJE TRASERO												18	
PESO POR EJE	5TO EJE TRASERO													
FACTOR CAMIÓN	EJE DELANTERO	0.2239129...	0.2239129...	0.5719426...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...	0.8199585...
FACTOR CAMIÓN	1ER EJE TRASERO	0.5719426...	0.5719426...	2.1079775...	3.0172134...	3.0172134...	1.9741573...	2.1079775...	1.9741573...	0.2089101...	3.0172134...	1.9741573...	3.0172134...	
FACTOR CAMIÓN	2DO EJE TRASERO									1.9741573...	1.7934831...	3.0172134...	1.9741573...	
FACTOR CAMIÓN	3ER EJE TRASERO											1.7934831...	0.5719426...	
FACTOR CAMIÓN	4TO EJE TRASERO												1.9741573...	
FACTOR CAMIÓN	5TO EJE TRASERO													
SUMATORIA		0.7958556...	0.7958556...	2.6799202...	3.8371720...	3.8371720...	2.7941158...	2.9279360...	2.7941158...	3.0030259...	5.6306551...	7.6048124...	8.3574293...	
% Variación														
--TPD--		878	359	14	10	107	135	241	220	209	39	70	3	

Unidades Peso: In  Tráfico Generado 40 Inicio Operación 3 ESAL>

Espesor: 4.0 pulg | 1'  Tráfico Inducido 5

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.14 muestra el proceso final del método riguroso donde no se debe olvidar colocar el factor de dirección y de carril en decimal.

**Figura 3.14 Cálculo final de Esal's**

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acercas de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

PAVIMENTO FLEXIBLE

FLEXIBLE

inicial Datos Aforados Resumen TPDA ESAL Calculo Estructural de capas ...RIGIDOS...

Label18

TIPO VEHICULO	Volumen Diario	Factor Crecimiento	Tránsito Diseño	Factor Camión	Nro ESAL Diseño
BUS MEDIANO	200	15.03	1097190	3.837172005873...	4210106.753124...
BUS GRANDE	253	15.03	1387945.35	2.794115826098...	3878080.068194...
CAMIÓN PEQUE...	518	19.32	3652832.4	2.927936050817...	10695259.671553
CAMIÓN MEDIA...	472	19.32	3328449.6	2.794115826098...	9300073.703729...
CAMIÓN GRANDE	448	19.32	3159206.4	3.003025938457...	9487178.764141...
CAMIÓN SEMIR...	84	19.32	592351.2	5.630655151940...	3335325.336038...
CAMIÓN REMOL...	151	19.32	1064821.8	7.604812455311...	8097770.087327...
OTROS EJES	6	19.32	42310.8	8.357429309244...	353609.5200175...
				TOTAL	60216397.34908...

<<resultado

Factor por Camil 1

Factor por Direccion 0.5

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.4. CÁLCULO DEL NÚMERO ESTRUCTURAL Y DISEÑO DE CAPAS

En la figura 3.15 se muestra en lado izquierdo ya el cálculo del número estructural a partir de sus variables, en la parte derecha se ve un cuadro donde ahí se puede realizar el diseño de capas estructurales del pavimento mediante la metodología de AASHTO, una alternativa y un diseño propio que el diseñador podrá realizar.

**Figura 3.15 Cálculo del número estructural y capas del pavimento**

The screenshot shows the STRUCPAV ver 1.0 software interface. The main window displays a table with the following data:

Col	Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Calidad Drenaje	PTSP	Coefficiente de Drenaje (m)	CBR (%)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Alternativa Calculo I (mm)	Alternativa Calculo II (mm)	Diseño Propio (mm)
	Capa Asfáltica	0.49	Bueno		1		3100000	145			95
	Capa Base	0.14	Bueno		0.8		214000	250			250
	Capa SubBase	0.10	Bueno		0.8		93100	150			425

The sidebar on the left contains the following input fields and buttons:

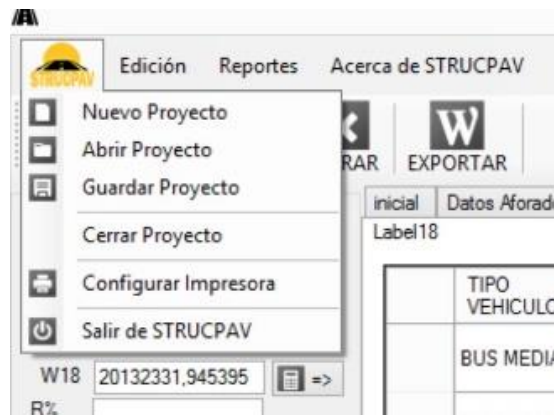
- W18: 2000000
- R%: 99
- So: 0.49
- ΔPSI: 2
- CBRras: [empty]
- MR: 9000 PSI
- Nro Etapas: [empty]
- Período Análisis: 1
- Calcular SN button
- SN: 4.2698000000033 P/g
- Cálculo Estructural button
- Po: [empty]
- Pf: 2.5

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.5. DESPLIEGUE DE MENÚ

En la figura 3.16 Describe la pantalla, del menú donde se describe el registro de archivo de proyecto con sus diferentes funcionalidades como, hacer nuevo proyecto, abrir, guardar y cerrar, mismos que trabajan sobre un archivo XML, formato que se seleccionó para la recolección de datos de la estructura de pavimento.

**Figura 3.16 Pantalla de despliegue de menú**



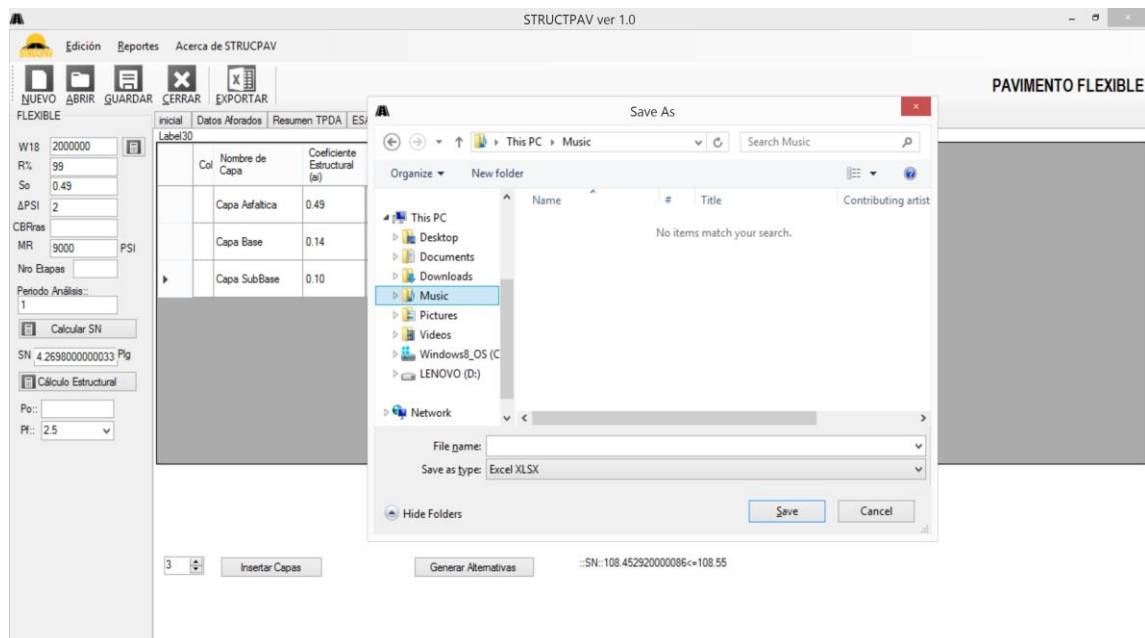
Fuente: Elaboración propia

### 3.8.6. PROCESO DE GUARDADO Y ABRIR UN ARCHIVO

En la figura 3.17 y 3.18 muestra la pantalla, del menú donde se describe el registro de archivo de proyecto para su respectivo guardado del archivo en extensión. Pav.

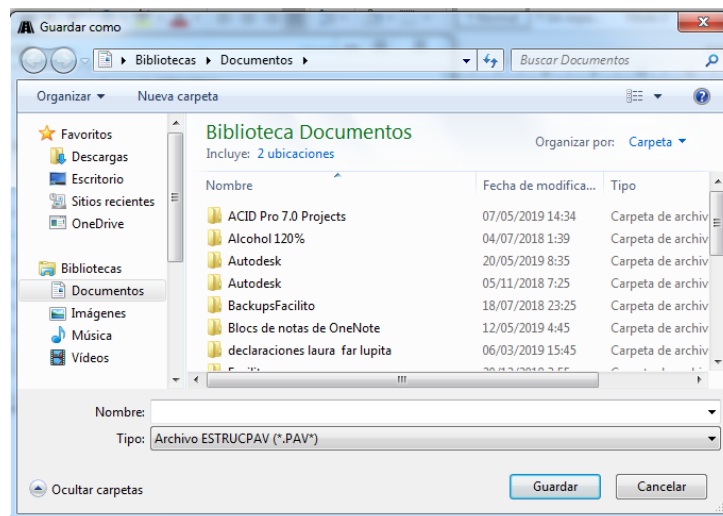
En la figura 3.19 muestra el proceso de abrir un proyecto que se guardó anteriormente.

**Figura 3.17 Despliegue de guardado**



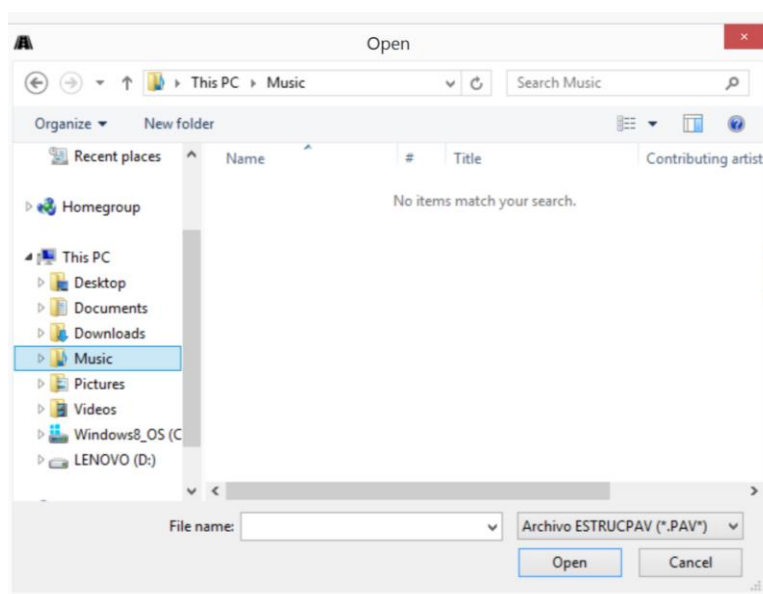
Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.18 Sección de guardado**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.19 Despliegue de abrir un proyecto**



Fuente: Elaboración propia



### 3.9. DATOS DE PAVIMENTOS

#### 3.9.1. PAVIMENTO FLEXIBLE

##### Tramo Puente Jarcas - Piedra Larga

**Cuadro 3.2 Tasa de proyección de tráfico**

Variable	Livianos	Buses	Camiones	otros
Población prov. Cercado	3,80	3,80		
Población prov. O' Connor	0,90	0,90		
TPDA	21,01	21,01	21,01	21,01
PIB			11,55	
PARQUE VEH	9,39	9,39	9,39	
<b>PROMEDIO</b>	<b>8,78</b>	<b>8,78</b>	<b>13,98</b>	<b>21,01</b>

**Cuadro 3.3 Tráfico resumen considerado**

DIA	VEHICULO												TOTAL	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
viernes	166	75	2	3	19	29	44	55	39	7	9	1	449	19,6%
sábado	220	68	0	1	14	23	29	26	14	6	14	1	416	18,2%
domingo	91	27	1	2	13	21	25	26	38	7	5	0	256	11,2%
lunes	139	66	7	0	17	15	37	35	13	4	14	1	348	15,2%
martes	87	34	1	3	10	14	33	31	31	9	5	0	258	11,3%
miércoles	111	51	0	0	18	18	42	14	42	3	20	0	319	14,0%
jueves	65	38	3	1	16	15	31	33	32	3	3	0	240	10,5%
Total general	879	359	14	10	107	135	241	220	209	39	70	3	2286	100,0%

**Cuadro 3.4 Tráfico resumen considerado**

Sentido	Livianos			Buses			Camiones					Otros	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Total	133,857	54	2	2	16	20	36	33	32	6	11	0	345,8571
%	38,45%	15,70%	0,61%	0,44%	4,68%	5,91%	10,54%	9,62%	9,14%	1,71%	3,06%	0,13%	100,00%

Ejes equivalentes 1637202

Periodo de análisis 20 años

Número de etapas 2

Drenaje a usar 1

Módulo resiliente 12744,75

Serviciabilidad inicial 4,20

Se adopta una serviciabilidad final de 2,50

Confiabilidad de 85% y desviación estándar de 0,49

**Tramo Acheral – Choere**

Ejes equivalentes 6144004 de un solo carril

Serviciabilidad inicial 4,20

Se adopta una serviciabilidad final de 2,50

La confianza global adoptada es 80%

se recomienda un valor de 0,43

Módulo resiliente MR = 45 Mpa

Se adoptaron para subbase coeficiente de drenaje de 1,00 y para capa base un coeficiente de drenaje de 1,00

Coefficientes:

**Cuadro 3.5 Coeficientes estructurales**

Carpeta asfalto	0,44
Base granular	0,14
Subbase granular	0,12

### Tramo Aguas Blancas – Itau

Servicio departamental de caminos diseño final asfaltado camino

Ejes equivalentes 721290 de un solo carril

Serviciabilidad inicial 4,20

Se adopta una serviciabilidad final de 2,50

La confianza global adoptada es 90%

se recomienda un valor de 0,49

Los módulos resilientes determinados para dos tipos de CBR de subrasante 3,3% y 6%.

$$MR I = 1500 * 3.3 = 50 \text{ Mpa}$$

$$MR II = 1500 * 6.0 = 90 \text{ Mpa}$$

Se adoptaron para subbase coeficiente de drenaje de 1,00 y para capa base un coeficiente de drenaje de 1,00

Coeficientes:

**Cuadro 3.6 Coeficientes estructurales**

Carpeta	0,44
Base granular	0,14
Subbase	0,11

### 3.9.2. PAVIMENTO RÍGIDO

Prefectura del departamento de Tarija

Tramo vial: Campo Pajoso - Carapari - Palos Blancos

Ejes equivalentes 3081145 de un solo carril

Serviciabilidad inicial 4,50

Se adopta una serviciabilidad final de 2,50

La confianza global adoptada es 80%

se recomienda un valor de 0,35

Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón  $S'c = 4.50 \text{ MPa}$

Módulo de Elasticidad  $E_c = 26000 \text{ MPa}$

Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K)

Para CBR = 4.5 %  $K = 38 \text{ KPa/mm}$ ; y

Para CBR = 10.0%  $K = 62 \text{ KPa/mm}$

Coefficiente de Transferencia de Carga  $J = 3,2$ .

Coefficiente Global de Drenaje  $C_d = 1,10$ .

Factor de Fricción  $F = 1,50$

Resistencia a la fluencia del acero para barras de amarre:  $f_y = 400 \text{ Mpa}$  y acero para barras pasajuntas de  $2,400 \text{ MPa}$ .

Gradiente térmico (anteriormente se explicó el criterio para su adopción):

$\Delta t = 20^\circ \text{ C}$

Coefficiente de dilatación del hormigón:  $\alpha = 1 \times 10^{-6} \text{ mm/mm/}^\circ\text{C}$

Tensión de Trabajo del Acero  $420 \text{ MPa}$  de resistencia característica.

La tensión de adherencia admisible asumida en el hormigón  $2413 \text{ kPa}$ .

