

## **CAPITULO I INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Generalidades.**

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

La historia registra a las carreteras americanas que vincularon las áreas agrícolas con los centros urbanos, como el eslabón vital entre los productos y sus consumidores, que literalmente pavimentaron la prosperidad de los Estados Unidos.

Para el caso de un pavimento rígido el cual no posee, todas estas capas y donde la más externa es una capa construida en concreto que por lo general es colocada en placas, se diseña también con un tráfico específico, con la diferencia que este pavimento puede fallar con solo una repetición de carga

Como vemos un pavimento no es solo lo que vemos, es una estructura funcional, compleja y donde la tecnología nos lleva a utilizar materiales no convencionales para su diseños, por ejemplo en pavimentos flexibles se realizan diseños con capas de grava –escoria, grava – cemento, cauchos, etc., con el fin de brindar calidad a menores costos.

### **1.2. Antecedentes.**

Con relación a la presencia y al progreso de los pavimentos de concreto hidráulico en el país, es interesante señalar que, tradicionalmente, la tecnología de los pavimentos se ha desarrollado principalmente en torno a las estructuras de tipo flexible, con capas asfálticas como superficies de rodadura, las cuales han experimentado con el tiempo

innovaciones en cuanto a materiales y espesores para incrementar su resistencia, antes de recurrir a soluciones con concreto hidráulico para tal fin; pese a que hay casos en que claramente podría establecerse que la solución técnica y económica más adecuada sería un pavimento de tipo rígido. Posiblemente han influido en lo anterior determinadas inercias y conceptos mal definidos, entre los que conviene señalar el costo, falta de equipos, carencia de experiencia, políticas de planeación, etc., que estancaron el desarrollo de la tecnología de pavimentos de concreto en el país.

La primera construcción vial con pavimento de este tipo se ejecuto en los EEUU antes de 1890, y hacia 1893, se construyo en Ohio el primer pavimento de concreto con dos carriles. En 1920 se adelanto el primer estudio de un camino experimental en Illinois, EEUU, orientado hacia la determinación de las condiciones económicas aplicables regionalmente; posteriormente siguieron otros estudios los cuales comenzaron a investigar la eficiencia del acero de refuerzo dentro del pavimento.

La tecnología ha evolucionado desde los primeros pavimentos de concreto simple, hasta los pavimentos de concreto pretensado, pasando por los pavimentos de refuerzo continuo, en los cuales el acero se utiliza para absorber los esfuerzos de tracción causantes de las grietas, permitiendo aumentar la separación entre juntas.

La historia registra a las carreteras americanas que vincularon las áreas agrícolas con los centros urbanos, como el eslabón vital entre los productos y sus consumidores, que literalmente pavimentaron la prosperidad de este país. Los Estados Unidos tiene la tres cuartas partes de sus autopistas y más de las dos terceras partes de sus carreteras son de concreto. Alemania, que posee la mayor red vial en Europa, ha construido el 91% de ella con pavimentos de concreto.

En América Latina, algunos países cuentan con más de 20 años de experiencia en la construcción de sus redes de carreteras con pavimento rígido es de destacar las experiencias de Brasil, Argentina y México, construyendo gran extensión de vías urbanas, autopistas y redes carreteras.

La construcción de vías urbanas y rurales (carreteras) con pavimento rígido en Bolivia toma importancia a partir de la década de los 90, la decisión de parte del Servicio Nacional de Caminos (Administradora Boliviana de Carreteras) de licitar los proyectos de construcción de carreteras considerando dos alternativas, pavimento flexible y pavimento rígido, ha permitido que se adjudique la construcción de carreteras con pavimento rígido. Esta situación es evidente analizando los principales proyectos de construcción de carreteras por ejecutar y en ejecución a nivel nacional. Otro factor importante a destacar se refiere a que Bolivia produce una cantidad insignificante de cementos asfálticos para pavimentación, debido a que el petróleo boliviano es muy liviano con muy poco residuo sólido (cemento asfáltico). Este hecho ha obligado históricamente a que el Estado plurinacional boliviano sea importador de cemento asfáltico para encarar la pavimentación de sus carreteras. Esta situación ha permitido que el Estado plurinacional Boliviano a través de sus instituciones empiece a fomentar la construcción de carreteras con pavimento rígido en el que se utiliza el cemento hidráulico (cemento Pórtland) que es producido en el territorio nacional. La existencia de siete fábricas de cemento en el país permite realizar la cobertura del mercado boliviano de la construcción.

La situación actual de la red vial boliviana muestra grandes deficiencias y una ausencia notable de carreteras pavimentadas, este problema, obliga a realizar un manejo serio y responsable por parte de las autoridades, quienes gestionan los proyectos y deben elegir las mejores alternativas de pavimentación. Para ello, el pavimento rígido surge como la mejor opción y la mejor decisión de inversión.

Es así, que se, han hecho posible la construcción de muchos kilómetros de carretera de pavimento rígido, como por ejemplo:

- El tramo concluido de Oruro a Toledo con 37 Km. que forma parte de la carretera hacia Pisiga, frontera con Chile, una estratégica vía de comunicación para el desarrollo del país.

- Gracias a esta tecnología, también se ha dado solución a un problema que parecía nunca terminar y que fue resuelto con los 4.5 Km. de pavimento rígido en la zona de El Sillar en la carretera Cochabamba - Santa Cruz.
- Actualmente, se encuentran en ejecución 740 Km. de pavimento rígido adicionales, entre los cuales se encuentra la carretera Potosí - Tarija; tramos importantes de la carretera Santa Cruz - Puerto Suárez, Puente Sacramento - Puente Arce, Ancaravi - Huachacalla y la esperada carretera Cotapata - Santa Bárbara que fue concluida con pavimento de hormigón. Estos datos concretos demuestran de forma innegable el gran impacto que ha empezado a tener el pavimento rígido en diferentes aspectos de la vida de todos los habitantes de nuestro país.

Hoy estamos en los primeros años de la revolución del pavimento rígido en Bolivia, pero para llegar a este momento, tuvieron que pasar algunos años para demostrar que esta tecnología tenía innumerables ventajas técnicas y sobretodo económicas. Como pilar fundamental al desarrollo de esta tecnología que dio sus primeros pasos desde el año 1996 en la construcción de los primeros pavimentos rígidos urbanos.

La ciudad de Tarija con 50.000 m<sup>2</sup> en la moderna Avenida Circunvalación, demostrando que el pavimento rígido es la mejor opción de pavimentado y embellecimiento de una ciudad. Actualmente, se proyectan alrededor de 35.000 m<sup>2</sup> adicionales.

Otras ciudades pequeñas también apostaron al pavimento rígido, como Yacuiba que construye 120.000 m<sup>2</sup> en sus avenidas más importantes y proyecta otros 50.000 m<sup>2</sup> adicionales. Le sigue Bermejo con 100.000 m<sup>2</sup>, Entre Ríos con 28.000 m<sup>2</sup>, Villamontes, Carapari y San Lorenzo ya han construido muchos miles de metros cuadrados de pavimento durable y aún continúan en la búsqueda de proyectos y financiamiento para nuevas necesidades.

Todo ello nos posibilita afirmar que el pavimento rígido en Bolivia, al dar sus primeros pasos en ciudades y poblaciones del área urbana y rural, demostró al país

que con esas pequeñas decisiones se producen excelentes resultados. Ejemplo claro la carretera que se construye entre Potosí y Tarija, con 440 Km. de pavimento rígido; de hecho que esta carretera se convertirá en uno de los tramos más importantes en Sudamérica y el más extenso que haya realizado el Servicio Nacional de Caminos (en la actualidad Administradora Boliviana de Carreteras).

Para los próximos años, el pavimento rígido se consolida como el líder de los nuevos proyectos de pavimentación, las excelentes características de esta tecnología, tales como, un mínimo costo de mantenimiento, seguridad al usuario, menores costos de operación vehicular y gran durabilidad, permiten asegurar las inversiones realizadas hasta el momento y también aquellas que se vienen proyectando; serán las mejores decisiones en Bolivia.

### **1.3. Justificación.**

Existen muchas razones para que un proyecto de pavimentación, de cualquier tipo, demande una superficie de rodamiento ya terminada lo más plana y libre de irregularidades posible; o sea que ofrezca las mejores características superficiales en cuanto a rugosidad y macro textura. Esta exigencia bien puede visualizarse en dos vertientes. La primera, se relaciona con la percepción de seguridad y comodidad del usuario, mientras que la segunda se refiere a las ventajas que ofrece una buena superficie de rodamiento desde el punto de vista de su desempeño y en general, una mejor calidad de servicio.

La Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93 tanto en el diseño de pavimentos rígidos y flexibles nuevos así como en diseño de sobre carpetas en pavimentos existentes es todavía la técnica más usada para establecer tipos y espesores de capas de pavimentos de carreteras y vías urbanas. Si bien actualmente se están introduciendo métodos mecanicistas, éstos requieren una importante cantidad de información difícil de obtener, además de la necesaria calibración, que demandará todavía varios años para poder ser implementada.

El software DIPAV 2.0, desarrollado por el IBCH ha sido mejorado y ampliado para contemplar además del diseño de pavimentos nuevos tanto rígidos como flexibles, el diseño de sobre carpetas en pavimentos existentes.

DIPAV es compatible con el sistema operativo “Windows”, aceptando las opciones de “copiar”, “pegar” e “imprimir pantalla”, además, para los datos de tráfico acepta directamente tablas elaboradas en Excel que pueden ser transferidas directamente a DIPAV. Los resultados obtenidos pueden ser exportados a Excel y Word.

Esta valiosa herramienta, sin duda permitirá mejorar los conocimientos de profesionales y estudiantes, introduciéndolos a la Guía de Diseño AASHTO-93, además de brindar mayores facilidades para el diseño de pavimentos con mayor precisión y obviando el uso de ábacos y tablas a fin de que los profesionales se concentren en la optimización y no en los procedimientos de cálculo.