La distancia entre juntas transversales es de  $4,50 \text{ m}$  (losa de dimensiones  $3,50$  por  $4,50 \text{ m}$ ).

En las juntas transversales deberá colocarse acero liso de  $1''$  de  $0.45 \text{ m}$  de largo y espaciado a  $0,30 \text{ m}$ .

**CAPÍTULO 4**  
**CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## CAPÍTULO 4

### CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### 4. CÁLCULO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS

##### 4.1. CÁLCULO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES

El cálculo de pavimentos se realiza como comparación de resultados considerando datos de la sección 3.10 dichos datos serán colocados en cada programa comparado y según el tramo.

##### 4.1.1. CÁLCULOS POR EL PROGRAMA AASHTO

Las comparaciones con el programa AASHTO en base a los datos de la sección 3.10

“Este programa fue desarrollado por el Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela Colombia”

##### Tramo Puente Jarcas - Piedra Larga

**Cuadro 4.1 Cálculo del número estructural**

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software window. The interface is organized into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.49'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** Text box for 'Mr' with the value '12744.75 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' (selected) and 'Calcular W18'. The 'W18' value is shown as '1637202'.
- Número Estructural:** The calculated 'SN' is displayed as '3.00'.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

**Cuadro 4.2 Cálculo del número estructural incrementando la confiabilidad**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): 85 % Zr = -1.037  So: 0.49

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2  PSI final: 2.5

Tránsito de diseño: W18: 1637202

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coficiente de capa (ai)	Coficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	450000	¿E/a?	0.43	1.00	¿m?	2.17	5.05 5,5 5,5 2,37
2	29575.76	¿E/a?	0.14	1	¿m?	2.60	1.68 2,0 6,0 0,84
3	18528.99	¿E/a?	0.13	1	¿m?	3.00	-1,58 0,0 0,0 0,00
4	12744.75	MR					3,21 OK

W18 real: 2,46E+006

Cálculo de W18 para un SN: SN: 3,23 W18: 4,89E+005

Quitar el control de variables

**Cuadro 4.3 Reporte de datos de diseño**

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,43	1	125	59
2	Base granular	0,14	1,00	150	21
3	Subbase granular	0,12	1,00	0	0
Total	-	-	-	275	80

## Tramo Acherál – Choere

Cuadro 4.4 Cálculo del número estructural y capas

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
 Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):  
 80 % Zr = - 0.841   
 So = 0.43

Serviciabilidades inicial y final:  
 PSI inicial = 4.2   
 PSI final = 2.5

Tránsito de diseño:  
 W18 = 6144004

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto			
1	450000	¿E/a?	0.44	1	¿m?	2.54	5,77	6,0	6,0	2,64
2	30000	¿E/a?	0.14	1	¿m?	3.03	2,79	3,0	6,0	0,84
3	19000	¿E/a?	0.12	1	¿m?	4.51	8,58	9,0	9,0	1,08
4	6526,485	MR							4,56	OK

W18 real: 6,70E+006

Cálculo de W18 para un SN:  
 SN = 4.56 W18 = 6,70E+006

Quitar el control de variables

Cuadro 4.5 Reporte de datos de diseño

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	150	66
2	Base granular	0,14	1,00	150	21
3	Subbase granular	0,12	1,00	225	27
Total	-	-	-	525	114



**Tramo Aguas Blancas – Itau (subrasante de 50 Mpa)**

**Cuadro 4.6 Cálculo del número estructural y capas**

**Cuadro 4.7 Reporte de datos de diseño**

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	125	55
2	Base granular	0,14	1,00	150	21
3	Subbase granular	0,11	1,00	150	16,5
Total	-	-	-	425	92,5

## Tramo Aguas Blancas – Itau subrasante de 90 Mpa

### Cuadro 4.8 Cálculo del número estructural y capas

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiability (R) y desviación estándar (So):  
90 % Zr = - 1.282  
So: 0.49

Serviciabilidades inicial y final:  
PSI inicial: 4.2  
PSI final: 2.5

Tránsito de diseño: w18: 721920

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	400000	¿E/a?	0.44	1	¿m?	2.00	4,55 5,0 5,0 2,20
2	29000	¿E/a?	0.14	1	¿m?	2,65	3,21 3,5 6,0 0,84
3	14000	¿E/a?	0.11	1	¿m?	2,72	-2,91 0,0 0,0 0,00
4	13052.97	MR					3,04 OK 1,43E+006

Cálculo de w18 para un SN  
SN: 3.04 w18: 1.43E+006

Quitar el control de variables

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

### Cuadro 4.9 Reporte de datos de diseño

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	125	55
2	Base granular	0,14	1,00	150	21
3	Subbase granular	0,11	1,00	0	0
Total	-	-	-	275	76

#### 4.1.2. CÁLCULOS POR SOFTWARE DARWin

DARWin Pavement Design and Analysis System

Flexible Structural Design Module

Proyecto pavimento Acherai - Choere

Periodo de diseño 20 años

$M_R = 45 \text{ Mpa}$

Flexible Structural Design

80-kN ESALs Over Initial Performance Period 6144004

Initial Serviceability 4,2

Terminal Serviceability 2,5

Reliability Level 80 %

Overall Standard Deviation 0,43

Roadbed Soil Resilient Modulus 45,000 kPa

Stage Construction 1

Calculated Design Structural Number mm

**Cuadro 4.10 Reporte de datos de diseño**

Capa	Descripción de material	Coef. estructural $a_i$	Coef de drenaje $m_i$	Espesor calculado mm	Número estructural mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	50	31
2	Base granular	0,14	1,1	180	28
3	Subbase granular	0,12	1,1	220	33
Total	-	-	-	350	92

DARWin Pavement Design and Analysis System

Flexible Structural Design Module

Proyecto Aguas Blancas - Itau

Periodo de diseño 20 años

$M_R = 50$  Mpa

Flexible Structural Design

80-kN ESALs Over Initial Performance Period 721920

Initial Serviceability 4,2

Terminal Serviceability 2,5

Reliability Level 90 %

Overall Standard Deviation 0,49

Roadbed Soil Resilient Modulus 50000 kPa

Stage Construction 1

Calculated Design Structural Number 86 mm

**Cuadro 4.11 Reporte de datos de diseño**

Capa	Descripción de material	Coef. estructural $a_i$	Coef de drenaje $m_i$	Espesor calculado mm	Número estructural mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	65	29
2	Base granular	0,14	1.00	200	28
3	Subbase granular	0,11	1.00	250	28
Total	-	-	-	450	86

Proyecto Aguas Blancas - Itau

Periodo de diseño 20 años

$M_R = 90$  Mpa

Flexible Structural Design

80 kN ESALs Over Initial Performance Period 721290

Initial Serviceability 4,2

Terminal Serviceability 2,5

Reliability Level 90 %

Overall Standard Deviation 0,49

Roadbed Soil Resilient Modulus 90000 kPa

Stage Construction 1

Calculated Design Structural Number 69 mm

**Cuadro 4.12 Reporte de datos de diseño**

Capa	Descripción de material	Coef. estructural $a_i$	Coef de drenaje $m_i$	Espesor calculado mm	Número estructural mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	50	22
2	Base granular	0,14	1,00	150	24
3	Subbase granular	0,11	1,00	200	23
Total	-	-	-	400	69

### 4.1.3. CÁLCULOS POR EL PROGRAMA DIPAV 2.0

El programa DIPAV 2.0 fue desarrollado en Bolivia por el Instituto Boliviano de Cemento y Hormigón (IBCH).

#### Tramo Puente Jarcas - Piedra Larga

**Cuadro 4.13 Cálculo número estructural programa Dipav 2.0**

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface with the following data and controls:

Parameter	Value	Unit
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)	87,871.96	KPa
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)	12,744.75	psi
Confiabilidad (R)(%)	85	
Desviación Estándar (So)	0.49	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	1,637,202	
Número Estructural (mm)	76	mm
Número Estructural (pulg)	2.99	pulg

Additional controls and options shown in the interface include:

- Buttons: Cerrar, Calcular, Calcular ESALs, Borrar todo.
- Radio buttons:  SN,  ESALs.
- Menu items: Archivo, Herramientas, Proyecto, Ayuda.
- Tabbed interface: Flexible, Módulo, ESALs (selected), Diseño de Espesor de Capas, Gráfico.

**Cuadro 4.14 Diseño de capas programa Dipav 2.0**

Puente Jarcas - Piedra Larga

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Diseño con Verificación por Capas Diseño Especificado

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Coeficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
Carpeta Asfáltic	0.43	1	2,500,000		128	55	65
Capa Base	0.14	1	204,000		78	11	150
Capa Sub Base	0.12	1	128,000		86	10	230

Número Estructural Alcanzado

Número Estructural Requerido

**Cuadro 4.15 Resumen de diseño Puente Jarcas - Piedra Larga**

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,43	1,00	65	27,95
2	Base granular	0,14	1,00	150	21
3	Subbase granular	0,12	1,00	230	27,6
Total	-	-	-	445	76,55

**Tramo Aguas Blancas – Itau subrasante 50 Mpa****Cuadro 4.16 Cálculo número estructural programa Dipav 2.0**

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface. The window title is "DIPAV 2.0". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window is titled "Aguas Blancas - Itau" and has tabs for "Flexible", "Módulo", "ESALs", "Diseño de Espesor de Capas", and "Gráfico". The "Flexible" tab is active, displaying a form with the following fields and values:

Variable	Value
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	49,998.37 KPa / 7,251.65 psi
Confiabilidad (R)(%)	90
Desviación Estándar (So)	0.49
Número de Ejes Equivalentes ESALs	721,920
Número de Etapas de Construcción	1
Número Estructural (mm) - (pulg)	86 / 3.39

At the bottom of the form, there are two radio buttons: "SN" (selected) and "ESALs". Below "SN" is a "Calcular" button, and below "ESALs" is a "Borrar todo" button. A "Calcular ESALs" button is also present next to the ESALs field.



**Cuadro 4.17 Diseño de capas programa Dipav 2.0**

Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Coefficiente de Drenaje (mi)	Módulo de Elasticidad (kPa)	Espesor Especificado (mm)	Espesor Calculado (mm)	Número Estructural (mm)	Espesor Asumido (mm)
Carpeta Asfáltic	0.44	1	2,500,000		115	51	75
Capa Base	0.14	1	199,954.49		118	17	150
Capa Sub Base	0.11	1	96,529.76		175	19	290

Número Estructural Alcanzado: 86  
Número Estructural Requerido: 86

**Cuadro 4.18 Resumen de diseño Aguas Blancas – Itau subrasante 50 Mpa**

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1,00	80	35,2
2	Base granular	0,14	1,00	200	28
3	Subbase granular	0,11	1,00	270	29,7
Total	-	-	-	550	92,9

#### 4.1.4. CÁLCULOS POR EL PROGRAMA STRUCPAV (versión 1.0)

El programa STRUCPAV fue desarrollado en Tarija por “Irvin Evar Miranda Navia”

#### Tramo Puente Jarcas - Piedra Larga

**Cuadro 4.19** Diseño en del programa Strucpav versión 1.0

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Calidad Drenaje	PTSP	Coeficiente de Drenaje (mi)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Rango Mínimo de capa	Rango Máximo de capa	Incremento	Capa Evaluada	Diseño Propio (mm)
Capa asfáltica	0,43	Bueno		1	2500000	130				<input checked="" type="checkbox"/>	65
Capa base	0,14	Bueno		1	204000	100				<input checked="" type="checkbox"/>	150
Capa subbase	0,12	Bueno		1	128000	100				<input checked="" type="checkbox"/>	230

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.20** Resumen de diseño Puente Jarcas - Piedra Larga

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,43	1,00	65	27,95
2	Base granular	0,14	1,00	150	21
3	Subbase granular	0,12	1,00	230	27,6
Total	-	-	-	445	76,55

Fuente: Elaboración propia

## Reporte de datos pavimento flexible

### REPORTE DE PAVIMENTO FLEXIBLE

FECHA : 31/07/2019

Nombre de proyecto

Datos de Cálculo W18: FORMULA

Datos histórico Vehículo: CÁLCULO POR(TPD,I,N)

### DATOS DE ENTRADA

Número de Esal's	W18	1637202
Confiability	R%	85 %
Desviación estándar	So	0.49
Diferencia de serviciabilidad	$\Delta$ Psi	1.7
CBR subrasante	CBR	18 %
Módulo resiliente	Mr	12744.75 Psi

### RESULTADOS OBTENIDOS

Número estructural SN 2.9968 PULG

Nombre de Capa	Coficiente Estructural (ai)	Coficiente de Drenaje (mi)	Módulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Diseño Propio (mm)
Capa Asfáltica	0.43	1	2500000	130	65
Capa Base	0.14	1	204000	100	150
Capa Subbase	0.12	1	128000	100	230

## Tramo Acheral – Choere

### Cuadro 4.21 Diseño en del programa Strucpav versión 1.0

Column1	Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Calidad Drenaje	PTSP	Coeficiente de Drenaje (mi)	CBR (%)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Alternativa Calculo I (mm)	Alternativa Calculo II (mm)	Diseño Propio (mm)
		0,44	Bueno		1		4500000	150			115
		0,14	Bueno		1		204000	100			200
		0,12	Bueno		1		131004	300			300

Fuente: Elaboración propia

### Cuadro 4.22 Resumen de Diseño Acheral – Choere

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	115	50,6
2	Base granular	0,14	1,00	200	28
3	Subbase granular	0,12	1,00	300	36
Total	-	-	-	615	114,6

Fuente: Elaboración propia

## Tramo Aguas Blancas – Itau subrasante 50 Mpa

**Cuadro 4.23** Diseño en del programa Strucpav versión 1.0

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

PAVIMENTO FLEXIBLE-RIGUROSO-AFORADO

Calculo Estructural de capas ::RIGIDO:: Fórmula Directa

Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Calidad Drenaje	PTSP	Coeficiente de Drenaje (mi)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Rango Mínimo de capa	Rango Máximo de capa	Incremento	Capa Evaluada	Diseño Propio (mm)
Capa asfáltica	0,44	Bueno		1	2500000	115				<input checked="" type="checkbox"/>	70
Capa base	0,14	Bueno		1	199954,49	150				<input checked="" type="checkbox"/>	200
Capa subbase	0,11	Bueno		1	96529,76	150				<input checked="" type="checkbox"/>	260

3 Insertar Capas Generar Alternativas ::SN:86.3879400000699<=87,4 SI CUMPLE

Calcular SN

SN 3,4011000000027 Pg

Cálculo Estructural

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.24** Resumen de Diseño “Aguas Blancas – Itau”

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	80	35,2
2	Base granular	0,14	1,00	200	28
3	Subbase granular	0,11	1,00	270	29,7
Total	-	-	-	550	92,9

Fuente: Elaboración propia

## Tramo Aguas Blancas – Itau, subrasante 90 Mpa

**Cuadro 4.25** Diseño en del programa Strucpav versión 1.0

Column1	Nombre de Capa	Coeficiente Estructural (ai)	Calidad Drenaje	PTSP	Coeficiente de Drenaje (mi)	CBR (%)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Alternativa Calculo I (mm)	Alternativa Calculo II (mm)	Diseño Propio (mm)
		0,44	Bueno		1		4500000	115			50
		0,14	Bueno		1		199954	150			180
		0,11	Bueno		1		96529	-24,40654...			200

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.26** Resumen de Diseño “Aguas Blancas – Itau”

Capa	Descripción del material	Coef. Estructural ai	Coef de drenaje mi	Espesor calculado mm	SN mm
1	Carpeta asfalto	0,44	1	70	30,8
2	Base granular	0,14	1,00	200	28
3	Subbase granular	0,11	1,00	260	28,6
Total	-	-	-	530	87,4

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. CÁLCULO DE PAVIMENTO RÍGIDO

### 4.2.1. CÁLCULOS POR SOFTWARE DARWin

AASHTO Pavement Design

DARWin Pavement Design and Analysis System

A Proprietary AASHTOWare

Computer Software Product

Aci – Soinco - Interproyectos

Tarija - Bolivia

Rigid Structural Design Module

#### **Proyecto Campo Pajoso - Carapari**

Periodo de diseño 20 años

Módulo K = 62

Rigid Structural Design

Pavement Type	JPCP	
80-kN ESALs Over Initial Performance Period		8.282.572
Initial Serviceability	4,5	
Terminal Serviceability	2,5	
28-day Mean PCC Modulus of Rupture		4500 kPa
28-day Mean Elastic Modulus of Slab		26.000.000 kPa
Mean Effective k-value	62 kPa/mm	
Reliability Level	80 %	
Overall Standard Deviation	0,35	
Load Transfer Coefficient, J	3,2	
Overall Drainage Coefficient, Cd	1,1	

Calculated Design Thickness 215 mm

#### Tie Bar Steel Design

Steel Grade 400 MPa

Distance to Free Edge 3,5 m

Slab Thickness 210 mm

Friction Factor (F) 1,5

Percent of Yield Strength 70

Bar Diameter 12 mm

#### Calculated Results

Calculated Maximum Tie Bar Spacing 1,25 m

Recommended Maximum Tie Bar Spacing 1,20 m

Calculated Tie Bar Length 772 mm

Calculated Area of Steel 90,6 sq. mm/m

#### Joint Reservoir and Sealant Design

PCC Coefficient of Thermal Contraction  $10,8 (10^{-6} \text{ mm/mm})/C$

Temperature Range from PCC Placement to Minimum Temp. 20 C

Drying Shrinkage Coefficient of PCC Slab 0,00045 mm/mm

Adjustment Factor for Friction B/T Slab and Subbase 0,8

Sealant Type Silicone

Allowed Sealant Strain 0,5 mm/mm

Sealant Shape Factor 0,8

#### Calculated Results

Calculated Joint Opening 2,4 mm

Calculated Recommended Minimum Joint Reservoir Width 5 mm



Calculated Joint Sealant Depth 4 mm

#### Layer Information

Joint Spacing 4,5 m

Dowel Material Acero

Dowel Diameter 25 mm

Dowel Length 450 mm

Dowel Space 300 mm

Dowel Coating Pintura Anticorrosiva Epóxica

Layer	Material Description	Thickness (mm)	One Dir Width (m)
1	JPCP	215.1	-
2	Subbase granular	150	-
Total	-	365	-

1997 AASHTO Pavement Design

DARWin Pavement Design and Analysis System

A Proprietary AASHTOWare

Computer Software Product

Aci – Soinco - Interproyectos

Tarija - Bolivia

Rigid Structural Design Module

**Proyecto Campo Pajoso - Carapari**

Periodo de diseño 20 años

Módulo K = 38

Rigid Structural Design

Pavement Type	JPCP	
80-kN ESALs Over Initial Performance Period		8.282.572
Initial Serviceability	4,5	
Terminal Serviceability	2,5	
28-day Mean PCC Modulus of Rupture		4.500 kPa
28-day Mean Elastic Modulus of Slab		26.000.000 kPa
Mean Effective k-value	38 kPa/mm	
Reliability Level	80 %	
Overall Standard Deviation	0,35	
Load Transfer Coefficient, J	3,2	
Overall Drainage Coefficient, Cd	1,1	
Calculated Design Thickness	222 mm	

### Tie Bar Steel Design

Steel Grade 400 MPa  
 Distance to Free Edge 3,5 m  
 Slab Thickness 220 mm  
 Friction Factor (F) 1,5  
 Percent of Yield Strength 70  
 Bar Diameter 12 mm

### Calculated Results

Calculated Maximum Tie Bar Spacing 1,19 m  
 Recommended Maximum Tie Bar Spacing 1,19 m  
 Calculated Tie Bar Length 772 mm  
 Calculated Area of Steel 94,9 sq mm/m

### Joint Reservoir and Sealant Design

PCC Coefficient of Thermal Contraction  $10.8(10^{-6} \text{ mm/mm)/C}$   
 Temperature Range from PCC Placement to Minimum Temp. 20 C  
 Drying Shrinkage Coefficient of PCC Slab 0,00045 mm/mm  
 Adjustment Factor for Friction B/T Slab and Subbase 0,8  
 Sealant Type Silicone  
 Allowed Sealant Strain 0,5 mm/mm  
 Sealant Shape Factor 0,8

### Calculated Results

Calculated Joint Opening 2,4 mm  
 Calculated Recommended Minimum Joint Reservoir Width 5 mm  
 Calculated Joint Sealant Depth 4 mm

## Layer Information

Joint Spacing 4,5 m

Dowel Material Acero

Dowel Diameter 25 mm

Dowel Length 450 mm

Dowel Space 300 mm

Dowel Coating Pintura Anticorrosiva Epóxica

Layer	Material Description	Thickness (mm)	One Dir Width (m)
1	JPCP	221.8	-
2	Subbase granular	150	-
Total	-	372	-

## 4.2.2. CÁLCULOS POR SOFTWARE DIPAV 2.0

### Proyecto Campo Pajoso – Carapari

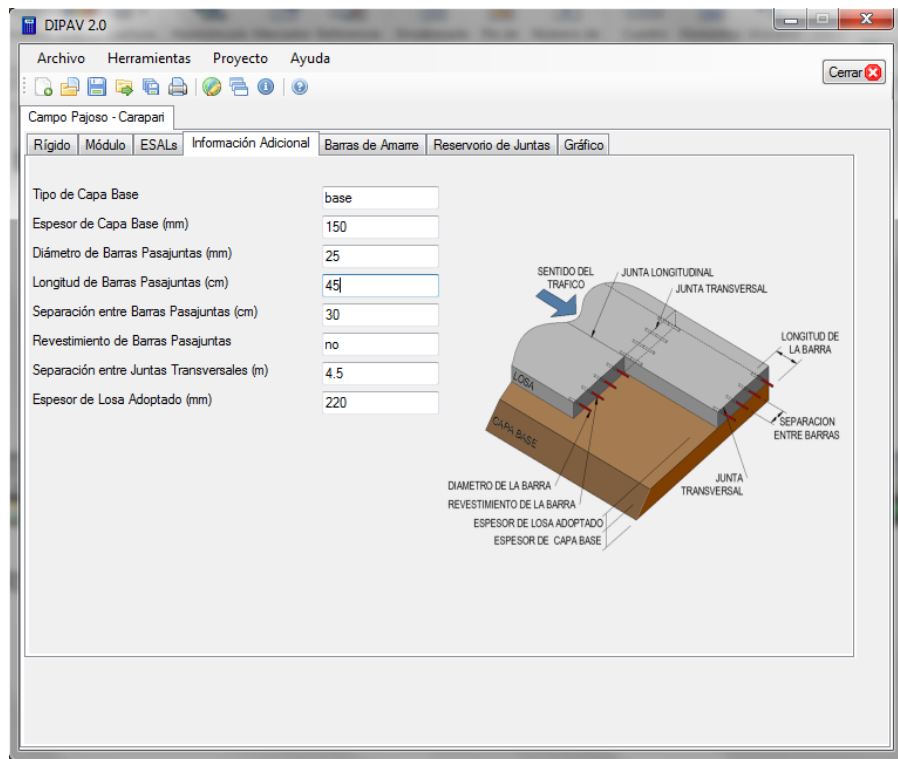
#### Cuadro 4.27 Diseño de espesor en programa Dipav 2.0

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface for the 'Campo Pajoso - Carapari' project. The 'Rígido' tab is active, and the following parameters are displayed:

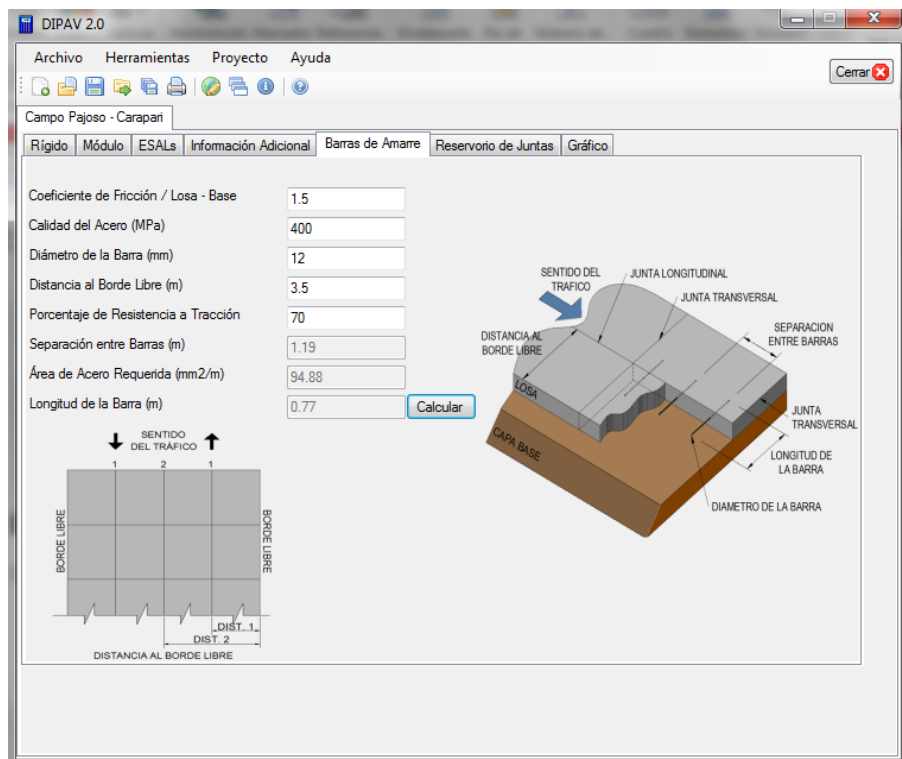
- Serviciabilidad Inicial (Po): 4.5
- Serviciabilidad Final (Pt): 2.5
- Módulo de Rotura del Hormigón (S<sub>c</sub>)(MPa) - (psi): 4.5 MPa (652.67 psi)
- Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi): 26,000 MPa (3,770,981.18 psi)
- Coefficiente de Drenaje (C<sub>d</sub>): 1.1
- Coefficiente de Transferencia de Cargas (I): 3.2
- Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci): 38 kPa/mm (140.09 pci)
- Confiablez (R)(%): 80
- Desviación Estándar (S<sub>o</sub>): 0.35
- Número de Ejes Equivalentes ESALs: 8,282,572
- Espesor de Losa (mm): 221

At the bottom, the 'Espesor' radio button is selected, and the 'Calcular' button is visible. The 'ESALs' radio button is unselected, and the 'Borrar todo' button is also visible.

**Cuadro 4.28 Dimensiones para armadura transversal Dipav 2.0**



**Cuadro 4.29 Disposición de armadura longitudinal Dipav 2.0**



Cuadro 4.30 Disposición de juntas Dipav 2.0

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Cerrar

Campo Pajoso - Carapari

Rígido Módulo ESALs Información Adicional Barras de Amare Reservorio de Juntas Gráfico

Coefficiente de Expansión Térmica ( $10^{-6}$ mm/mm/°C)	10.8
Rango de Temperatura (°C)	20
Coefficiente de Retracción por Secado (mm/mm)	0.00045
Coefficiente de Ajuste por Fricción Losa/Base	0.8
Tipo de Sellador	SILICONA
Deformación Admisible del Sellador (mm/mm)	0.5
Factor de Forma del Sellador	0.8
Apertura de la Junta (mm)	2.4
Ancho del Reservorio de Junta (mm)	5
Profundidad Mínima del Sello (mm)	4
Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm)	14

Calcular

ANCHO DEL RESERVORIO DE JUNTA

TIRA DE RESPALDO (BAKER ROD)

PROFUNDIDAD MINIMA DEL SELLO

PROFUNDIDAD MINIMA DE CORTE DE AMPLIACION

SELLO

CORTE INICIAL

APERTURA DE LA JUNTA

4.2.3. CÁLCULO CON PROGRAMA STRUCPAV

Cuadro 4.31 Cálculo de pavimento rígido Campo Pajoso - Carapari

STRUCPAV Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

PAVIMENTO RIGIDO-RIGUROSO-AFORADO

RIGIDO inicial Datos Aforados Índice de Crecimiento Resumen TPDA ESAL Calculo Estructural de capas ::RIGIDO:: Fórmula Directa

W18 8282572

R% 80

So 0.35

ΔPSI 2

Periodo Análisis:

Calcular D

D 8.79999999999999 Plg

Cálculo Estructural

Po: 4.5

Pf: 2.5

K: 140.09 PCI

S'c: 652.57 PSI

J: 3.2

Ec: 3770981.18 PSI

Zr: 0.841

Cd: 1.1

ARMADURA LONGITUDINAL

Longitud al borde libre L 3.5000000000 m 11.482939632 pies

Factor de Fricción F 1.5 m

Tensión del acero fs 400000 Kpa 58015.2 Psi

Porcentaje de acero Ps 0.0196875000 % 0.0197929846 %

Trabajo del acero 75 %

Espesor de losa D 8.799 pulg 223.4946 mm

Diámetro del pasador d 0.4724 mm

Ancho de la sección Ws 275.59055118 cm

Cantidad de barras N 2.9178 2.9334

Area de sección 0.1752708364 pulg2 0.1752708364 pulg2

Area requerida 0.511410 pulg2 0.511415 pulg2

Separación de barras Y 47.21636 pulg 46.96473 pulg

119.9295 cm

Longitud Barra 70 cm

Recomendaciones para armadura transversal

espesor de losa cm	diametro del pasador mm	pulgadas	longitud cm	espaciamento cm
10 - 15	16	5/8	30	45
15 - 18	20	3/4	38	38
18 - 20	25	1	38	30
20 - 25	32	1 1/4	38	30

ARMADURA TRANSVERSAL

Diametro de barra d 25 mm

Longitud de barra l 18 pulg 45 cm

Espaciamento e 12 pulg 30 cm

Tipo de material acero

Recubrimiento del pasador pintura anticorrosiva

RESERVORIO DE JUNTAS

Profundidad de corte p 55.8725 mm

Espaciamento entre juntas L 4500 mm

Coef. de contracción térmica αc 0.0000108 °C<sup>-1</sup>

Rango de temperatura T 20 °C

Retracción por secado H<sup>2</sup> Z 0.00045

Factor ajuste por Fricción C 0.8

Apertura por variación Δ L 2.3976

Def. esp. del material S 0.5

Ancho de junta de contracción W 4.7952 mm

diseño 3.5964 mm

Tipo de material silicona

Actualizar

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 4.31 se muestra en la parte izquierda del programa los datos de entrada y el cálculo del espesor del pavimento, en la parte central del programa se encuentra los cálculos de armaduras longitudinales, disposición de armaduras transversal y el dimensionamiento para el reservorio de juntas.