El programa contiene las ecuaciones para el cálculo de Ejes Equivalentes, facilitando su cálculo sin necesidad de tablas, también es posible calcular los módulos resilientes y de reacción de la subrasantes estacionales.

En la alternativa de pavimento rígido, se consideran el cálculo de espesor de losa, diseño de barras de amarre y reservorio de juntas. En la alternativa de pavimento flexible, el programa calcula el número estructural, con verificación por capas y también permite especificar espesores. En ambos casos se tiene la opción de generar gráficos de sensibilidad a todas las variables de diseño en función al espesor de losa o número estructural del asfalto. Tiene la opción de exportar los valores de los puntos del gráfico a Excel para su posterior tratamiento.

El presente trabajo de dimensionamiento de pavimento rígido utilizando programas computacionales está destinado a facilitar y uniformar criterios y procedimientos para la identificación y recolección de información relacionada con los factores que afectan en el dimensionamiento de pavimentos rígidos, con los cuales se obtenga

dimensionamientos más óptimos, por lo cual este sería más económico a la hora de su construcción.

Por lo anteriormente expuesto es imprescindible contar con metodologías apropiadas que nos permitan adquirir datos más confiables, los cuales deberán ser introducidos en los programas computacionales de dimensionamiento para así obtener resultados más óptimos que permitan definir los criterios de aceptación o rechazo de un proyecto determinado.

#### **1.4. Objetivos.**

##### **1.4.1. Objetivo General.**

“Realizar un estudio sobre la aplicación práctica del dimensionamiento de pavimento rígido con el uso de los programas DIPAV 2.0 y BS PCA tomando en cuenta todos los parámetros de diseño de dimensionamiento requeridos por los programas, con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre ellos y determinar sus ventajas y desventajas en el dimensionamiento.”

##### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Estudiar y conocer los elementos que constituyen los pavimentos rígidos y sus características.
- Definir los parámetros de mayor relevancia para el dimensionamiento de pavimentos rígidos.
- Estudiar todos los parámetros requeridos para el cálculo del dimensionamiento de pavimentos rígidos de cada programa.
- Realizar el dimensionamiento de pavimento rígido utilizando el programa DIPAV 2.0.
- Realizar el dimensionamiento de pavimento rígido utilizando el programa BS PCA.
- Analizar las ventajas y desventajas de cada programa en el dimensionamiento de pavimentos rígidos.

- Realizar un análisis comparativo entre los resultados obtenidos con cada programa.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos mediante la realización del presente estudio.

### **1.5. Alcance.**

El presente estudio tendrá como finalidad hacer extensivo la aplicación del método a seguir, a todo profesional dedicado a esta labor y en especial va dirigido al profesional técnico, para que dicho método pueda ser de utilización práctica y sencilla. Se realiza en este trabajo el dimensionamiento de pavimento rígido utilizando los programas DIPAV 2.0 y BS PCA en varios proyectos de diseño de pavimentos rígidos dentro del departamento de Tarija, se recabará toda la información necesaria de los parámetros de diseño que se consideren más apropiados para su aplicación, posteriormente se procederá al estudio teórico y práctico de los datos de entrada y los resultados obtenidos por los programas, una vez realizados los estudios correspondiente se podrán elaborar las conclusiones y recomendaciones las cuales verificaran la factibilidad de la aplicación y utilización de los programas estudiados.

En primera instancia estudiaremos las propiedades y características de los pavimentos rígidos; posteriormente desglosaremos la información acerca de las metodologías que nos permitan obtener parámetros confiables para el cálculo del dimensionamiento de pavimento rígido.

Seguidamente se procederá al estudio de los programas DIPAV 2.0 y BS PCA para conocer los parámetros necesarios, como datos de entrada que necesita cada programa para el cálculo del dimensionamiento del pavimento rígido, para obtener resultados óptimos para el diseño de pavimentos rígidos.

También se estudiara cada parámetro en forma independiente, como ser, la obtención o el cálculo de cada uno, la información necesaria o los laboratorios que se deben

realizar para la obtención de estos para tener un conocimiento amplio de cada uno de los parámetros utilizados como datos de entrada.

De acuerdo a los resultados que se obtengan, de la recolección de información que estará destinado a facilitar y uniformar criterios en la posterior valoración técnica del resultado de cada programa se realizara un análisis comparativo de los valores obtenidos por el programa DIPAV y BS PCA para poder determinar cuáles son sus ventajas y desventajas. Se realizara este análisis con la finalidad de proponer conclusiones y recomendaciones en la ejecución de proyectos con la utilización de los programas estudiados.

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RÍGIDO

#### **2.1. Introducción a los pavimentos.**

La arquitectura ha empleado a lo largo de la historia múltiples pavimentos con carácter decorativo. Uno de los medios más comunes ha sido utilizar grandes losas de piedras ornamentales como mármol, travertinos, basalto o jaspe. Otros se han basado en las labores complejas sobre maderas nobles, taraceadas con habilidad para componer parqués o tarimas. Pero entre todos ellos destacan por su carácter único los pavimentos romanos y bizantinos de mosaico, compuestos por pequeñas piezas de cristal o mármol llamadas teselas.

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas.

Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las subrasante además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de

las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

La clasificación de pavimentos está sujeta a las limitaciones inherentes a las técnicas de clasificación. Históricamente, los pavimentos han sido divididos en dos categorías:

- ✓ Pavimentos flexibles: Consiste de una superficie de desgaste o carpeta relativamente delgada construida sobre unas capas (Base y Sub-base), apoyándose este conjunto sobre la subrasante compactada, de manera que la sub-base, base y superficie de desgaste o carpeta son componentes estructurales de este tipo de pavimento (Ver figura 2.1).
- ✓ Pavimentos Rígidos: Consiste en una losa de concreto hidráulico y pueden o no tener una capa sub-base entre la losa y la subrasante (Ver figura 2.2).

A parte de los tipos de pavimentos ya citados existe actualmente el llamado semirígido que es, esencialmente, un pavimento flexible a cuya base se le ha dado una rigidez alta por la adición de cemento o asfalto.

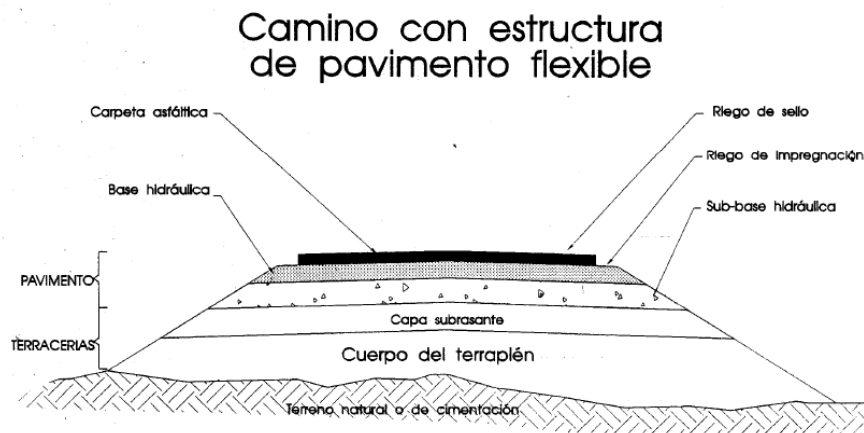


Figura 2.1

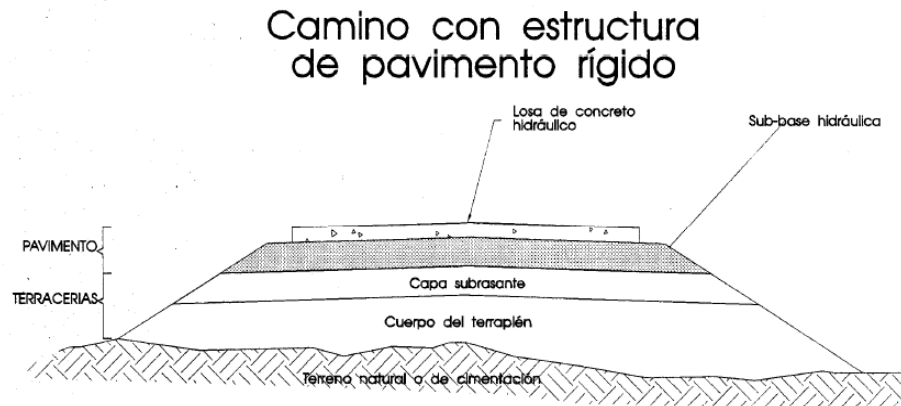


Figura 2.2

De lo anterior se desprende que, en general, un pavimento está formado por diversas capas de mejor calidad y mayor costo cuanto más cercanas se encuentran a la superficie de rodamiento; ello es, principalmente por la mayor intensidad de los esfuerzos que le son transmitidos.

Algunos autores consideran que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de cómo se estructuran esos materiales. Mientras que otros consideran que la diferencia esencial es la manera en que distribuyen las cargas sobre la subrasante.

## 2.2. Objetivo de los pavimentos.

Los principales objetivos de los pavimentos son tres: estructurales, funcionales y de seguridad.

**Estructural:** el pavimento sirve para distribuir las cargas bajo las ruedas de los vehículos sobre áreas suficientemente amplias como para evitar tensiones (superiores a su capacidad) en la capa inferior del pavimento.

La carga de la rueda sobre la superficie del pavimento se aplica en un área muy reducida, causando grandes tensiones. Sin embargo estas tensiones van disminuyendo

con la profundidad: el nivel de tensiones disminuye desde la capa superior a la inferior en las estructuras de pavimento.

**Funcional:** La estructura del pavimento está relacionada con los requisitos del usuario de un andar suave y confortable.

La calidad de manejo se mide en términos de **Índice de Serviciabilidad Presente** (PSI), concepto desarrollado por la American Association of State Highway Officials (AASHTO). PSI se mide principalmente según la **rugosidad** del terreno referida a los deterioros producidos por el uso y edad de los pavimentos y es uno de los criterios utilizados para la toma de decisiones respecto al mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos.

Los típicos deterioros de los pavimentos son: fisuras longitudinales y/o transversales, roturas, bacheos y ahuellamientos que afectan la integridad estructural de los pavimentos y el nivel de servicio.

**Seguridad:** Relacionada con el desarrollo de la **resistencia friccional** y la interacción pavimento-rueda. La fricción se asegura con la elección de los materiales y diversos tratamientos superficiales (por ejemplo texturizado). Otra característica relacionada con la seguridad es la **reflectividad** de la superficie del pavimento.

### **2.3. Definición del pavimento rígido.**

Se define como pavimento de hormigón el constituido por un conjunto de losas de hormigón en masa separadas por juntas transversales, o por una losa continua de hormigón armado, en ambos casos eventualmente dotados de juntas longitudinales; el hormigón se pone en obra con una consistencia tal, que requiere el empleo de vibradores internos para su compactación y maquinaria específica para su extensión y acabado superficial.

Un pavimento se puede definir como la superestructura de la obra vial que hace posible la circulación de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía requeridos por el usuario y previstos en el proyecto. En general está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados,

sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de la subrasante, la superficie de rodamiento cuyo comportamiento depende de la calidad del tipo de materiales, de su espesor y disposición en la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.

El pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de concreto, esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se le da el nombre de subbase; cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficiente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiéndose así de una subbase especial; de lo que se trata es de que la losa de concreto tenga un apoyo suficientemente uniforme y estable. Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor que el correspondiente a los materiales que le sirven de apoyo, la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento procede de la propia losa, efecto que es conocido como acción de viga. Las losas de concreto hidráulico deben resistir, además de los esfuerzos provocados por el tránsito, los producidos por cambios de temperatura y humedad, así como por cambios volumétricos de los materiales que les sirven de apoyo.

En términos generales, puede decirse que las características estructurales de las losas dependen fundamentalmente de su espesor y de la calidad del concreto empleado, interviniendo en esta última y en forma primordial la resistencia a la tensión, sin olvidar que la resistencia al desgaste superficial juega un papel muy importante. Un factor que merece atención son las juntas que dividen las losas, ya que de su apropiado diseño y construcción depende no solo la adecuada transmisión de cargas entre las losas sino también, y de una manera fundamental, la calidad de rodamiento y su desempeño futuro.

#### **2.4. Tipos de pavimentos rígidos o pavimentos de concreto hidráulico.**

Existen varios tipos de pavimentos rígidos o de concreto hidráulico a continuación se realiza un detalle de distintos tipos:

- ✓ Pavimentos de Concreto Hidráulico Simple (PCH S).

- a) Sin elementos de transferencia de carga.
- b) Con elementos de transferencia de carga.
- ✓ Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo de Acero (PCH RA).
  - a) Con refuerzo de acero no estructural.
  - b) con refuerzo de acero estructural.
- ✓ Pavimentos de Concreto Hidráulico con Refuerzo Continuo (PCH RC).
- ✓ Pavimentos de Concreto Hidráulico Pre o Postensado (PCH PP).
- ✓ Pavimentos de Concreto Hidráulico Reforzado con Fibras (PCH RF).

### **Pavimentos de concreto hidráulico simple (PCH S).**

El concreto asume y resiste las tensiones producidas por el tránsito y las variaciones de temperatura y humedad.

#### **a) Sin elementos de transferencia de carga.**

Aplicación: Tráfico Ligero, clima templado y se apoya sobre la sub-rasante, en condiciones severas requiere del Cimiento granular y/o tratado, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga.

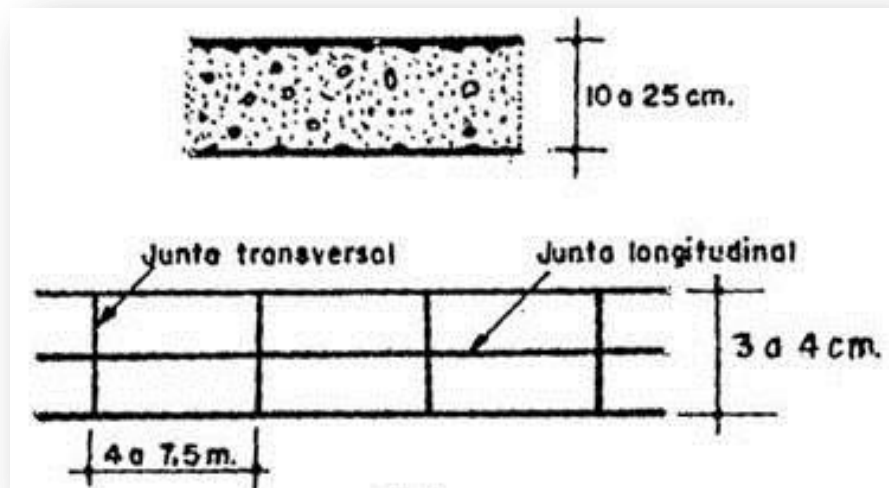


Figura 2.3

**b) Con elementos de transferencia de carga.**

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

Aplicación: Tráfico mayor de 500 Ejes equivalentes de 18 Kips.

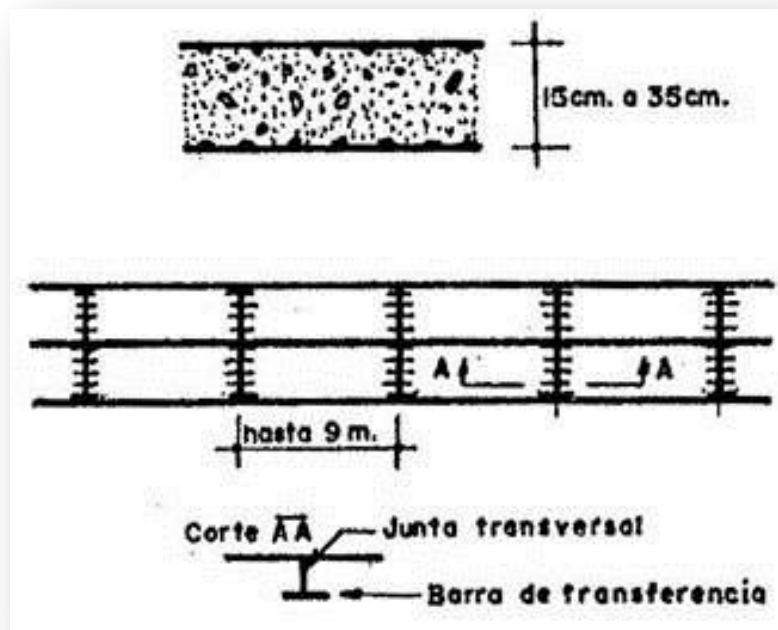


Figura 2.4

**Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero (PCH RA).**

**a) Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero no estructural.**

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

Aplicación: Es restringida, mayormente a pisos Industriales.

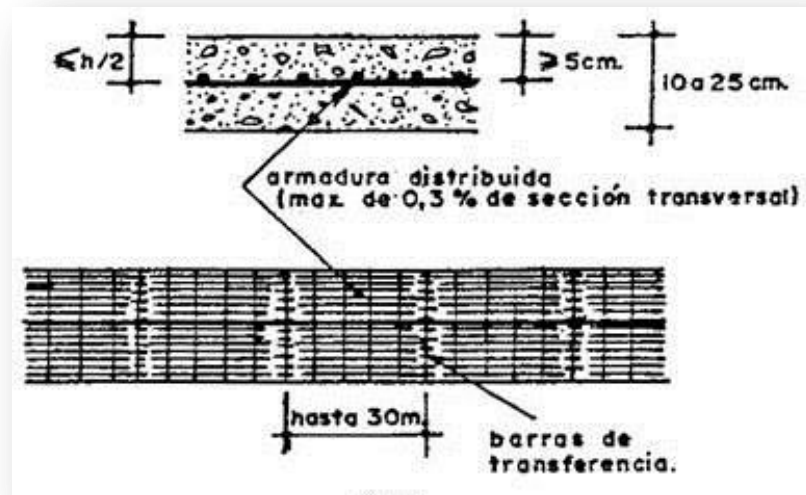


Figura 2.5

**b) Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo de acero estructural.**

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

Aplicación: Pisos Industriales, las losas resisten cargas de gran magnitud.