### Reporte de datos de pavimento rígido.

#### REPORTE DE PAVIMENTO RÍGIDO

FECHA : 31/07/2019  
Nombre de proyecto Diseño de pavimento Rígido

Datos de Cálculo W18: FÓRMULA

#### DATOS DE ENTRADA

Número de Esal's	W18	8282572
Confiabilidad	R%	80 %
Desviación estándar	So	0.35
Serviciabilidad inicial	Po	4.5
Serviciabilidad final	Pf	0
Diferencia de serviciabilidad	$\Delta$ PSI	2
Periodo análisis	n	1 años
Reacción de subrasante	K	140.09 Pci
Módulo de elasticidad del hormigón	Ec	3770981.18 Psi
Módulo de rotura del Hormigón	S'c	652.57 Psi
Coefficiente de transferencia de carga	J	3.2
Coefficiente de drenaje	Cd	1.1

#### CÁLCULO DE ESPESOR DE LOSA

Espesor de losa	D	8.8 pulg
-----------------	---	----------

#### ARMADURA LONGITUDINAL

Longitud al borde libre	L	3.5 m
Factor de Fricción	F	1.5
Tensión de trabajo del acero	fs	400000 Kpa
Porcentaje de trabajo del acero		70 %
Espesor de losa	D	223.4946 mm
Diámetro del pasador	d	12 mm



## DISPOSICIÓN DE ARMADURA LONGITUDINAL

Separación entre barras	Y	119.9 cm
Longitud de la barra	L	70 cm
Área requerida de acero	As	0.51141 cm <sup>2</sup>

## DISPOSICIÓN DE ARMADURA TRANSVERSAL

Tipo de material		acero
Diámetro de barra	d	25 mm
Longitud de barra	L	45 cm
Separación de barras	e	30 cm

## RESERVORIO DE JUNTAS

Espaciamiento entre juntas	L	4500 mm
Coefficiente de contracción térmica	$\alpha_c$	0.0000108 °C <sup>-1</sup>
Rango de temperatura	T	20 °C
Retracción por secado del hormigón	Z	0.00045
Factor de ajuste por fricción	C	0.8
Tipo de material de junta		1
Deformación específica del material	S	0.5

## DISPOSICIÓN DE JUNTAS

Apertura de junta por variación	$\Delta L$	2.3976 mm
Ancho de junta	W	4.7952 mm
Recomendación mínima		5 mm

### 4.3. CÁLCULO CON VARIACIÓN DE PARÁMETROS

Para realizar la variación de valores extremos, tomaremos en cuenta el tramo Puente Jarcas - Piedra Larga y el tramo Aguas Blancas – Itau, utilizando los programas Dipav 2.0 y Strucpav, para las variaciones de CBR, tráfico y confiabilidad, para el diseño de pavimento flexible. A partir de sus datos principales solo modificaremos los datos de CBR, considerando valores de 4 % al 20 %, el tráfico incoando de  $W_{18} = 500000$  hasta  $= 2500000$  y la confiabilidad  $R = 50\%$  hasta  $R = 99\%$ .

### 4.3.1. VARIACIÓN DEL CBR CON EL PROGRAMA DIPAV 2.0

#### Tramo Punte Jaracas – Piedra Larga

**Cuadro 4.32 Cálculo estructural usando CBR 4 %**

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface. The window title is 'DIPAV 2.0'. The menu bar includes 'Archivo', 'Herramientas', 'Proyecto', and 'Ayuda'. The project name is 'Punte Jaracas - Piedra Larga'. The 'ESALs' tab is selected. The following parameters are displayed:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	41,368.54 KPa <==== 6,000 psi
Confiabilidad (R)(%)	85
Desviación Estándar (So)	0.49
Número de Ejes Equivalentes ESALs	1,637.202
Número de Etapas de Construcción	1
Número Estructural (mm) - (pulg)	101 3.98

Buttons: 'Calcular' (next to Mr), 'Calcular ESALs', 'Calcular' (next to SN), 'Borrar todo' (next to ESALs).

**Cuadro 4.33 Cálculo estructural usando CBR 5 %**

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface. The window title is 'DIPAV 2.0'. The menu bar includes 'Archivo', 'Herramientas', 'Proyecto', and 'Ayuda'. The project name is 'Punte Jaracas - Piedra Larga'. The 'ESALs' tab is selected. The following parameters are displayed:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.2
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5
Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi)	51,710.68 KPa <==== 7,500 psi
Confiabilidad (R)(%)	85
Desviación Estándar (So)	0.49
Número de Ejes Equivalentes ESALs	1,637.202
Número de Etapas de Construcción	1
Número Estructural (mm) - (pulg)	93 3.66

Buttons: 'Calcular' (next to Mr), 'Calcular ESALs', 'Calcular' (next to SN), 'Borrar todo' (next to ESALs).

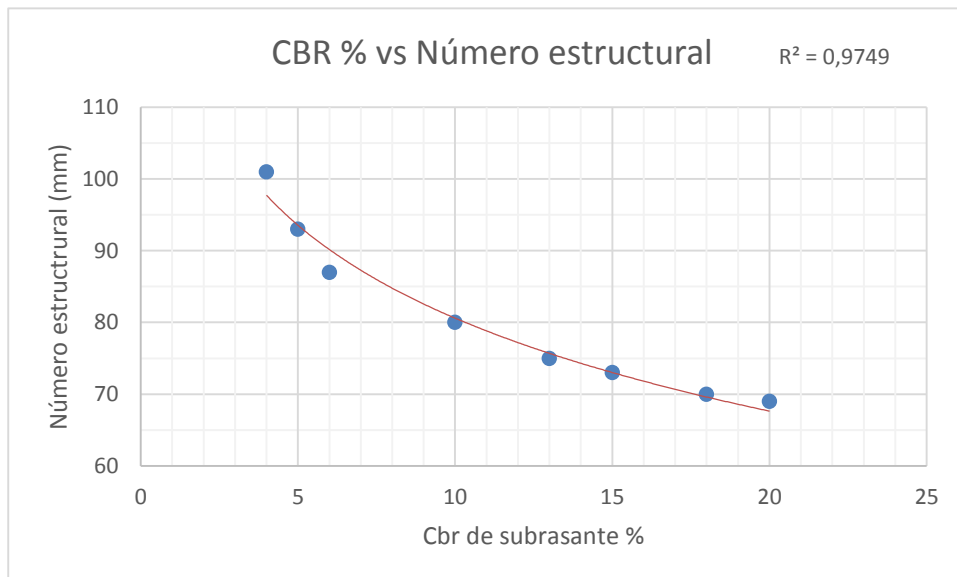
**Cuadro 4.34 Cálculo estructural usando CBR 6 %**

El resto de los cuadros de cálculo de CBR se encuentran en el anexo 8

**Cuadro 4.35 Resumen de variación de CBR % y SN**

CBR %	Número estructural SN (mm)
4	101
5	93
6	87
10	80
13	75
15	73
18	70
20	69

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.36 Curva de CBR % y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

**4.3.2. VARIACIÓN DEL TRAFICO CON EL PROGRAMA DIPAV 2.0****Cuadro 4.37 Cálculo estructural con W18 de 500000**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Cerrar

Puente Jarcas - Piedra Larga

Flexible Módulo ESALS Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) 4.2

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (M)(KPa) - (psi) 87,871.96 KPa <==== 12,744.75 psi

Confiabilidad (R)(%) 85

Desviación Estándar ( $S_o$ ) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALS 500,000

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 62 2.44

SN

ESALS

**Cuadro 4.38 Cálculo estructural con W18 de 750000**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Puente Jarcas - Piedra Larga

Flexible Módulo ESALS Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 87,871.96 KPa <==== 12,744.75 psi Calcular

Confianza (R)(%) 85

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALS 750,000 Calcular ESALS

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 67 2.64

SN Calcular

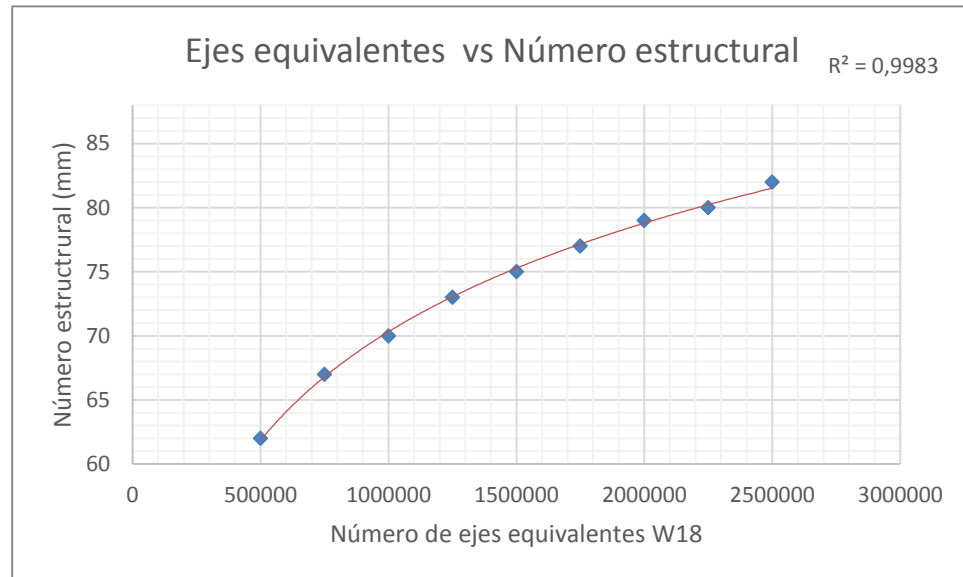
ESALS Borrar todo

El resto de los cuadros de cálculo de W18 se encuentran en el anexo 8

**Cuadro 4.39 Resumen de variación de W18 y SN**

Número de ejes equivalentes	Número estructural SN (mm)
500000	62
750000	67
1000000	70
1250000	73
1500000	75
1750000	77
2000000	79
2250000	80
2500000	82

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.40 Curva de ejes equivalentes W18 y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

**4.3.3. VARIACIÓN DE LA CONFIABILIDAD CON EL PROGRAMA DIPAV 2.0****Cuadro 4.41 Cálculo estructural con confiabilidad de 50 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Puente Jarcas - Piedra Larga

Flexible Módulo ESALS Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 87.871.96 KPa  psi

Confiabilidad (R)(%) 50

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALS 1.637.202

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 63

SN

ESALS

**Cuadro 4.42 Cálculo estructural con confiabilidad de 60 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Puente Jarcas - Piedra Larga

Flexible | Módulo | ESALS | Diseño de Espesor de Capas | Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (M)(KPa) - (psi) 87,871.96 KPa <==== 12,744.75 psi Calcular

Confiabilidad (R)(%) 60

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALS 1,637,202 Calcular ESALS

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 66 2.6

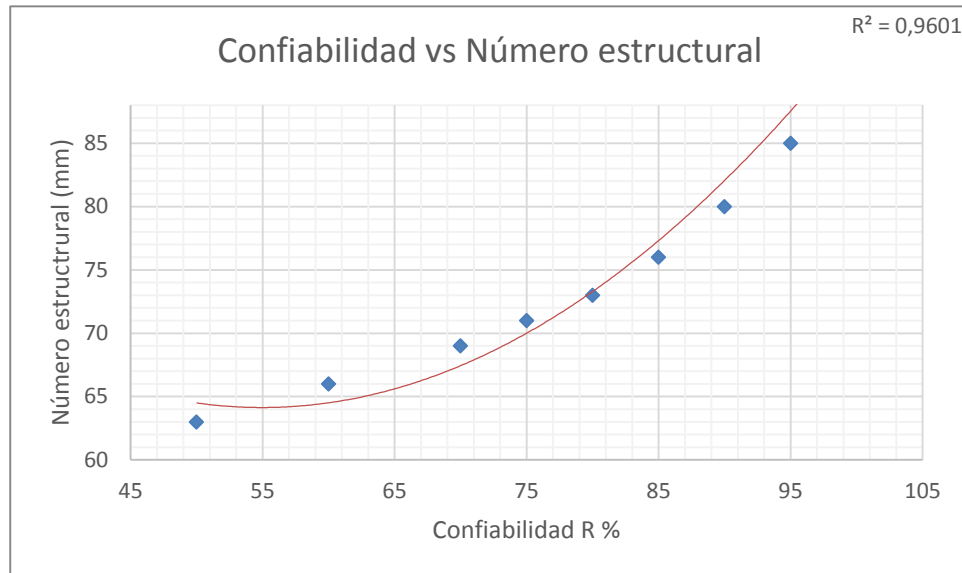
SN Calcular

ESALS Borrar todo

**Cuadro 4.43 Resumen de variación de confiabilidad y SN**

Confiabilidad R %	Número estructural SN (mm)
50	63
60	63
70	69
75	71
80	73
85	76
90	80
95	85
97	89
99	97

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.44 Curva de confiabilidad R % y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

**Tramo Aguas Blancas – Itau****Cuadro 4.45 Cálculo estructural usando CBR 4 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Aguas Blancas - Itau

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) 4.2

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ )(KPa) - (psi) 41,368.54 KPa <==== 6.000 psi **Calcular**

Confiabilidad (R)(%) 90

Desviación Estándar ( $S_o$ ) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 721,920 **Calcular ESALs**

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 93 3.66

SN **Calcular**

ESALs **Borrar todo**



**Cuadro 4.46 Cálculo estructural usando CBR 5 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Aguas Blancas - Itau

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 51,710.68 KPa <--- 7,500 psi Calcular

Confiabilidad (R)(%) 90

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 721.920 Calcular ESALs

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 85 3.35

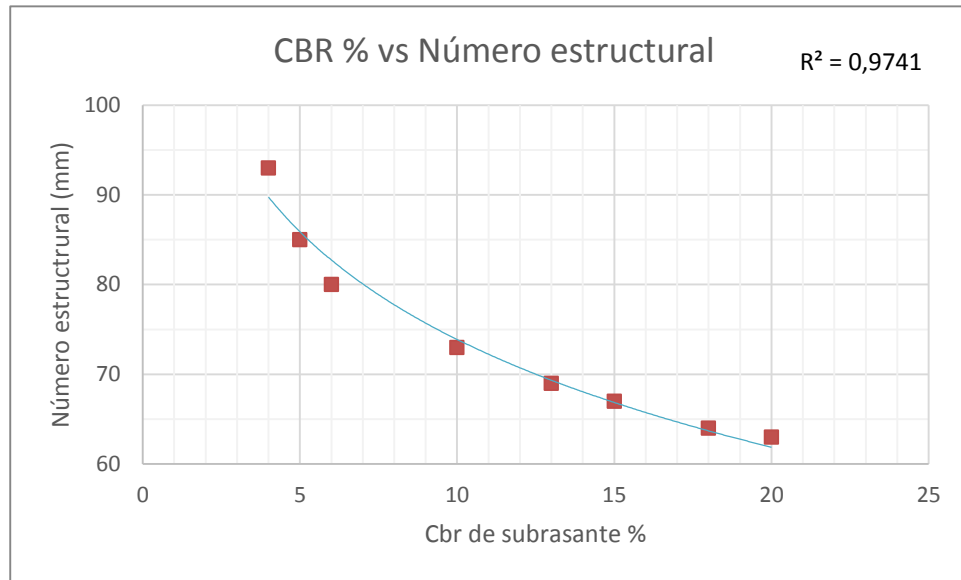
SN Calcular

ESALs Borrar todo

**Cuadro 4.47 Resumen de variación de CBR % y SN**

CBR %	Número estructural SN (mm)
4	93
5	85
6	80
10	73
13	69
15	67
18	64
20	63

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.48 Curva de CBR % y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.49 Cálculo estructural con W18 de 500000**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Aguas Blancas - Itau

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 49,998.37 KPa <==== 7,251.65 psi

Confiability (R)(%) 90

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 500,000

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 81 3.19

SN

ESALs

**Cuadro 4.50 Cálculo estructural con W18 de 750000**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Aguas Blancas - Itau

Flexible Módulo ESALS Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 49,998.37 KPa <==== 7,251.65 psi Calcular