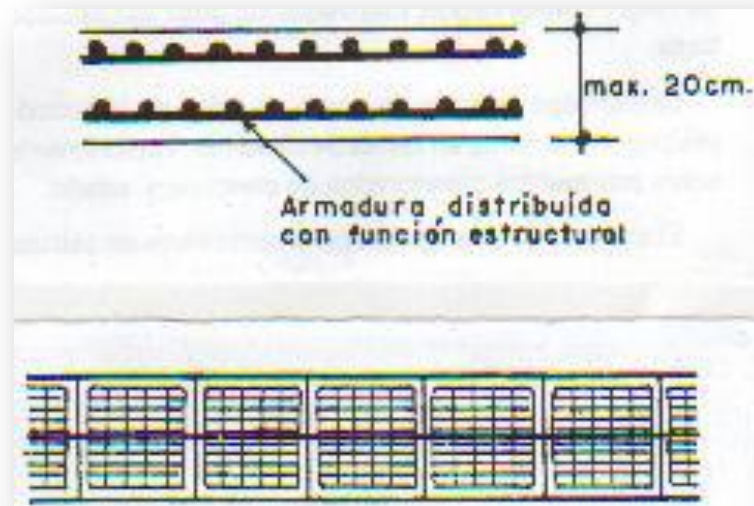


Figura 2.6

### **Pavimentos de concreto hidráulico con refuerzo continuo (PCH RC).**

El refuerzo asume todas las deformaciones, en especial las de temperatura, eliminando las juntas de contracción, quedando solo las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte. La fisura es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento de la estructura del pavimento. Aplicación: En la Parkway USA, zonas de clima frío, recubrimientos en pavimentos deteriorados

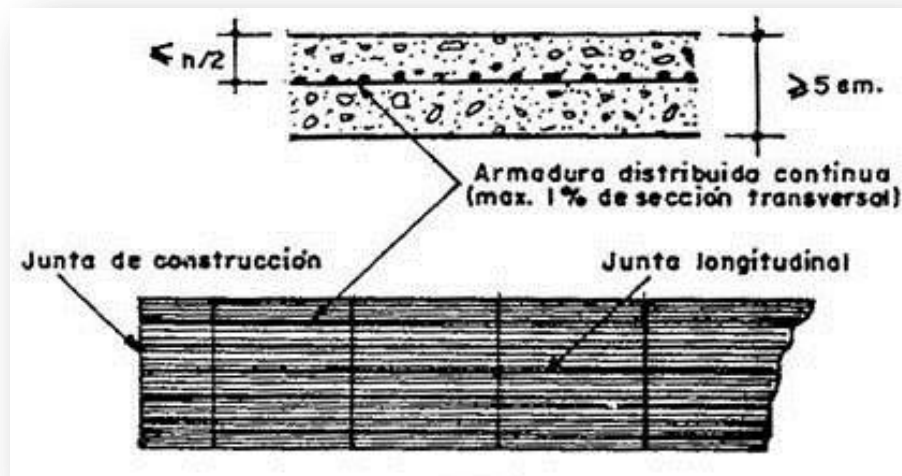


Figura 2.7

### **Pavimentos de concreto hidráulico pre o pos tensado (PCH PP).**

Su desarrollo es limitado, la primera experiencia es en el Aeropuerto de Orly (Paris-1948) y posteriormente en el Aeropuerto de Galeao (Río de Janeiro). El diseño trata de compensar su costo vs. Disminución del espesor, presenta problemas en su ejecución y mantenimiento.

### **Pavimentos de concreto hidráulico reforzado con fibras (PCH RF).**

Incorpora fibras metálicas, de propileno, carbón, etc. con excelentes resultados en Aeropuertos y sobre capas delgadas de refuerzo. El diseño es más estructural y de buen comportamiento mecánico, pero sus costos y los cuidados requeridos en su ejecución, dificultan su desarrollo.

### **2.5.Principales característica de los pavimentos rígidos.**

Además de cumplir con resistir los esfuerzos normales y tangenciales transmitidos por los neumáticos y su constitución estructural, bien construida (Gran resistencia a la Flexo-Tracción, a la Fatiga y elevado Modulo de Elasticidad), debe tener el espesor suficiente que permita introducir en los casos más desfavorables solo depresiones débiles a nivel del suelo del terreno de fundación y cada nivel estructural apto para resistir los esfuerzos a los que está sometido. Debe cumplir con satisfacer también las características principales del pavimento rígido las cuales son las siguientes:

- ✓ Estar previstas para un periodo de servicio largo.
- ✓ Prever un bajo mantenimiento.
- ✓ Mayor vida útil y mejores condiciones de servicio.
- ✓ Puede diseñarse para resistir ataque químico, aceites, interperismo, etc.
- ✓ Puede soportar mejor las sobrecargas de vehículos, pocas limitaciones de peso.
- ✓ Distribuye más eficientemente las cargas de las llantas requiriéndose así menores espesores de capas subyacentes y/o especificaciones menos rígidas de materiales.
- ✓ Soporta el calor y no se reblandecen ni se vuelven pegajosos.
- ✓ Mejor respuesta en áreas difíciles donde son comunes cargas pesadas, y en sitios donde hay semáforos.

## 2.6. Propiedades y funciones de los pavimentos rígidos.

La consideración de dos propiedades básicas del pavimento revela que un solo principio se aplica a cada aspecto del diseño de las sub-bases y subrasantes. El módulo de elasticidad del hormigón oscila entre 280 000 y 420 000 Kg /cm<sup>2</sup>. Esto significa que los pavimentos de hormigón tienen un alto grado de rigidez y la resistencia a flexión del hormigón varía de 38 a 52 Kg. /cm<sup>2</sup> a los 28 días, característica elemental de resistencia a viga.

A causa de estas propiedades, rigidez y resistencia a viga, el pavimento de hormigón distribuye las cargas que soporta sobre una gran zona de la subrasante, las deflexiones son pequeñas y las presiones unitarias transmitidas a la subrasante son muy reducidas. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes, sino de un valor soporte razonablemente uniforme.

Además de las propiedades estructurales comentadas, el pavimento rígido debe satisfacer funciones que pueden resumirse de la siguiente forma:

- a) Resistir las acciones de los agentes atmosféricos, a fin de conseguir la durabilidad o vida útil prevista en el diseño; por ejemplo la eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento, con el fin de proteger la subrasante de las precipitaciones, con sus efectos en la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos.
- b) Condiciones adecuadas de durabilidad, para resistir las sollicitaciones de tráfico previsto durante el periodo de proyecto y repartir las presiones verticales ejercidas por las cargas, distribuyendo las mismas hasta reducir las tensiones producto de ellas a valores compatibles con la capacidad de soporte del terreno.

- c) Proporcionar una superficie de rodadura segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tráfico, a lo largo de un periodo de tiempo en servicio.

## 2.7. Variables que intervienen en el diseño de pavimentos rígidos.

El pavimento rígido tiene como elemento estructural fundamental una losa de hormigón, esta se apoya sobre una capa de material seleccionado, a la que se le da el nombre de subbase y posteriormente esta se apoya a un capa de suelo natural llamada subrasante; en ocasiones cuando la subrasante del pavimento tenga una calidad suficiente buena, se descarta el uso de la subbase de acuerdo a criterios constructivos.

### Elementos que Constituyen el Pavimento Rígido

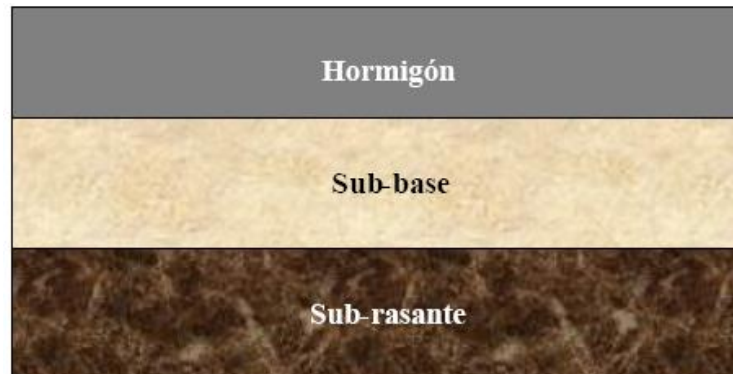


Figura 2.8

#### 2.7.1. Capa subrasante.

Es el terreno de fundación del pavimento, constituye la capa superior de la terracería y por lo consiguiente la capa de apoyo de los pavimentos; la cual puede estar formada por el propio terreno natural, perfilado y compactado adecuadamente. Sin embargo, cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, etc., se recurre a la

utilización de materiales seleccionados de mejor calidad procedente de un banco de material. Por lo anteriormente dicho constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

### **Características de la capa subrasante.**

Los materiales que se utilicen como capa subrasante deberán ser, de preferencia, del tipo: GW, SW, SM, ML, siempre que la porción fina, o sea la arcilla, no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95 al 100 % de la prueba de compactación AASHTO T-99 o estándar.

Cuando los materiales sean del tipo CL, MH, CH y cuando su límite líquido, LL, esté comprendido entre 50% y 100%, se analizará la posibilidad de mejorarlos, con la finalidad de reducir los valores del LL y, en consecuencia, del IP.

Cuando el terreno de apoyo sea del tipo MH, CH y OH con LL = 100%, serán desechados como material de apoyo. Para ello se recomienda una sustitución del material en espesores mínimos de 30 cm. En todos los casos en que se encuentren bolsas de material con alto contenido de materia orgánica se deberá proceder a su sustitución total con material limoso mezclado con arena y/o grava.

Cuando en el corte de suelos naturales afloren fragmentos de roca, éstos no serán admitidos como lecho de apoyo. De ser así, se deberá proceder a la remoción de estos fragmentos endurecidos.

### **Ensayos para determinar la resistencia del terreno.**

En el diseño de pavimentos, es fundamental conocer las propiedades de los suelos que nos permiten entender sus características generales y sus comportamientos. Algunas de estas pruebas son las siguientes:

**Plasticidad.-**

- ✓ Límite líquido.
- ✓ Límite plástico.

**Prueba Proctor.**

Se refiere a la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por el procedimiento definido para diferentes contenidos de humedad. Su objetivo es determinar el peso volumétrico seco máximo que pueda alcanzar un material y la humedad óptima que deberá hacerse la compactación; determinar también el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando ya se encuentran construidos los caminos relacionando el peso volumétrico obtenido en el lugar con el peso volumétrico máximo Proctor.

Está limitada a los suelos que pasen totalmente la malla No. 4, o que, cuando mucho, tengan un retenido de 10% y que este retenido pase totalmente por la malla 3/8". Cuando el material tenga retenido en la malla 3/8", debe determinarse la humedad óptima y el peso volumétrico máximo con la prueba Porter estándar, así como también se trate de arenas de río, arenas producto de trituración, tezontles arenosos y en general en todos aquellos materiales que carezcan de cementación.

**Prueba Porter.**

Esta prueba determina el peso volumétrico seco máximo de compresión Porter y la humedad óptima en los suelos con material mayor de 3/8" y los cuales no se les pueden hacer la prueba Proctor.

**Valor relativo de soporte.**

Es un índice de resistencia al esfuerzo cortante en condiciones determinadas de compactación y humedad. Se expresa como el porcentaje de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo respecto a la profundidad de penetración del pistón en una piedra tipo triturada. Por lo tanto, P2 es

la carga en kg necesaria para hacer penetrar el pistón en el suelo en estudio y  $P_x=1360$  kg, la que se precisa para penetrar la misma cantidad en la muestra tipo de piedra triturada, el valor relativo de soporte del suelo es:

$$VRS = \frac{P2}{1360} * 100$$

### **Módulo de reacción (K).**

Es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad del suelo. Su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y otros factores que afectan la resistencia del suelo. La determinación de k se hace mediante una placa circular de 30” de diámetro bajo una presión tal que produzca una deformación del suelo de 0.127 cm. En general se puede decir que el módulo de reacción k es igual al coeficiente del esfuerzo aplicado por la placa entre la deformación correspondiente, producida por este esfuerzo.

### **2.7.2. Capa subbase.**

Se define como capa subbase para pavimentos rígidos la capa de material que se ubica antes de la losa de concreto. Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas y se construye por lo general con materiales granulares, los cuales cuando el tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar este material; para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables se recurre a subbases de grava-cemento. Por otra parte cuando el tránsito es ligero el material de la capa subrasante es de buena calidad, se suprime la subbase. Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se la denomina base, por su posición inmediata bajo la losa. Sin embargo se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de

concreto reduce los esfuerzos impuestos a esta capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

### **Características de las subbases.**

La subbase es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante.

La subbase tiene por objeto:

- ✓ Servir de capa de drenaje al pavimento.
- ✓ Controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.
- ✓ Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada. Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en los suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es considerable.

El material de la sub-base debe ser seleccionada y tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado, este material puede ser grava, arena, grava o granzón, escoria de los altos hornos y residuos de material de cantera. En algunos casos es posible emplear para la sub-base material de la subrasante mezclado con granzón, cemento, etc.

El material debe tener las características de un suelo A1 o A2 aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior al 35% y su índice plástico no mayor a 6. El CBR no podrá bajar del 15%.

Si la función principal de la sub-base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular y la cantidad de material fino que pasa el tamiz No 200 no deberá ser mayor al 8%.

En la actualidad como elemento drenante en la sub-base se está utilizando con mucha frecuencia geotextiles. El geotextil se define como cualquier textil permeable usado

en fundaciones, roca o suelo. Sus propiedades hidráulicas son considerables, convenientes para las funciones de filtración y drenaje.

### **Granulometría.**

A manera de guía, en la tabla 2.1, de la especificación AASHTO M 147, se muestran granulometrías críticas del material de subbase cuando se emplean subbases con materiales de tamaño uniforme, semejantes a la granulometría A, puede ser necesario tomar ciertas precauciones para evitar la intrusión de los suelos finos subyacentes hacia la subbase.

**Tabla 2.1**  
**Requisitos Granulométricos de Materiales para Subbases**  
**Mezcla suelo – agregados AASTHO M147**

Tamaño de la Malla	Porcentaje que pasa en peso					
	A	B	C	D	E	F
2"	100	100	...	...	...	...
1"	...	75-95	100	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	...	...
Nº 4	25-65	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
Nº 200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Fuente: AASTHO M147

Adicionalmente el material deberá cumplir con lo que se indica a continuación:

Limite Liquido	25 % máx.
Índice de Plasticidad	6 % máx.
Desgaste de los Ángeles	40 % máx.
Contracción Lineal	4 % máx.
Equivalente de Arena	25 % min.
C.B.R.	≥ 40

**Espesor.**

Ya que la finalidad principal de la capa de la subbase es evitar el efecto del bombeo de finos, no es necesario ni tampoco económico utilizar subbases gruesas. Los espesores de subbase de 10 a 15 cm se especifican generalmente en proyectos comunes de construcción, como una manera práctica de garantizar el espesor mínimo de 5 a 7.5 cm, necesario para evitar el bombeo.

**2.7.3. Clima.****Condiciones de clima frío.**

Cuando se elabora concreto en épocas de invierno, se presentan numerosos problemas que hacen necesaria una planeación anticipada. Antes de la iniciación de los trabajos deben tenerse a la mano los materiales para la protección de la subrasante y las capas de base y para el curado del concreto.

**Condiciones de clima cálido.**

Durante la fabricación del concreto en condiciones de clima cálido, deben tomarse las precauciones necesarias para colocarlo a la mínima temperatura que sea práctica. Las temperaturas del concreto deben ser controladas para asegurar su adecuada colocación, compactación, acabado y curado y para evitar el agrietamiento debido a contracciones plásticas del propio concreto. Tolerancias en los espesores, los pavimentos y las bases de concreto deben construirse con los espesores marcados en los planos del proyecto. Generalmente será suficiente realizar una revisión cuidadosa de la elevación de la cimbra y de la profundidad hasta la subrasante o la sub-base, haciendo mediciones con el auxilio de cordeles. Si se considera necesario verificar el espesor del pavimento después de construido, se hará efectuando mediciones en corazones extraídos de él con broca. Los corazones se tomarán a los intervalos que fije el ingeniero y deberán tener un diámetro mínimo de 10 cm. La medición de ellos debe efectuarse de acuerdo con la norma ASTM C174.

#### **2.7.4. Capa de rodadura (Losa de hormigón).**

Constituye la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

Un pavimento rígido se halla constituido por un elemento estructural fundamental una losa de concreto; debido a la rigidez que presenta esta losa, esta clase de pavimentos no requieren, al menos desde un punto de vista teórico, apoyarse sobre una explanada o capa de elevada capacidad de soporte.

Normalmente el espesor de la losa puede partir de unos 15 cm para tránsito muy ligero, hasta llegar a ser del orden de 40 cm en el caso de autopistas y carreteras con alto nivel de tránsito pesado, requiriendo además concretos homogéneos y de alta calidad, con resistencias a la tensión no inferiores a 3.5 MPa, y muy comúnmente de 4 MPa o más.

El hormigón de tipo vibrado utilizado para trabajos de pavimentación debe satisfacer ciertas características muy particulares, que marcan diferencias con respecto a los hormigones utilizados en otro tipo de obras, por lo que puede clasificarse como un hormigón de alto comportamiento. A continuación se indican las características que son fundamentales para la correcta elaboración de la mezcla, que su finalidad es satisfacer los requerimientos indispensables para la elaboración de la losa de hormigón.

#### **Calidad del Hormigón.**

Las mezclas del Concreto Hidráulico para Pavimentos deben de estar previstas para:

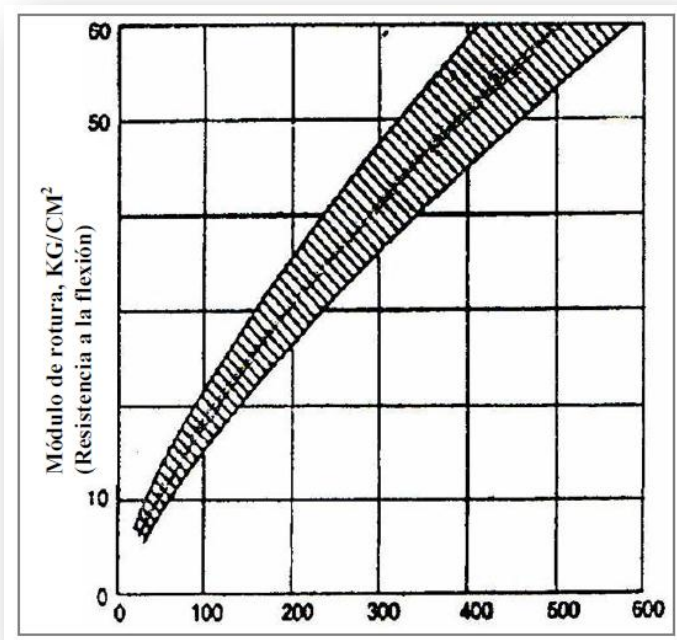
- a) Garantizar una durabilidad satisfactoria dentro de las condiciones de requerimiento del Pavimento.
- b) Para asegurar la resistencia deseada a la flexión.

La flexión en los Pavimentos de Concreto Hidráulico, bajo las cargas aplicadas porros neumáticos, produce esfuerzos de compresión y tensión. Los esfuerzos de compresión son pequeños en relación a la resistencia de la misma, y sin mayor incidencia en el espesor de la losa.

Por lo tanto el concreto hidráulico que se utiliza en los pavimentos se especifica por su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Rotura a Flexión, a los 28 días. El Módulo de Rotura a Flexión (MR) expresada en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , generalmente varía entre los siguientes valores:

$$40 \leq MR \leq 50$$

A continuación se presenta un gráfico de la correlación entre el Módulo de Rotura a Flexión (MR) y la resistencia a la compresión del Concreto Hidráulico a los 28 días ( $f'c$ ).



$$MR = \frac{PL}{bd^2} \left( \frac{kg}{cm^2} \right)$$

$$0.10f'c \leq MR \leq 0.17f'c$$

Dónde:

P = Carga de Rotura.

L = Distancia entre apoyos.

b = ancho de la viga.

d = peralte de la viga.

En Pavimentos de Concreto Hidráulico se exige:

- ✓  $MR \geq 40 \text{ kg/cm}^2$  o sea  $f'c \geq 280 \text{ kg/cm}^2$ .
- ✓ Aceptándose  $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$  para tráfico ligero.

### **Propiedades y Control.**

La calidad de un concreto se define en términos de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Estos aspectos de la calidad del concreto fueron optimizados en el proyecto, encontrar un método de diseño que garantice estas características con el resultado de un concreto económico es una tarea importante.

Los objetivos particulares que se busca son:

- ✓ Su trabajabilidad para su colocado fácilmente.
- ✓ Resistencia y durabilidad satisfactoria.
- ✓ El logro de mezcla competitiva a costos los más bajos posibles.