Confiabilidad (R)(%) 90

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 750,000 Calcular ESALs

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 87 3.43

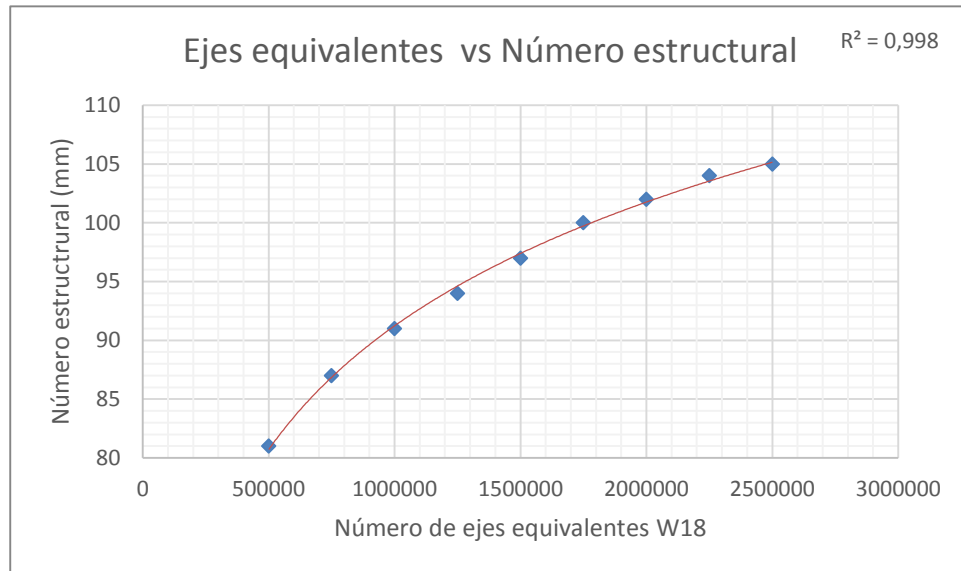
SN Calcular

ESALs Borrar todo

**Cuadro 4.51 Resumen de variación de W18 y SN**

Número de ejes equivalentes	Número estructural SN (mm)
500000	81
750000	87
1000000	91
1250000	94
1500000	97
1750000	100
2000000	102
2250000	104
2500000	105

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.52 Resumen de ejes equivalentes y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.53 Cálculo estructural con confiabilidad de 50 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Agua Blancas - Itau

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) 4.2

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante ( $M_r$ )(KPa) - (psi) 49,998.37 KPa <=== 7,251.65 psi

Confiabilidad ( $R$ )(%) 50

Desviación Estándar ( $S_o$ ) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 721,520

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 68 2.68

SN

ESALs

**Cuadro 4.54 Cálculo estructural con confiabilidad de 60 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Aguas Blancas - Itau

Flexible Módulo ESALs Diseño de Espesor de Capas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.2

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo Resiliente de la Subrasante (Mr)(KPa) - (psi) 49,998.37 KPa <=== 7,251.65 psi Calcular

Confiabilidad (R)(%) 60

Desviación Estándar (So) 0.49

Número de Ejes Equivalentes ESALs 721,520 Calcular ESALs

Número de Etapas de Construcción 1

Número Estructural (mm) - (pulg) 71 2.8

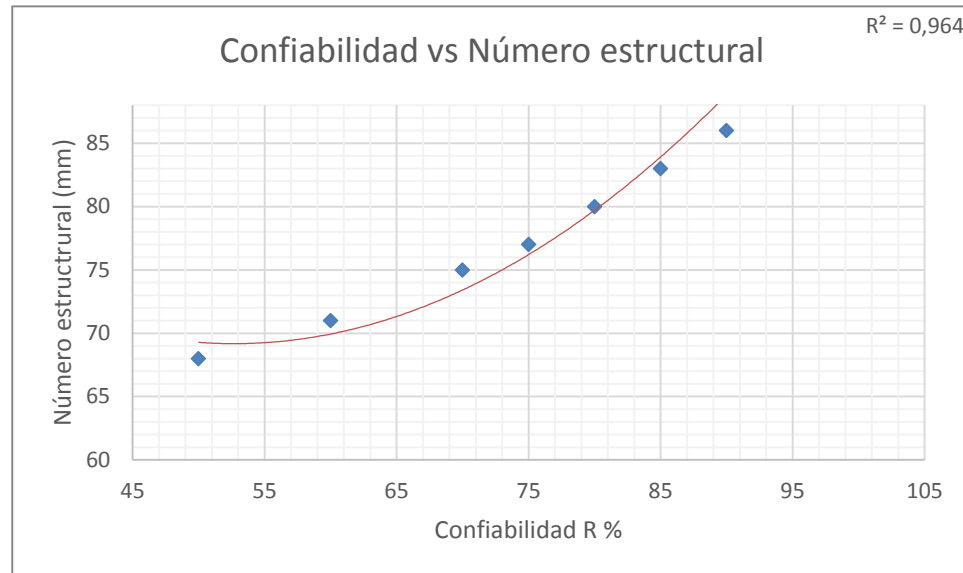
SN Calcular

ESALs Borrar todo

**Cuadro 4.55 Resumen de variación de confiabilidad y SN**

Confiabilidad R %	Número estructural SN (mm)
50	68
60	71
70	75
75	77
80	80
85	83
90	86
95	92
97	96
99	104

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.56 Curva de confiabilidad y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

**Tramo Campo Pajoso – Carapari**

Valores extremos para pavimento rígido utilizando el programa Dipav 2.0

**Cuadro 4.57 Cálculo estructural usando CBR 4 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Cerrar

Campo Pajoso - Carapari

Rígido Módulo ESALs Información Adicional Barras de Amare Reservorio de Juntas Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.5

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo de Rotura del Hormigón (S<sub>c</sub>)(MPa) - (psi) 4.5 MPa ==> 652.67 psi

Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi) 26.000 MPa ==> 3.770.981.18 psi

Coefficiente de Drenaje (Cd) 1.1

Coefficiente de Transferencia de Cargas (J) 3.2

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci) 38 kPa/mm ==> 140.09 pci

Confiabilidad (R)(%) 80

Desviación Estándar (So) 0.35

Número de Ejes Equivalentes ESALs 8.282.572

Espesor de Losa (mm) 221

Calcular ESALs

Espesor Calcular

ESALs Borrar todo

**Cuadro 4.58 Cálculo estructural usando CBR 5 %**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Cerrar

Campo Pajoso - Carapani

Rígido | Módulo | ESALS | Información Adicional | Barras de Amare | Reservorio de Juntas | Gráfico

Serviciabilidad Inicial (Po) 4.5

Serviciabilidad Final (Pt) 2.5

Módulo de Rotura del Hormigón (S<sub>c</sub>)(MPa) - (psi) 4.5 MPa ==> 652.67 psi

Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi) 26,000 MPa ==> 3,770,981.18 psi

Coeficiente de Drenaje (C<sub>d</sub>) 1.1

Coeficiente de Transferencia de Cargas (J) 3.2

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci) 42 kPa/mm ==> 154.83 pci

Confiabilidad (R)(%) 80

Desviación Estándar (S<sub>o</sub>) 0.35

Número de Ejes Equivalentes ESALS 8,282.572

Calcular ESALS

Espesor de Losa (mm) 220

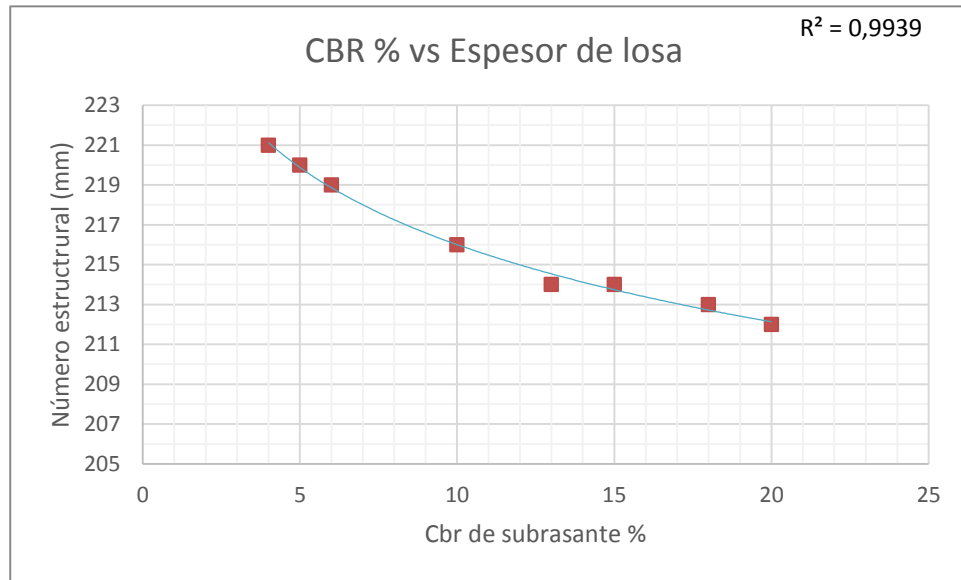
Espesor Calcular

ESALS Borrar todo

**Cuadro 4.59 Resumen de variación de CBR %**

CBR %	Espesor de pavimento D (mm)
4	221
5	220
6	219
10	216
13	214
15	214
18	213
20	212

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.60 Curva de CBR % y espesor de losa**

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.61 Cálculo estructural con W18 de 750000**

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Campo Pajoso - Carapari

Rígido Módulo ESALs Información Adicional Barras de Amarre Reservorio de Juntas Gráfico

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) 4.5

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) 2.5

Módulo de Rotura del Hormigón ( $S_c$ )(MPa) - (psi) 4.5 MPa  $\rightarrow$  652.67 psi

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ )(MPa) - (psi) 26.000 MPa  $\rightarrow$  3,770,981.18 psi

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ ) 1.1

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $J$ ) 3.2

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ )(kPa/mm) - (pci) 38 kPa/mm  $\rightarrow$  140.09 pci

Confiabilidad ( $R$ )(%) 80

Desviación Estándar ( $S_o$ ) 0.35

Número de Ejes Equivalentes ESALs 750,000 Calcular ESALs

Espesor de Losa (mm) 143

Espesor Calcular

ESALs Borrar todo



**Cuadro 4.62 Cálculo estructural con W18 de 100000**

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface. The window title is "DIPAV 2.0". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window is titled "Campo Pajoso - Carapari" and has several tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amarre", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Módulo" tab is active, displaying a list of input parameters for a structural calculation. The parameters and their values are as follows:

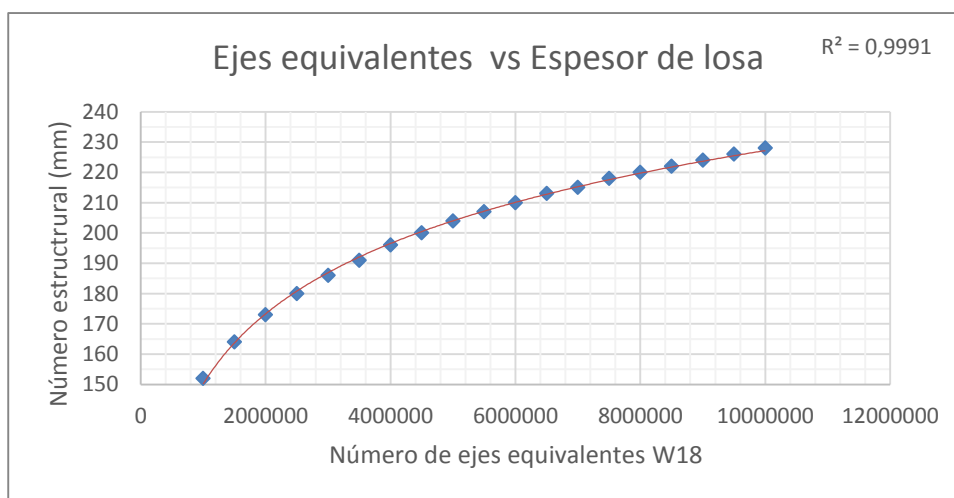
Parámetro	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo de Rotura del Homigón (Sc)(MPa) - (psi)	4.5	MPa
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	26,000	MPa
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (I)	3.2	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	38	kPa/mm
Confabilidad (R)(%)	80	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	1,000,000	
Espesor de Losa (mm)	152	

At the bottom of the form, there are two radio buttons: "Espesor" (selected) and "ESALs". Below the "Espesor" radio button is a "Calcular" button. Below the "ESALs" radio button is a "Borrar todo" button. A "Calcular ESALs" button is also present on the right side of the form.

**Cuadro 4.63 Resumen de variación de ejes equivalentes W18**

Número de ejes equivalentes	Espesor de pavimento D (mm)
1000000	152
1500000	164
2000000	173
2500000	180
3000000	186
3500000	191
4000000	196
4500000	200
5000000	204
5500000	207
6000000	210
6500000	213
7000000	215
7500000	218
8000000	220
8500000	222
9000000	224
9500000	226
10000000	228

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.64 Curva de ejes equivalentes y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.65 Cálculo estructural con confiabilidad de 50 %

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface with the following parameters and values:

Parámetro	Valor	Unidad	Valor Calculado	Unidad Calculada
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5			
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5			
Módulo de Rotura del Homigón (S <sub>c</sub> )	4.5	MPa	652.67	psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)	26,000	MPa	3,770,981.18	psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1			
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2			
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)	38	kPa/mm	140.09	pci
Confiabilidad (R)(%)	50			
Desviación Estándar (So)	0.35			
Número de Ejes Equivalentes ESALs	8,282.572			
Esesor de Losa (mm)	198			

Buttons:  Espesor (Calcular),  ESALs (Borrar todo)

Cuadro 4.66 Cálculo estructural con confiabilidad de 60 %

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface with the following parameters and values:

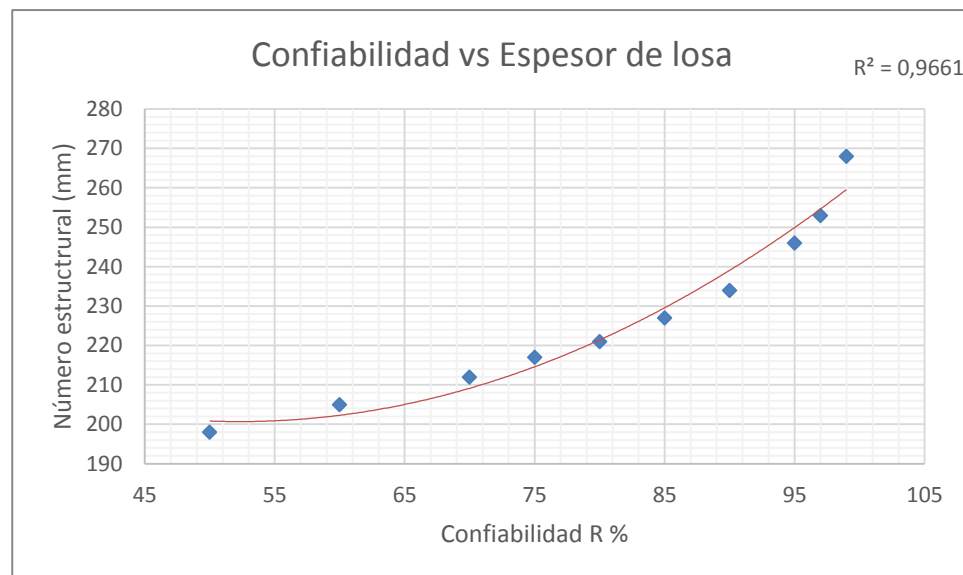
Parámetro	Valor	Unidad	Valor Calculado	Unidad Calculada
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5			
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5			
Módulo de Rotura del Homigón (S <sub>c</sub> )	4.5	MPa	652.67	psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)	26,000	MPa	3,770,981.18	psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1			
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2			
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)	38	kPa/mm	140.09	pci
Confiabilidad (R)(%)	60			
Desviación Estándar (So)	0.35			
Número de Ejes Equivalentes ESALs	8,282.572			
Esesor de Losa (mm)	205			

Buttons:  Espesor (Calcular),  ESALs (Borrar todo)

**Cuadro 4.67 Resumen de variación de confiabilidad R %**

Confiabilidad R %	Espesor de pavimento D (mm)
50	198
60	205
70	212
75	217
80	221
85	227
90	234
95	246
97	253
99	268