Dentro de las actividades de control que se debe poner atención en la ejecución de losa de hormigón, podemos mencionar las más importantes:

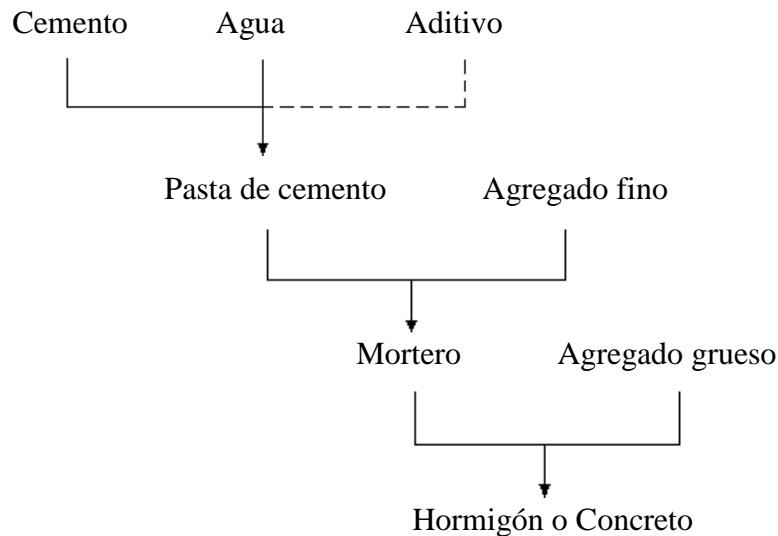
- ✓ Verificación previa de la calidad y consolidación de los materiales que componen las capas de transición o de apoyo.
- ✓ Evaluación y aceptación de los materiales que conformaran el hormigón, respaldados mediante certificados de calidad y abalados por ensayos físico-químicos de un laboratorio de materiales.
- ✓ Verificación y oportuna corrección al diseño y dosificación de la mezcla.
- ✓ Control del transporte, colocación, vibrado, terminado y curado de la losa de hormigón.

### **Características y propiedades del hormigón.**

El hormigón, o concreto de uso común o convencional, se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales

eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

### Esquema de Integración del Hormigón.



Las propiedades que presenta el hormigón, en estado fresco y endurecido difieren una de otra, de igual forma los fenómenos como la retracción, la temperatura, características mecánicas, reológicas (relación entre el esfuerzo y la deformación) y durabilidad del hormigón.

### Características mecánicas del hormigón.

#### a.- Resistencia a compresión y característica del hormigón.

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas. El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15 x 30 de veintiocho días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados; pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico. Siempre que se

hable, en esta obra, de resistencia característica, nos referimos a la primera definición, salvo advertencia en contrario.

Para consideraciones promedio el  $H^o$  que posee un módulo de rotura (método IRAM 1547-ASTM C 78) comprendido entre 40 y 50  $\text{kg/cm}^2$  a los 28 días resulta económicamente más conveniente.

### **b.- Resistencia a tracción del hormigón.**

Para ciertos elementos de hormigón, como en el caso de pavimentos, puede ser más interesante el conocimiento de la resistencia a tracción que la de compresión, por reflejar mejor ciertas cualidades, como la calidad y limpieza de los áridos.

La resistencia a tracción que ofrece un hormigón se puede definir como el esfuerzo inverso al de compresión, que actúa de forma paralela a la línea axial mayor de un elemento sometido a alguna acción o sollicitación de carga.

### **Materiales que constituyen la losa de hormigón.**

#### **a.- Cemento.**

Los cementos son los conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto en el aire como bajo el agua. Los cementantes que se utilizan para la fabricación del hormigón son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aun estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los cementos para hormigón hidráulico son elaborados a base de clinker Portland en nuestro medio, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste. Para la elaboración del clinker Portland se emplean materias primas capaces de aportar principalmente cal y sílice, y accesoriamente óxido de fierro y alúmina, para lo cual se seleccionan materiales calizos y arcillosos de composición adecuada. Estos materiales se trituran, dosifican, muelen y mezclan íntimamente hasta su completa homogeneización, ya sea en seco o en húmedo.

La materia prima así procesada, ya sea en forma de polvo o de lodo, se introduce en hornos rotatorios donde se calcina a temperaturas del orden de 1400° C, hasta que alcanza un estado de fusión incipiente. En este estado se producen las reacciones químicas requeridas y el material se subdivide y aglutina en fragmentos no mayores a 6 cm. Cuya forma se regulariza por efecto de la rotación del horno. A este material fragmentado, resultante de la calcinación, se le denomina clinker Portland.

Una vez frío, el clinker en proporción en masa entre el 95 y 100%, se muele conjuntamente con una reducida proporción de yeso en masa entre 0 y 5%, que tiene la función de regular el tiempo de fraguado, y con ello se obtiene el polvo fino de color gris que se conoce como cemento Portland simple, el mismo que se constituye en el cemento que se ha utilizado tradicionalmente para la fabricación del concreto hidráulico en el país.

En la siguiente tabla 2.4 y tabla 2.5 obtenidos de la Norma Boliviana (IBNORCA) se muestra algunas características del cemento.

**Tabla 2.2**

**Análisis Químico-Físico y Mecánico de los Cementos.**

<b>Análisis Químico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Requisitos Según NB 011</b>
Oxido de Magnesio: (NB 061) MgO	%	menor a 6,0
Óxido de Azufre: (NB 061) SO <sub>3</sub>	%	menor a 4,0
Pérdidas Por Calcinación: (NB 061) PPC	%	menor a 7,0
<b>Ensayos Físicos</b>	<b>Unidad</b>	
Tiempo inicial de fraguado: (NB 063)	h:min.	mayor a 0:45
Tiempo final de fraguado: (NB 063)	h:min.	menor a 10:00
Expansión (Le Chatelier C-A): (NB 643)	mm	menor a 10:00
Finura, Superficie Específica según Blaine: (NB 472)	cm <sup>2</sup> /g	mayor a 2600
Peso específico: (NB 064)	g/cm <sup>3</sup>	No especifica

Ensayos Mecánicos		Unidad	
Norma NB 470 (ASTM C1099)			
Resistencia a la compresión	3 días	MPa	mayor a 17
En mortero normalizado a:	7 días	MPa	mayor a 25
	28 días	MPa	mayor a 40

TIPO	CARACTERÍSTICA	AJUSTE PRINCIPAL
I	Cemento normal u ordinario, destinado a obras de concreto en general.	Sin ajuste específico en este aspecto.
II	Destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación.	Moderado C3A
III	Cemento Portland de alta resistencia inicial.	Alto C3S
IV	Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.	Alto C2S, moderado C3A
V	Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos.	Bajo C3A

El cemento Portland más usado en nuestro país, es el TIPO I (ASTM)

**Tabla 2.3**  
**Categorías Resistentes de los Cementos.**

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión (MPa)		
		(NB 470) (1)		
		Mínimas a 3 días	Mínimas a 7 días	Mínimas a 28 días
Alta	40 MPa	17	25	40
Media	30 MPa	-	17	30
Corriente	25 MPa	-	15	25

Fuente obtenida de la Norma Boliviana

### b.- Requisitos del agua.

El agua es un elemento fundamental en la elaboración del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido; por lo que debe tenerse muy en cuenta la calidad de la misma.

En todos los casos, deberá ser limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al pavimento terminado. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. El pH medido según norma ASTM D-1293, no podrá ser inferior a cinco (5).

El agua deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla 2.6. Se excluye al agua de mar en este apartado.

**Tabla 2.4**

Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua		
	Valores en partes por millón (ppm)	
Impurezas	Tipo de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistente a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2 000	2 000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas <sup>[1]</sup> : (finos de cemento y de agregados), máximo	50 000	35 000
Cloruros como Cl <sup>[2]</sup> :		
• Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes <sup>[3]</sup> , máximo	400	600
• Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares <sup>[3]</sup> , máximo	700	1 000
Sulfato como SO <sub>4</sub> = <sup>[2]</sup> , máximo	3 000	3 500
Magnesio como Mg <sup>++</sup> <sup>[2]</sup> , máximo	100	150
Carbonatos como CO <sub>3</sub> =, máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO <sub>2</sub> , máx	5	3
Alcalis totales como Na <sup>+</sup> , máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3 500	4 000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido) <sup>[4]</sup> , máximo	150	150
Potencial de hidrógeno (pH), mínimo	6	6,5

**c.- Aditivos.**

Los aditivos son sustancias que se pueden agregar al concreto con el fin de modificar algunas de sus propiedades, o para inducirle algunas características adicionales: trabajabilidad, reducción de agua de mezclado, incorporación de aire, modificación de los tiempos de fraguado, proporcionar diferentes grados de impermeabilidad. No obstante que en prácticamente en todos los concretos es posible utilizar aditivos, existen tres criterios básicos que deberán tomarse en cuenta:

- ✓ La adición de aditivo a la mezcla deberá lograr el objetivo buscado sin alterar su proporcionamiento básico.
- ✓ Su empleo estará justificado desde el punto de vista económico.
- ✓ Se investigará que el producto no tenga efectos nocivos en la mezcla, tanto de forma inmediata como a largo plazo

En pavimentos rígidos se emplean más frecuentemente dos tipos de aditivos: los inclusores de aire y los reductores de agua. Sin embargo, algunas aplicaciones especiales demandan características específicas del concreto hidráulico, por lo que en ocasiones se pueden emplear superfluidificantes, retardantes e incluso acelerantes de fraguado y para climas bastantes fríos se suele emplear inclusores de aire.

El almacenamiento de aditivo requiere del cuidado de varios aspectos:

- ✓ No se debe dejar contaminar ni sufrir daño.
- ✓ Los depósitos de aditivo nunca se deben exponer a frío ni calor excesivo y los aditivos nunca deben congelarse.
- ✓ Es importante realizar ensayos de control de calidad a estos productos químicos para asegurar una correcta aplicabilidad.

**d.- Agregados.**

Empleados para la confección de hormigones, pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

**Agregado Grueso.**

Los agregados tanto gruesos como finos constituyen en conjunto cerca del 75% del volumen de la mezcla de concreto, por lo que su calidad influye grandemente en sus características, principalmente de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

El agregado grueso corresponde a la fracción cuyas partículas son mayores a 4.76 mm (malla N°4), se tiene un tamaño máximo hasta de 63.5 mm (2 ½") en concretos vibrados. Es importante, para prevenir la segregación de tamaños en su manipulación, previamente a la elaboración del concreto, fraccionar el agregado grueso en dos porciones como mínimo, separadas por la malla de 19 mm (¾") cuando el tamaño máximo es de 38,1 mm (1 ½") o por la malla de 25.4 mm (1") cuando el tamaño máximo sea de 50.8 mm (2") o de 63.5 mm (2 ½").

Los agregados deben tener como principales características el ser duros, sanos, resistentes al interperismo e inertes a la reacción química con los álcalis del cemento. Los agregados con partículas blandas, disgregables o laminares son inconvenientes y deben por lo tanto evitarse en la construcción de pavimentos.

Con objeto de obtener concretos de alta calidad, facilitar su construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial, el tamaño máximo recomendado generalmente para el concreto es de 5 cm.; no debe ser mayor que la cuarta parte del espesor de la capa en que se pretende utilizar. Debe también mencionarse que, a mayor tamaño máximo, se requiere menor cantidad de pasta de cemento y, por lo tanto, menor consumo de cemento para alcanzar la resistencia requerida, debiendo vigilarse que la granulometría de los agregados sea la adecuada.

La forma de la partícula es importante tanto en los agregados finos como en los gruesos. Cuando existan partículas planas y alargadas o de forma angulosa, se requerirá mayor porcentaje de material fino y mayor contenido de agua y cemento para producir un concreto trabajable, que cuando el agregado es redondeado, como suele ser el caso de los agregados naturales.

El agregado producto de trituración de roca o de fragmentos puede reunir características muy satisfactorias cuando la forma de sus partículas no se aparta apreciablemente de la forma cúbica; a este respecto debe mencionarse la influencia

que ejerce la naturaleza del material y el tipo de trituradora en la forma resultante de las partículas.

La granulometría del agregado grueso para un tamaño máximo dado puede variar considerablemente sin afectar apreciablemente el contenido de cemento, siempre y cuando el contenido de arena se mantenga próximo al óptimo para lograr una buena trabajabilidad; sin embargo, la curva granulométrica deberá quedar en todo momento dentro de los límites especificados, salvo que se cuente con experiencia local de buen comportamiento de mezclas efectuadas con curvas granulométricas fuera de dichos límites.

**Tabla 2.5**  
**Características Físico –Químicas de los Agregados Gruesos**

Desgaste a los Ángeles	≤ 30 %
Tamaño máximo	≤ 50 mm.
Peso Unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr./cm <sup>3</sup>
Absorción de agua 24 horas ( la perdida)	no excederá del 3% en peso
<b>No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes límites</b>	
Fragmentos Blandos	3 % en peso
Carbón y lignito	1 % en peso
Terrones de arcilla	0,5 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200	1 % en peso
Durabilidad con sulfato de sodio ( la perdida)	luego de 5 ciclos no excederá el 12%

Fuente: Anual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System

Volumen 04 031999

La distribución por tamaño de las partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. En las tablas que a continuación presentamos, se muestran las mallas utilizadas en el cribado del agregado grueso.

**Tabla 2.6**  
**Granulometría del Agregado Grueso.**

Tamiz Malla cuadrada ASTM	Porcentaje en Peso que pasa Según el tamaño máximo		
	2.5 cm. ( 1" )	4 cm. ( 1 1/2" )	5 cm. ( 2" )
2 1/2"	...	...	100
2"	...	100	90-100
1 1/2"	100	90-100	...
1"	90-100	...	35-70
3/4"	...	35-70	...
1/2"	25-60	...	10-30
3/8"	...	10-30	...
Nº 4	0-10	0-5	0-5
Nº 8	0-5	...	...

Fuente: Anual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System

Volumen 04 031999

### **Agregado Fino.**

Es el agregado de mayor responsabilidad; a diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento, puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena.

Las mejores arenas son las de río, ya que, salvo raras excepciones, son cuarzo puro, por lo que no hay que preocuparse acerca de su resistencia y durabilidad.

La arena de mina suele tener arcilla en exceso, por lo que generalmente es preciso lavarla. Las arenas de mar, si son limpias, pueden emplearse en hormigón, previo lavado con agua dulce.

Las arenas que provienen del machaqueo de granitos, basaltos y rocas análogas son también excelentes, con tal de que se trate de rocas sanas que no acusen un principio de descomposición.

Deben rechazarse de forma absoluta las arenas de naturaleza granítica alterada (caolinización de los feldespatos).

Las arenas de procedencia caliza son de calidad muy variable. Siempre resultan más absorbentes y requieren más cantidad de agua de amasado que las silíceas.

Su resistencia al desgaste es baja, por lo que los hormigones sometidos a este efecto (por ejemplo, en pavimentos) deben confeccionarse con arena silícea, al menos en un 30 % de la totalidad de la arena.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones, sobre todo cuando se dosifica en volumen. Por ello es siempre necesario tenerla en cuenta.

Respecto a los agregados finos, para el caso de pavimentos, se puede exigir las siguientes características:

**Tabla 2.7**

**Características Físico –Químicas de los Agregados Finos.**

Módulo de finura	> 2,3 y < 3,10
Peso Unitario valores entre	1,20 y 1,50 gr./cm <sup>3</sup>
Absorción de agua 24 horas ( la pérdida)	no excederá del 5% en peso
<b>No contendrá sustancias perjudiciales en exceso de los siguientes límites</b>	
Carbón y lignito	0,5 % en peso
Terrones de arcilla	3,0 % en peso
Material que pasa el tamiz N° 200, vía húmeda	3,0 % en peso
Otra sustancias como álcalis, sales, mica, partículas blandas, etc.	1 % en peso

Fuente: Anual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System

Volumen 04 031999

La distribución por tamaño de las partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. En la tabla que a continuación presentamos, se muestran las mallas utilizadas en el cribado del agregado fino.

**Tabla 2.8**  
**Serie de Mallas Estándar y Límites de Tolerancia Para la Arena**

Tamiz Malla cuadrada ASTM	Porcentaje en Peso que pasa Según el tamaño máximo
3/8"	100
Nº 4	95 – 100
Nº 8	85 – 100
Nº 16	45 – 80
Nº 30	23 – 60
Nº 50	10 – 30
Nº 100	2 – 10

Fuente: Anual Book of ASTM, Road and paving Materials, Vehi-Pavement System

Volumen 04

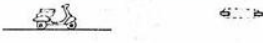
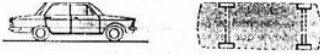




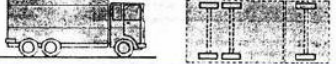
### 2.7.5. Análisis de tráfico.

El análisis de tráfico y la clasificación de vía se obtendrán a partir del número de vehículos que, probablemente, pasarán diariamente por el sistema vial proyectado.

La **PCA** y la **AASHTO**, como avanzada tecnológica, sólo consideran los vehículos pesados, tales como camiones, autobuses, etc. en el cálculo de la estructura, con carga superior a 5 toneladas.

Este tipo de vehículos, generalmente, corresponden a 6 o más ruedas; los de peso inferior o vehículos ligeros, camionetas o tractores sin carga, provocan un efecto

mínimo sobre el pavimento y no son considerados en los cálculos estructurales del Pavimento Rígido.

VEHICULOS DE MENOS DE SEIS RUEDAS (NO se tienen en cuenta en el calculo)	MOTOS	
	AUTOMOVILES	
	FURGONETAS	
	TRACTORES SIN REMOLQUE	
VEHICULOS DE SEIS O MAS RUEDAS (Se tienen en cuenta en el calculo)	TRACTORES CON REMOLQUE	
	AUTOCARES Y AUTOBUSES	
	CAMIONES	
<b>Tipo de Vehiculo PCA-AASHTO</b>		
A2		
B2		
B3		
B4		
C2		
C3		
C4		
T2-S2		
T3-S2		
T3-S3		
T3-S2-R2		
T3-S2-R3		
T3-S2-R4		

### 2.7.6. Diseño geométrico.

El diseño geométrico es el resultado del *análisis de la geometría vial* de un proyecto (Altimetría y Planimetría).

En los Pavimentos de Concreto Hidráulico, este detalle en nuestro medio, es el menos considerado, porque esta variable define todos los sistemas de servicios públicos que deben ser analizados y diseñados previamente al diseño geométrico final de la estructura del pavimento, de tal manera, que permita, sin necesidad de romper la estructura, realizar las nuevas instalaciones y el mantenimiento correspondiente de las mismas.

### **2.7.7. Diseño estructural.**

El diseño completo de un sistema vial necesita del conocimiento de todas las variables que hemos mencionado anteriormente, complementando estas con un excelente diseño de juntas, por lo tanto, existen muchas metodologías de diseño en el mundo y que, según el profesor Jeuffroy, se clasifican en tres grupos:

- ✓ Teóricas
- ✓ Empíricas
- ✓ Semiempíricas

#### **a.- Teóricas.**

Son aquellas metodologías que asimilan o modelan la estructura del pavimento en función del estudio elástico de sistemas multicapas, sometidos a cargas estáticas. Entre ellos tenemos a Boussinesq, Burmister, Hogg, Westergard, Peattie- Jones, Jeuffroy y Bachélez, Picket, Ivannoff, etc.