Fuente: Elaboración propia

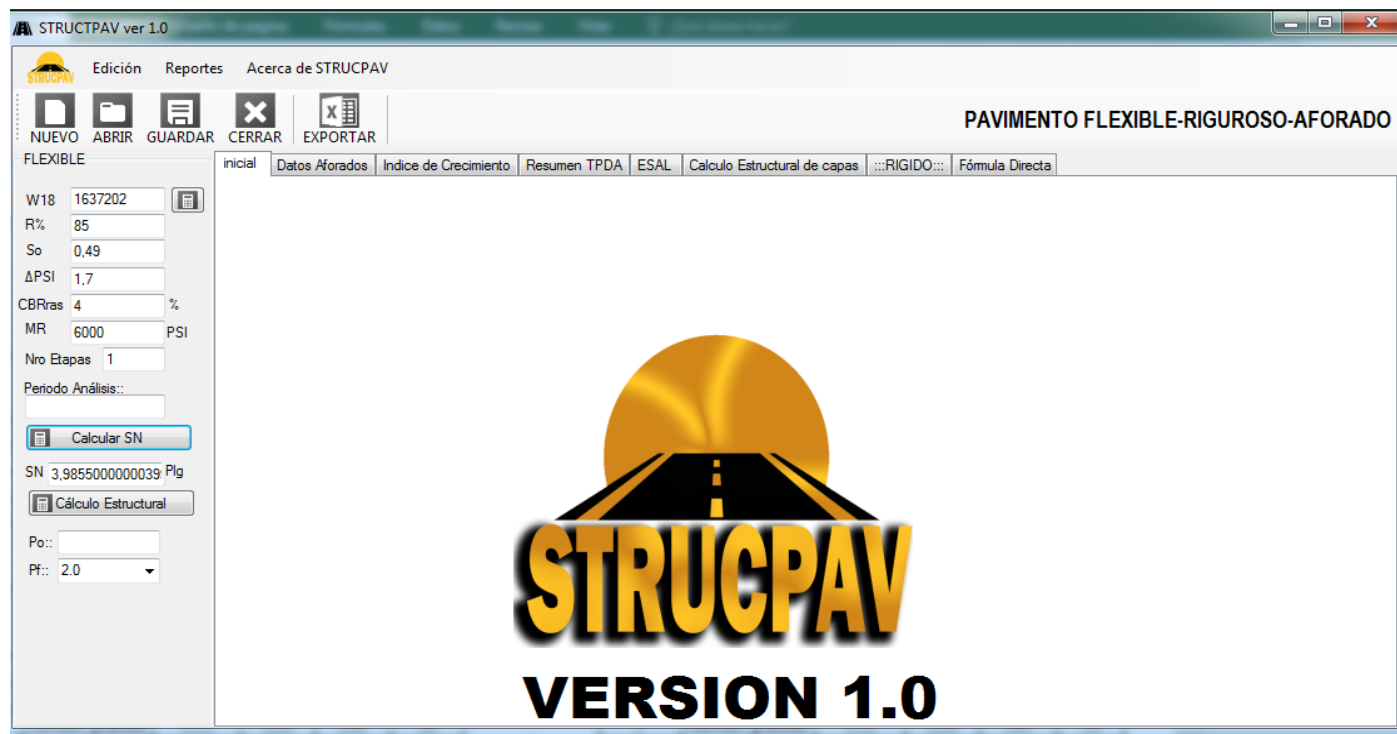
**Cuadro 4.68 Curva de confiabilidad y espesor de losa**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4. VARIACIÓN DEL CBR CON EL PROGRAMA STRUCPAV

Tramo Puente Jarcas – Piedra Larga

Cuadro 4.69 Cálculo estructural usando CBR 4 %



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.70 Cálculo estructural usando CBR 5 %

The screenshot displays the STRUCPAV ver 1.0 software interface. The window title is "STRUCTPAV ver 1.0". The menu bar includes "Edición", "Reportes", and "Acerca de STRUCPAV". The toolbar contains icons for "NUEVO", "ABRIR", "GUARDAR", "CERRAR", and "EXPORTAR". The main window title is "PAVIMENTO FLEXIBLE-RIGUROSO-AFORADO". The left sidebar shows input parameters for a flexible pavement design:

- W18: 1637202
- R%: 85
- So: 0.49
- ΔPSI: 1.7
- CBRRas: 5 %
- MR: 7500 PSI
- Nro Etapas: 1
- Periodo Análisis: (empty)
- Calcular SN button
- SN: 3,66880000000033 Plg
- Cálculo Estructural button
- Po: (empty)
- Pf: 2.0

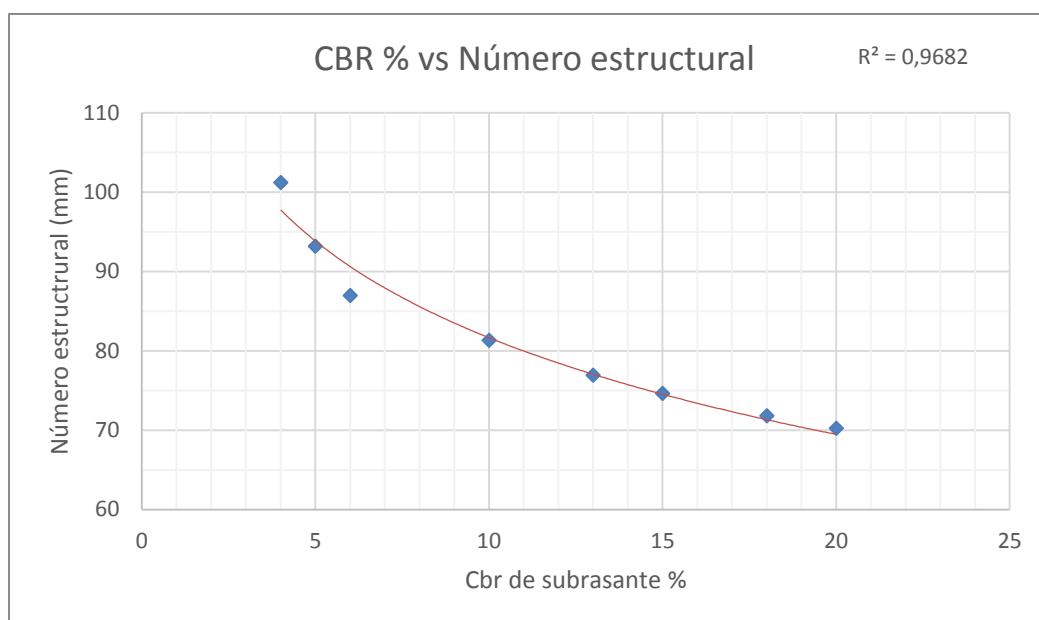
The main window displays a large logo for "STRUCTPAV VERSION 1.0" featuring a stylized road and a sun.

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.71 Resumen de variación de CBR %**

CBR %	Número estructural SN (mm)
4	101,22
5	93,17
6	86,97
10	81,31
13	76,94
15	74,63
18	71,81
20	70,23

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.72 Curva de CBR de subrasante y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.5. VARIACIÓN DEL TRÁFICO CON EL PROGRAMA STRUCPAV

**Cuadro 4.73 Cálculo estructural con W18 de 500000**

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

W18 500000

R% 85

So 0,49

$\Delta$ PSI 1,7

CBRRas 20 %

MR 12744,75 PSI

Nro Etapas 1

Periodo Análisis::

Calcular SN

Resumen TPDA ESAL

Calculo Estructural de capas :::RIGIDO:::

Fórmula Directa

inicial Datos Aforados Indice de Crecimiento

SN 2,4608000000007 Plg

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.74 Cálculo estructural con W18 de 750000**

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

W18 750000

R% 85

So 0,49

$\Delta$ PSI 1,7

CBRRas 20 %

MR 12744,75 PSI

Nro Etapas 1

Periodo Análisis::

Calcular SN

Resumen TPDA ESAL

Calculo Estructural de capas :::RIGIDO:::

Fórmula Directa

inicial Datos Aforados Indice de Crecimiento

SN 2,6324000000011 Plg

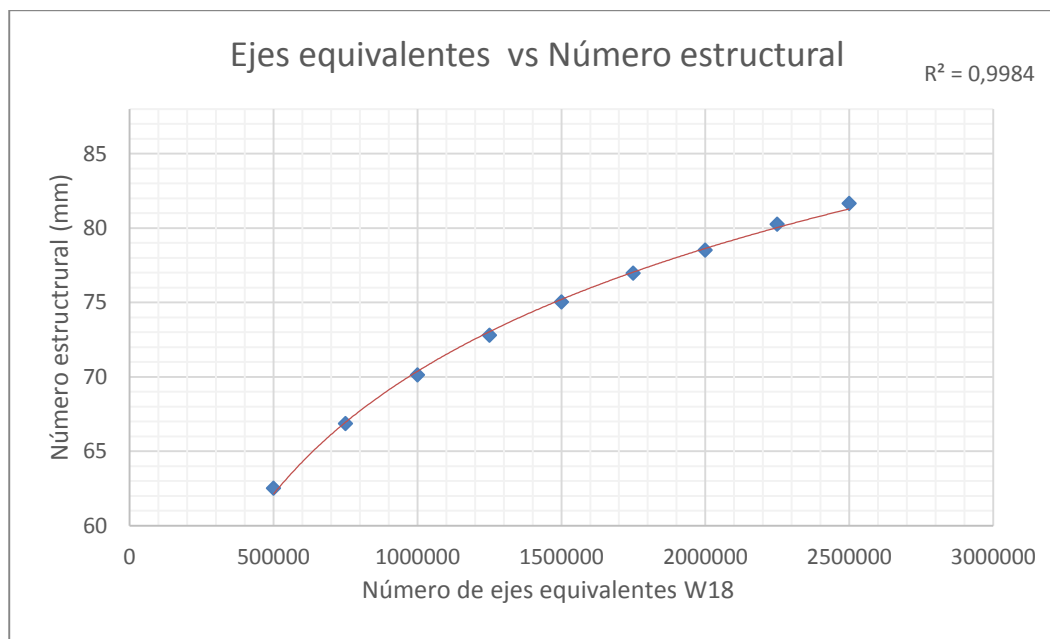
Fuente: Elaboración propia



**Cuadro 4.75 Resumen de ejes equivalentes y número estructural**

Número de ejes equivalentes	Número estructural SN (mm)
500000	62,51
750000	66,85
1000000	70,13
1250000	72,79
1500000	75,03
1750000	76,96
2000000	78,50
2250000	80,26
2500000	81,64

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.76 Curva de CBR de subrasante y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.6. VARIACIÓN DE LA CONFIABILIDAD “STRUCPAV”

**Cuadro 4.77 Cálculo estructural con confiabilidad de 50 %**

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

W18 1637202

R% 50

So 0,49

ΔPSI 1,7

CBRras %

MR 12744,75 PSI

Nro Etapas 1

Periodo Análisis::

Calcular SN

SN 2,4674000000007 Plg

Resumen TPDA ESAL

Calculo Estructural de capas :::RIGIDO:::

Fórmula Directa

inicial Datos Aforados Indice de Crecimiento

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.78 Cálculo estructural con confiabilidad de 60 %**

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

W18 1637202

R% 60

So 0,49

ΔPSI 1,7

CBRras %

MR 12744,75 PSI

Nro Etapas 1

Periodo Análisis::

Calcular SN

SN 2,5873000000010 Plg

Resumen TPDA ESAL

Calculo Estructural de capas :::RIGIDO:::

Fórmula Directa

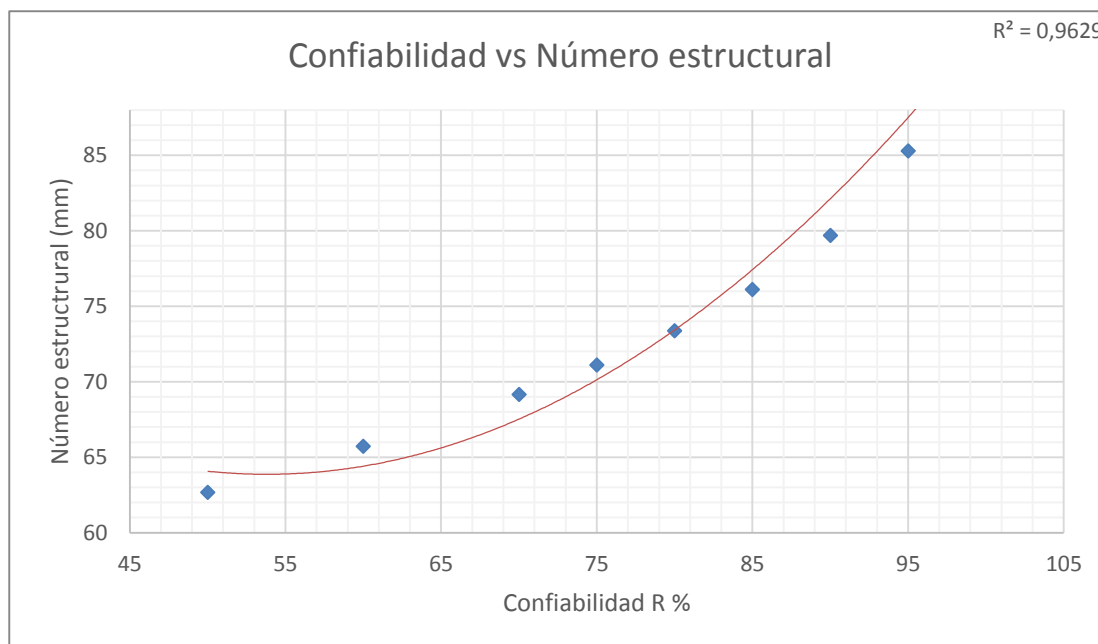
inicial Datos Aforados Indice de Crecimiento

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.79 Resumen de confiabilidad y número estructural**

Confiabilidad R %	Número estructural SN (mm)
50	62,66
60	65,71
70	69,14
75	71,1
80	73,36
85	76,1
90	79,68
95	85,27
97	89,1
99	96,62

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.80 Curva de confiabilidad y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

## Tramo Aguas Blancas – Itau

**Cuadro 4.81 Cálculo estructural usando CBR 4 %**

The screenshot shows the STRUCPAV ver 1.0 software interface. The main window is titled "STRUCPAV ver 1.0" and contains a menu bar with "Edición", "Reportes", and "Acerca de STRUCPAV". Below the menu bar is a toolbar with icons for "NUEVO", "ABRIR", "GUARDAR", "CERRAR", and "EXPORTAR". The interface is divided into two main sections: "FLEXIBLE" on the left and a calculation area on the right.

**Parameters in the FLEXIBLE section:**

- W18: 721920
- R%: 90
- So: 0,49
- $\Delta$ PSI: 1,7
- CBRras: 4 %
- MR: 6000 PSI
- Nro Etapas: 1
- Periodo Análisis: (empty)

**Buttons and Output:**

- Buttons: "Resumen TPDA", "ESAL", "Calculo Estructural de capas", "Fórmula Directa", "inicial", "Datos Aforados", "Indice de Crecimiento".
- Button: "Calcular SN" (highlighted in blue).
- Output: "SN 3,6541000000032 Plg"

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.82 Cálculo estructural usando CBR 5 %**

The screenshot shows the STRUCPAV ver 1.0 software interface, similar to the previous one but with different input parameters. The main window is titled "STRUCPAV ver 1.0" and contains a menu bar with "Edición", "Reportes", and "Acerca de STRUCPAV". Below the menu bar is a toolbar with icons for "NUEVO", "ABRIR", "GUARDAR", "CERRAR", and "EXPORTAR". The interface is divided into two main sections: "FLEXIBLE" on the left and a calculation area on the right.

**Parameters in the FLEXIBLE section:**

- W18: 721920
- R%: 90
- So: 0,49
- $\Delta$ PSI: 1,7
- CBRras: 5 %
- MR: 7500 PSI
- Nro Etapas: 1
- Periodo Análisis: (empty)

**Buttons and Output:**

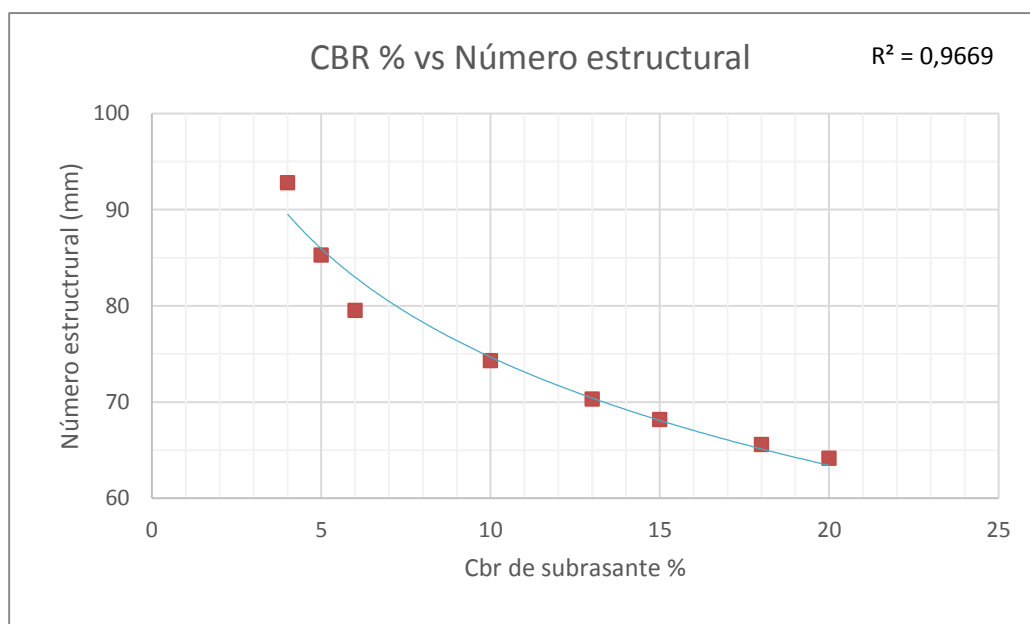
- Buttons: "Resumen TPDA", "ESAL", "Calculo Estructural de capas", "Fórmula Directa", "inicial", "Datos Aforados", "Indice de Crecimiento".
- Button: "Calcular SN" (highlighted in blue).
- Output: "SN 3,3577000000026 Plg"

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.83 Resumen de CBR y número estructural**

CBR %	Número estructural SN (mm)
4	92,81
5	85,30
6	79,53
10	74,32
13	70,31
15	68,2
18	65,61
20	64,16

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.84 Curva de CBR % y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.85 Cálculo estructural con W18 de 500000

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

W18 500000

R% 90

So 0,49

$\Delta$ PSI 1,7

CBRras 6 %

MR 7251,65 PSI

Nro Etapas 1

Periodo Análisis::

Calcular SN

SN 3,201300000023 Plg

Resumen TPDA ESAL

Calculo Estructural de capas ::RIGIDO::

Fórmula Directa

inicial Datos Aforados Indice de Crecimiento

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.86 Cálculo estructural con W18 de 750000

STRUCPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

FLEXIBLE

W18 750000

R% 90

So 0,49

$\Delta$ PSI 1,7

CBRras 6 %

MR 7251,65 PSI

Nro Etapas 1

Periodo Análisis::

Calcular SN

SN 3,422500000028 Plg

Resumen TPDA ESAL

Calculo Estructural de capas ::RIGIDO::

Fórmula Directa

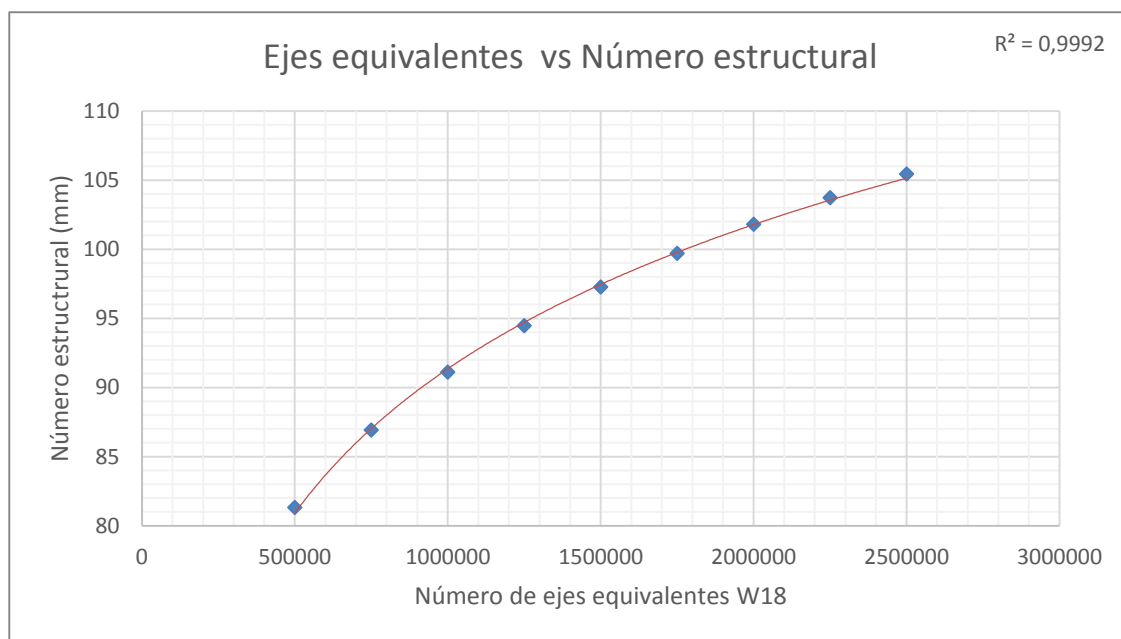
inicial Datos Aforados Indice de Crecimiento

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.87 Resumen de ejes equivalentes y número estructural**

Número de ejes equivalentes	Número estructural SN (mm)
500000	81,31
750000	86,92
1000000	91,11
1250000	94,46
1500000	97,26
1750000	99,70
2000000	101,80
2250000	103,71
2500000	105,44

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.88 Curva ejes equivalentes y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.89 Cálculo estructural con confiabilidad de 50 %

The screenshot shows the STRUCPAV ver 1.0 software interface. The window title is "STRUCPAV ver 1.0". The menu bar includes "Edición", "Reportes", and "Acerca de STRUCPAV". The toolbar contains icons for "NUEVO", "ABRIR", "GUARDAR", "CERRAR", and "EXPORTAR". The main area is divided into two panes. The left pane, titled "FLEXIBLE", contains input fields for: W18 (721920), R% (50), So (0,49), ΔPSI (1,7), CBRras (6 %), MR (7251,65 PSI), Nro Etapas (1), and Perodo Análisis:: (empty). A "Calcular SN" button is located below these fields. The right pane contains a "Resumen TPDA" section with "ESAL" selected, and a "Calculo Estructural de capas" section with "RIGIDO" selected. Below this, there are tabs for "Fórmula Directa", "inicial", "Datos Aforados", and "Indice de Crecimiento". The "Calculo Estructural de capas" section shows a result of "SN 2,6765000000012 Plg".

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.90 Cálculo estructural con confiabilidad de 60 %

The screenshot shows the STRUCPAV ver 1.0 software interface. The window title is "STRUCPAV ver 1.0". The menu bar includes "Edición", "Reportes", and "Acerca de STRUCPAV". The toolbar contains icons for "NUEVO", "ABRIR", "GUARDAR", "CERRAR", and "EXPORTAR". The main area is divided into two panes. The left pane, titled "FLEXIBLE", contains input fields for: W18 (721920), R% (60), So (0,49), ΔPSI (1,7), CBRras (6 %), MR (7251,65 PSI), Nro Etapas (1), and Perodo Análisis:: (empty). A "Calcular SN" button is located below these fields. The right pane contains a "Resumen TPDA" section with "ESAL" selected, and a "Calculo Estructural de capas" section with "RIGIDO" selected. Below this, there are tabs for "Fórmula Directa", "inicial", "Datos Aforados", and "Indice de Crecimiento". The "Calculo Estructural de capas" section shows a result of "SN 2,8065000000015 Plg".

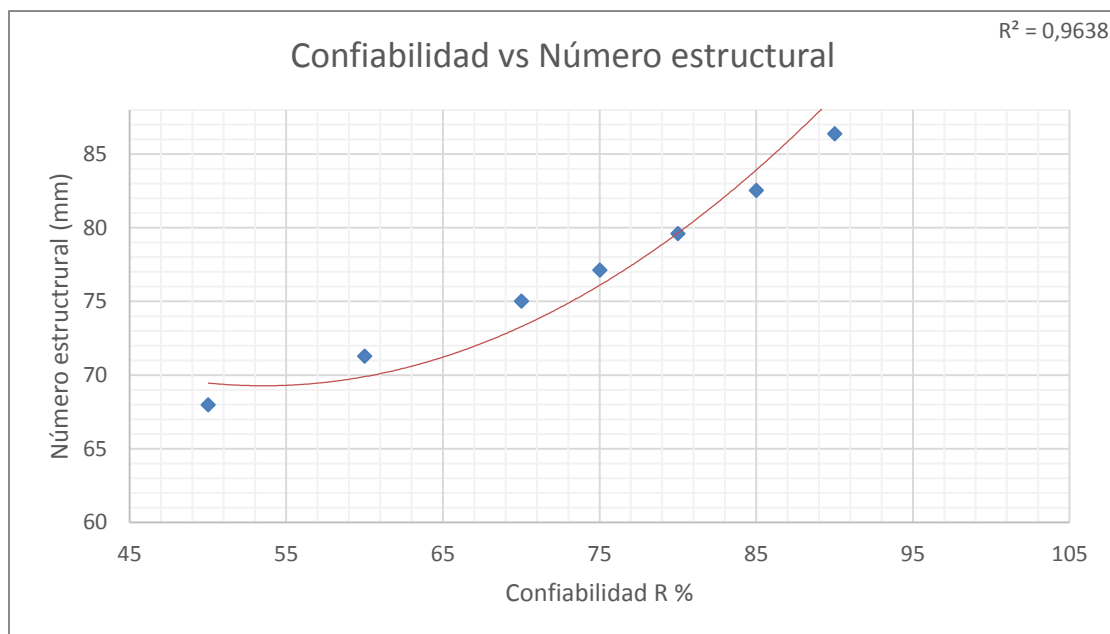
Fuente: Elaboración propia



**Cuadro 4.91 Resumen de variación de confiabilidad y número estructural**

Confiabilidad R %	Número estructural SN (mm)
50	67,97
60	71,27
70	75
75	77,11
80	79,58
85	82,52
90	86,36
95	92,35
97	96,42
99	104,42

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.92 Curva de confiabilidad y número estructural**

Fuente: Elaboración propia

## Tramo Campo Pajoso – Carapari

Valores extremos para pavimento rígido utilizando el programa Strucpav

**Cuadro 4.93 Cálculo de variación de confiabilidad R % = 50 y 60 %**

The image displays two side-by-side screenshots of the STRUCPAV ver 1.0 software interface. Both windows show the same menu structure (Edición, Reportes, Acerca de STRUCPAV) and toolbar (NUEVO, ABRIR, GUARDAR, CERRAR, EXPORTAR). The main interface is divided into several sections:

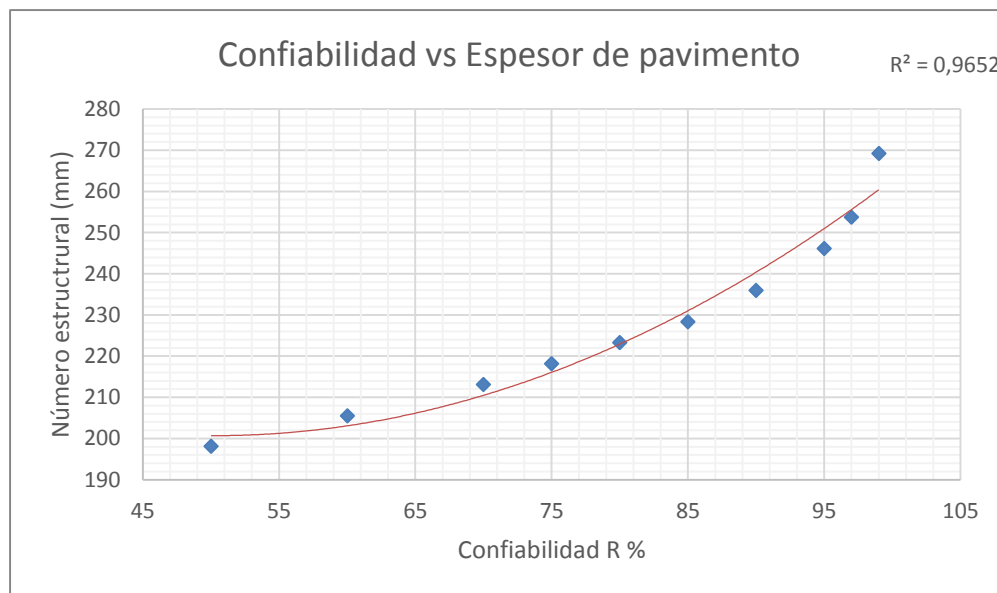
- Left Panel (Inputs):**
  - W18: 8282572
  - R%: 50 (left) / 60 (right)
  - So: 0.35
  - ΔPSI: 2
  - Periodo Análisis: (empty)
  - Calcular D (button)
  - D: 7.799999999999999 Plg (left) / 8.099999999999999 Plg (right)
  - Cálculo Estructural (button)
  - Po:: 4.5
  - Pf:: 2.5
  - K:: 140.09 PCI
  - S'c:: 652.57 PSI
  - J:: 3.2
  - Ec:: 3770981.18 PSI
  - Zr:: 0
  - Cd:: 1.1
- Right Panel (Parameters):**
  - Longitud al borde libre L: 3.5
  - Factor de Fricción F: 1.5
  - Tensión del acero fs: 40
  - Porcentaje de acero Ps: 0.0
  - Trabajo del acero: 70
  - Espesor de losa D: 8.7
  - Diámetro del pasador d: 0.4
  - Ancho de la sección Ws: 27
  - Cantidad de barras N: 3
  - Area de sección: 0.1
  - Area requerida: 0.5
  - Separación de barras Y: 47
  - Longitud Barra: 70
  - Recomendación: (empty)

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.94 Resumen de variación de confiabilidad y espesor de losa**

Confiabilidad R %	Espesor de pavimento D (mm)
50	198.09
60	205.49
70	213.11
75	218.18
80	223.27
85	228.35
90	235.97
95	246.13
97	253.75
99	269.24

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.95 Curva de confiabilidad y espesor de pavimento**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4.96 Variación de ejes de 1000000 y 1500000

The image displays two side-by-side screenshots of the STRUCPAV ver 1.0 software interface. Both windows show the same menu structure (Edición, Reportes, Acerca de STRUCPAV) and toolbar (NUEVO, ABRIR, GUARDAR, CERRAR, EXPORTAR). The main area is divided into input fields on the left and a list of calculated parameters on the right.

**Left Window (RIGIDO = 1000000):**

- W18: 1000000
- R%: 80
- So: 0.35
- ΔPSI: 2
- Perodo Análisis: (empty)
- Calcular D: (button)
- D: 5.99999999999999 Plg
- Cálculo Estructural: (button)
- Po:: 4.5
- Pf:: 2.5
- K:: 140.09 PCI
- S'c:: 652.57 PSI
- J:: 3.2
- Ec:: 3770981.18 PSI
- Zr:: 0.841
- Cd:: 1.1

**Right Window (RIGIDO = 1500000):**

- W18: 1500000
- R%: 80
- So: 0.35
- ΔPSI: 2
- Perodo Análisis: (empty)
- Calcular D: (button)
- D: 6.49999999999999 Plg
- Cálculo Estructural: (button)
- Po:: 4.5
- Pf:: 2.5
- K:: 140.09 PCI
- S'c:: 652.57 PSI
- J:: 3.2
- Ec:: 3770981.18 PSI
- Zr:: 0.841
- Cd:: 1.1

**Calculated Parameters (Common to both):**

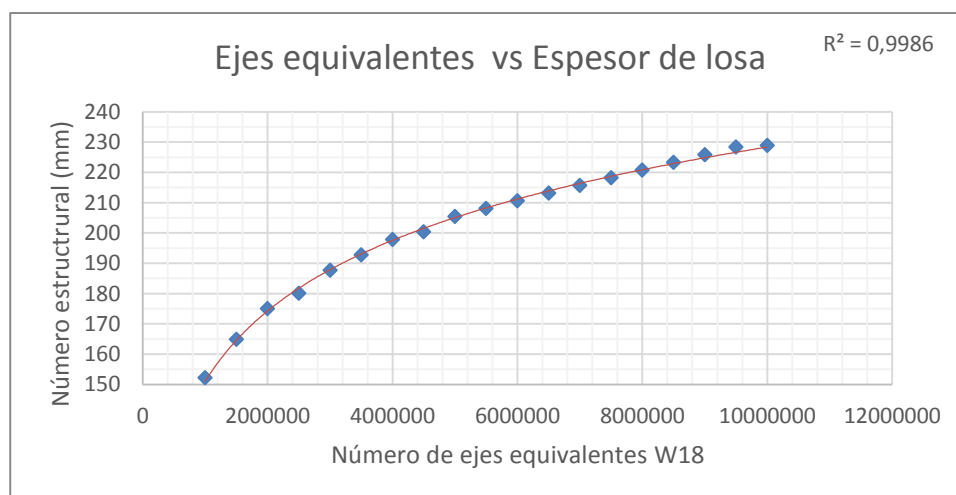
- Longitud al borde libre L: 3.5
- Factor de Fricción F: 1.5
- Tensión del acero fs: 40
- Porcentaje de acero Ps: 0.0
- Trabajo del acero: 70
- Espesor de losa D: 8.7
- Diámetro del pasador d: 0.4
- Ancho de la sección Ws: 27
- Cantidad de barras N: 3
- Area de sección: 0.1
- Area requerida: 0.5
- Separación de barras Y: 47
- Longitud Barra: 70
- Recomendación: (empty)

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.97 Resumen de variación de ejes equivalentes y espesor de losa**

Número de ejes equivalentes	Espesor de losa D (mm)
1000000	152.15
1500000	164.85
2000000	175
2500000	180.1
3000000	187.71
3500000	192.77
4000000	197.87
4500000	200.41
5000000	205.48
5500000	208.03
6000000	210.57
6500000	213.11
7000000	215.65
7500000	218.19
8000000	220.73
8500000	223.27
9000000	225.81
9500000	228.35
10000000	228.9

Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 4.98 Curva de ejes equivalentes y espesor de losa**

Fuente: Elaboración propia

En los cuadros 4.69, 4.70 se puede observar el cálculo del paquete estructural para pavimento flexible modificando los ejes equivalentes. Manteniendo los parámetros iniciales del tramo Puente Jarcas - Piedra Larga, el cuadro 4.71 representa el resumen del paquete estructural para cada variación de ejes equivalentes.

**Cuadro 4.99 Resumen de cálculo con variación de ejes equivalentes**

Programa usado	Tramo de análisis	Ejes equivalentes	Características			
			Número estructural (mm)	Capa de rodadura (mm)	Capa base (mm)	Capa subbase (mm)
STRUCPAV	Puente Jarcas - Piedra Larga	1800000	77.75	65	150	240
		2000000	78.95	65	150	250
		2500000	82.75	65	160	270

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Mediante el cuadro 4.100 se realizará las comparaciones de los resultados en el tramo.

**Cuadro 4.100 Comparación de resultados Puente Jarcas - Piedra Larga**

Programa usado	Tramo de análisis	Características			
		Número estructural (mm)	Capa de rodadura (mm)	Capa base (mm)	Capa subbase (mm)
AASHTO 1993 (Colombia)	Puente Jarcas - Piedra Larga	80	125	150	0
DIPAV 2.0		76.55	65	150	230
STRUCPAV		76.55	65	150	230

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro anterior y su proceso de cálculo como se muestra en los cuadros 4.2 y 4.3 para el diseño del programa AASHTO y los cuadros 4.16 y 4.17 para el programa Dipav 2.0 y cuadros 4.19 y 4.20 del programa desarrollado en Tarija – Bolivia “STRUCPAV”, donde se detalla los parámetros de entrada y salida de resultados, podemos notar que bajo el modelo de diseño de AASHTO por el cual están basados ambos programas, pero notamos que el programa AASHTO 93 de Colombia no compensa la dimensión para la última capa en este caso capa subbase, este suceso se debe a que el programa AASHTO desarrollado en Colombia usa la ecuación 14 hasta la ecuación 20 para la determinación de los espesores de sus capas, el uso de estas

ecuaciones se expresa en la sección 3.2.4, lo que sucedió es que no se compenso la altura de capas usando la ecuación 13 de la misma sección.

El programa STRUCPAV se puede observar el cuadro 4.19 es igual al cálculo de programa Dipav 2.0, además del espesor calculado hay otras columnas y diseño propio, en la columna de espesor calculado el programa calcula con las formulas del MANUAL DE AASHTO, pero podemos notar que el diseño nos da como resultado una capa elevada de rodadura, el diseño cumple porque se llega al número estructural calculado por la introducción de datos (módulo de la subrasante), por esta razón el programa STRUCPAV ofrece la columna diseño propio para que se pueda compensar las capas estructurales del diseño cumpliendo con la ecuación 13, esto lo puede ejecutar el diseñador.

**Cuadro 4.101 Comparación de resultados Acherál – Choere**

Programa usado	Tramo de análisis	Características			
		Número estructural (mm)	Capa de rodadura (mm)	Capa base (mm)	Capa subbase (mm)
AASHTO 1993 (Colombia)	Tramo Acherál - Choere	114	150	150	225
DARWin		92	50	180	220
STRUCPAV		114,6	115	200	300

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 4.101 se observa el resultado de tres programas de diseño, AASHTO (Colombia), STRUCPAV y DARWin.

La variable más notoria entre las 3 es el número estructural por parte del programa DARWin, el número estructural es la variable principal de la acusación propuesta por la metodología de AASHTO, por lo que a partir de ese resultado se realiza las dimensiones del resto de las capas del paquete estructural.

La dimensión de la capa de rodadura por parte del programa AASHTO (Colombia) tiene un valor de 15cm, su base de 15 cm y subbase de 22,5 cm, que funcionalmente está bien sin embargo al tratarse de una elevada rodadura será un pavimento caro, por lo que se debería hacer otro tipo de análisis.

Las dimensiones obtenidas por el programa STRUCPAV compensan el número estructural obtenido, dando como resultado 11,5 cm de rodadura, 20 cm de capa base y 30 cm de capa subbase, es posible reducir el espesor de rodadura al incrementar las alturas de la capa base y subbase.

Las diferencias notorias entre los programas están dadas por el número estructural referido a la variación de 90 mm por DARWin a 114,6 mm por STRUCPAV, es de 22,6 mm, esto hace que las dimensiones no estén cerca para un mejor análisis.

**Cuadro 4.102 Comparación de resultados tramo “Aguas blanca – Itau”**

Programa usado	Tramo de análisis	Características			
		Número estructural (mm)	Capa de rodadura (mm)	Capa base (mm)	Capa subbase (mm)
AASHTO 1993 (Colombia)	Tramo Aguas Blancas - Itau $m_r = 50\text{Mpa}$	92.5	125	150	150
STRUCPAV		87.4	70	200	260
DARWin		86	50	200	250
DIPAV 2.0		85.9	75	150	290

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 4.102 se puede notar los resultados del tramo Aguas blancas – Itau, donde las capas de rodadura están alejadas entre las 4 pruebas de los 4 programas, la variación del número estructural entre AASHTO (Colombia) y con los otros programas es bastante notoria en la estructuración de capas del pavimento rodadura, base y subbase.

La comparación más económica en este caso es la del programa DARWin, debido a su cambio en el número estructural, salen más bajas sus capas estructurales, esto puede ser por la conversión de unidades que se esté utilizando en el programa, la sensibilidad del módulo de la subrasante y también podría atribuirse al número de etapas consideradas.

**Cuadro 4.103 Comparación de resultados tramo “Aguas blanca – Itau”**

Programa usado	Tramo de análisis	Características			
		Número estructural (mm)	Capa de rodadura (mm)	Capa base (mm)	Capa subbase (mm)
AASHTO 1993 (Colombia)	Tramo Aguas Blancas - Itau $m_r = 90\text{Mpa}$	76	125	150	0
STRUCPAV		69	50	150	200
DARWin		69,2	50	180	200

Fuente: Elaboración propia



**Cuadro 4.104 Diseño del tramo “Aguas Blancas – Itau”**

STRUCTPAV ver 1.0

Edición Reportes Acerca de STRUCTPAV

NUEVO ABRIR GUARDAR CERRAR EXPORTAR

**PAVIMENTO FLEXIBLE**

FLEXIBLE inicial Datos Aforados Resumen TPDA ESAL Calculo Estructural de capas ::RIGIDOS::

Label30

Column 1	Nombre de Capa	Coefficiente Estructural (ai)	Calidad Drenaje	PTSP	Coefficiente de Drenaje (mi)	CBR (%)	Modulo Resiliente (kpa)	Espesor Calculado (mm)	Alternativa Calculo I (mm)	Alternativa Calculo II (mm)	Diseño Propio (mm)
		0,44	Bueno		1		4500000	115			50
		0,14	Bueno		1		199954	150			150
		0,11	Bueno		1		96529	-24,40654...			200

W18 721290

R% 90

So 0,49

ΔPSI 1,7

CBRRas

MR 13053 PSI

Nro Etapas

Periodo Análisis:

Calcular SN

SN 2,7132000000013 Plg

Cálculo Estructural

Po::

Pf: 2.0

3 Insertar Capas Generar Alternativas ::SN::68,9152800000331<=65

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 4.33 podemos observar como el programa AASHTO (Colombia) se dispara en el diseño de capas del pavimento, por el modelo de solución que ofrece.

Ahora para la comparación de número estructural del diseño por el programa DARWin y STRUCPAV es de mínima variación, pero las capas de diseño varían en la capa base por 3 cm de altura.

El cuadro 4.34 refleja el diseño con las dimensiones establecidas por el PROGRAMA DARWin, cabe notar que la comparación de número estructural comparado y requerido no cumple con las dimensiones que aparecen como resultado (ver la parte inferior del cuadro)

Es por esa razón que se incrementa la altura a la capa base, con el fin de tener el mínimo de carpeta de rodadura, de este modo poder asegurarse con la compensación de capas, es importante hacer notar que es el diseñador bajo su criterio tomar la mejor y optima decisión a la hora de hacer el diseño de capas estructurales del pavimento.

#### **4.5. SELECCIÓN DE LOS RESULTADOS**

Para la selección de resultados debe tomarse en cuenta varios aspectos, como ser, los parámetros de diseño y buscar el mejor resultado de manera óptima, segura y económicamente viable, ya que existen diferentes combinaciones para diferentes tipos de resultado y varios resultados que pueden ser correctos en cuanto al pavimento flexible.

Después de hacer una comparación de los programas AASHTO 93, DIPAV 2.0, DARWIN y STRUCPAV se puede definir un diseño que pueda cumplir con las exigencias del proyecto que se esté diseñando.

La carpeta de rodadura no debe ser muy elevada ni las capas muy altas para la selección pero si deben cumplir con las exigencias del proyecto, es criterio del diseñador ver la mejor posibilidad y que tipo de pavimento diseñar.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

##### **5.1. CONCLUSIONES**

- Se pudo recopilar la información necesaria de reglamentos bolivianos, manuales de diseño nacionales y apoyados por manuales de diseño de pavimentos de otros países.
- Se estableció el paquete Excel para la tabulación de datos y Access para la base de datos, ambos paquetes pertenecientes a Microsoft office, estos paquetes fueron base del programa que se desarrolló en el lenguaje Visual Basic (programa STRUCPAV).
- Se logró completar toda la programación en el lenguaje Visual Basic basados en la metodología de AASHTO y el proceso de funcionamiento del diseño, para la determinación de ejes equivalentes, diseño de pavimento flexible y rígido.
- El programa STRUCPAV tiene la capacidad de procesar datos a partir del aforo de datos del tráfico para la determinación de ejes equivalentes, también puede procesar el diseño de pavimento flexible y rígido, basados en la metodología de AASHTO 1993.
- Se estableció la comparación de resultados entre los programas, AASHTO 1993(desarrollado en Colombia por el Ing. Luis Ricardo Vásquez Varela 2006), DARWin (desarrollado en Estados Unidos) y STRUCPAV (desarrollado en Tarija – Bolivia).
- En la comparación de resultados se reflejó, lo tangible que es el número estructural calculado a partir del módulo resiliente de la subrasante o del CBR del suelo de la subrasante, ya que este valor hace variar notablemente el dimensionamiento de los espesores de diseño estructural.
- Se identificó como el valor de las subrasante (MR) transformado a otras unidades puede generar variaciones por la transformación de unidades.
- La proximidad de resultados entre los programas DARWin y STRUPAV, hacen posible el uso aplicativo de este programa para diseño de pavimentos en nuestro medio.

- El modo de selección de resultados debe tener el criterio del diseñador y considerar sus parámetros para poder elegir el diseño óptimo.
- Se logró identificar que mientras más pequeño sea el CBR de la subrasante natural mayor será el número estructural de diseño, por esta razón mayores serán las dimensiones del paquete estructural de pavimento flexible o rígido, del mismo modo sucede con el incremento de tráfico y confiabilidad, que a mayor tráfico y confiabilidad mayor el número estructural y el espesor del pavimento.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

Buena selección de datos para poder usar el programa STRUCPAV, con el fin de que pueda arrojar buenos resultados y que ingresen en las unidades correspondientes.

Es necesario tener una configuración del entorno principal de la computadora (configuración regional), caso contrario tomar en cuenta la separación decimal, debe usarse la coma (.) para la introducción de datos en el programa.

Se debe colocar el valor de cero (0, cuando se introduzca el índice de crecimiento a los vehículos que no sean tomados en cuenta según su tipo).

Si el programa saca algún número (0) es porque el valor que está siendo visto no está dentro de los parámetros (para el caso de factores de carga equivalente), en caso de realizar el cálculo de ejes equivalentes por “resumen de aforo” (debe colocar el valor de cero “0” en los vehículos que no se los vaya a tomar en cuenta, también puede ser visto el valor de cero “0” en el diseño de capas según la metodología de AASHTO, este valor indica que esa capa no es necesario colocarla en el diseño.

En el diseño de ejes equivalentes por el método riguroso o simplificado (aforado) se debe introducir los datos de, periodo de análisis, serviciabilidad final, tráfico generado, tráfico inducido, días de aforo, inicio de operación del proyecto, espesor asumido y la unidad de peso del vehículo tipo.

En el diseño de ejes equivalentes por el método riguroso o simplificado (resumen de aforo) el diseñador tiene la posibilidad de introducir los datos de TPD en función del tipo de vehículo, en caso de no haber algún tipo de vehículo colocar cero “0”

Cuando se esté diseñando pavimento rígido, para el cálculo de espesor de losa no debe dejar ni una casilla vacía y deben introducir los datos en unidades adecuadas.

En caso de conocer todos los datos para el diseño y si se desea exportar los resultados usar como nuevo proyecto las fórmulas directas, para que su exporte de resultados sea el adecuado.