Algunos incluyen propiedades Visco-Elásticas en las capas de la estructura y problemas de carga variable, como el caso del Laboratorio Central de Puentes y Caminos de Francia.

#### **b.- Empíricos**

Estas renuncian a la utilización de los resultados de la mecánica y se limitan a una clasificación de suelos y de tipos de pavimentos más usuales experimentales. Entre ellos, tenemos a Steele, Aviación Civil Americana, CIUSA, etc.

#### **c.- Semiempíricos.**

Llamadas últimamente “Diseños Mecanicistas-Empíricos” combinan los resultados anteriores y preparan circuitos de ensayos en Laboratorio o Vías de servicio. Estos métodos son los que tienen mayor difusión y son a la vez los más racionales.

Tomando esta última clasificación, la avanzada tecnológica ha desarrollado técnicas que permiten diseñar la estructura del pavimento de forma muy práctica y racional, a través de los llamados catálogos y/o nomogramas de diseño, estos son llevados a sistemas COMPUTARIZADOS, que están permitiendo muchas alternativas SOLUCION. Algunos de estos métodos de Diseño del Espesor de la Losa son:

- ✓ PCA
- ✓ AASHTO 1993
- ✓ AASHTO 1998
- ✓ AASHTO 2002 (Evalúa Costos)

Estos métodos son utilizados para prevenir agrietamientos de la losa de Hormigón.

### **2.7.8. Diseño de losa.**

Actualmente, se usan dos métodos de diseño para calcular el espesor de pavimentos de hormigón: el método de la Asociación de Cemento Portland (PCA) y el método de la Asociación Americana de la Organización de Transporte de Carreteras del Estado (AASHTO). En Estados Unidos en 1994, 35 agencias estaban utilizando el método AASHTO, y 5 el método PCA; los últimos 6 estaban utilizando su propio método de diseño. En Canadá, se usan ambos métodos.

#### **a) Método de Diseño PCA.**

Este método se basa en dos criterios específicos, uno relativo a la resistencia a la fatiga del hormigón y el otro a la erosión de la base. En el primer caso, se supone que la carga máxima se aplica en medio de la losa justo sobre la junta longitudinal que da la tensión máxima con la losa. En el segundo caso, se supone que la carga máxima se aplica en una esquina de la losa para generar deflexión máxima de la losa.

Cuando se usa este método de diseño, hay que conocer cuatro parámetros fundamentales:

- ✓ El módulo de ruptura del hormigón.
- ✓ El módulo de reacción de la fundación.

- ✓ El periodo de diseño.
- ✓ Las características del tráfico.

#### **b) Método de Diseño AASHTO.**

Este método se basa en el uso de una ecuación empírica desarrollada por la observación de algunos pavimentos de hormigón estudiados durante ensayos de AASHTO sobre carreteras. Los criterios de diseño son:

- ✓ El número de equivalentes cargas axiales de 80 KN,
- ✓ El espesor de la losa,
- ✓ El módulo de elasticidad del hormigón,
- ✓ El módulo de ruptura del hormigón,
- ✓ El módulo de reacción de la fundación,
- ✓ El coeficiente de transferencia de carga en las juntas
- ✓ El coeficiente de drenaje

#### **c) Comparación del Método PCA y AASHTO.**

Huang ha descubierto que en el caso de losas gruesas (espesor más de 200 mm), el método PCA está dando espesores de losa más delgados que el método AASHTO, pero que era a la inversa para losas delgadas (espesor menos de 200 mm). Puede decirse que básicamente las diferencias entre los dos métodos no son tan grandes.

#### **2.7.9. Juntas.**

La colocación de juntas en pavimentos rígidos es necesaria para el control de fisuración por contracción, cambios de temperatura y humedad. Es necesaria además para modular el pavimento con dimensiones prácticas que favorezcan al proceso constructivo. Por otra parte la presencia de juntas constituye una interrupción estructural necesaria en la losa de hormigón.

Un considerable porcentaje de deterioros en un pavimento de hormigón puede ser atribuido a fallas en las juntas. Algunos deterioros que pueden resultar de la falla de

una junta incluyen, desnivel, bombeo, desportilladuras, rotura de esquinas, exposición de agregados y fisuras en media losa. Características que contribuyen a un desempeño satisfactorio de juntas, tales como una adecuada transferencia de cargas y una adecuada consolidación del hormigón han sido identificadas a través de investigación y experiencias de campo. La incorporación de estas características en el diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de hormigón, deben resultar en juntas capaces de desempeñarse satisfactoriamente en la vida del pavimento.

En función al tipo de material de sello a usarse, se requerirá resellados periódicos para asegurar un desempeño satisfactorio a través de la vida útil del pavimento. También un desempeño satisfactorio depende de un diseño apropiado del pavimento, materiales de calidad en la construcción, y buenos procedimientos de construcción y mantenimiento.

El agrietamiento debido a la contracción del hormigón ocurre a muy temprana edad, como consecuencia de cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por la pérdida de agua por evaporación. Esta contracción no ocurre libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la subbase, lo que genera esfuerzos de tensión en el hormigón que provocan fisuración transversal en el pavimento.

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

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



Figura 2.9 Deformación de la losa durante el día, origen de la grieta por carga

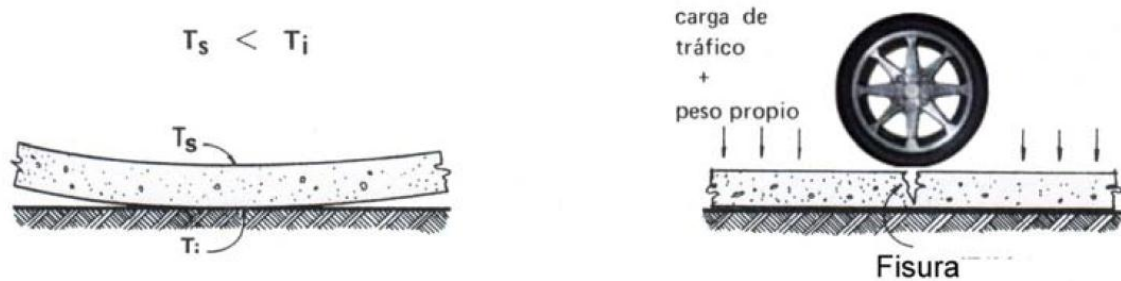


Figura 2.10 Deformación de la losa durante la noche, rotura de la losa por carga

En el diseño de juntas se debe tener en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de cargas deseada, así como permitir la colocación de un material desello que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales incompresibles que restrinjan el libre movimiento de las losas.

Para determinar un sistema de juntas apropiado, se debe considerar además, las condiciones ambientales y de clima, espesor de losa, tipo de subbase, tipo de berma o cordón y tráfico.

#### a.- Transferencia de Cargas.

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

transferencia de carga satisfactoria se puede recurrir a uno de los siguientes mecanismos:

- ✓ Trabazón mecánica de los agregados.
- ✓ Dispositivos de transferencia o barras pasajuntas de acero liso.

**Trabazón de agregados.** Se alcanza a través de la fricción entre las caras irregulares de la fisura que se forma en el aserrado. El clima y la dureza de los agregados tienen un gran impacto en la eficiencia de la transferencia. Esto puede ser incrementado usando agregados angulares y durables. La eficiencia de la trabazón de agregados disminuye rápidamente cuando se aumenta el ancho de la fisura y la frecuencia de aplicación de cargas pesadas, al punto de que el desempeño del pavimento puede ser afectado, por ello son recomendables sólo en pavimentos urbanos que llevan un reducido volumen de camiones.

**Barras pasajuntas.** Deben ser usadas en todas las rutas que llevan un volumen alto de camiones pesados. El propósito de las barras es el de transferir cargas a través de la junta, sin restringir movimientos producidos por la contracción y expansión del hormigón.

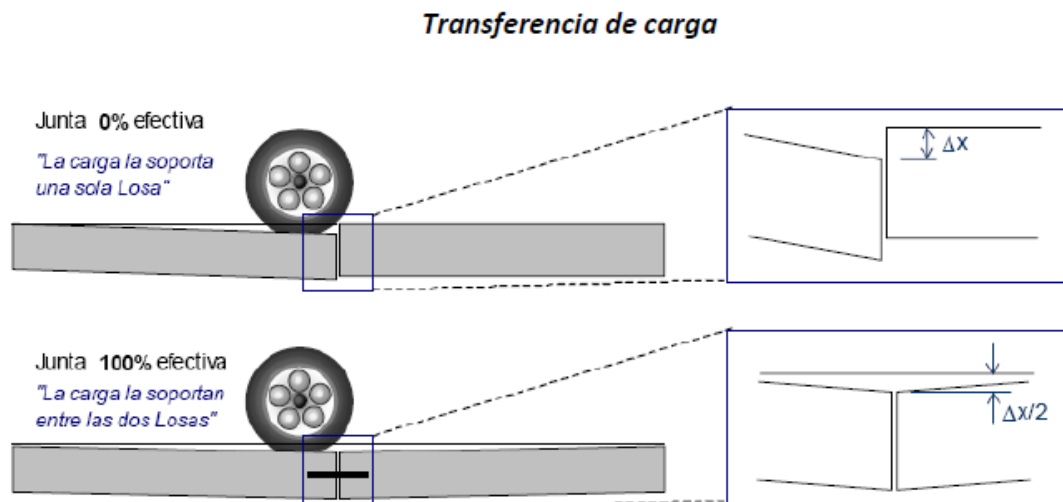


Figura 2.11

**b.- Barras de amarre y pasajuntas.****Barras de amarre**

En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Especificador del proyecto, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia ( $f_y$ ) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado (4,200 kg/cm<sup>2</sup>), debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto. Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento.

**Barras pasajuntas**

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el Supervisor del proyecto se colocarán barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto. Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ( $f_y=4,200$  kg/cm<sup>2</sup>), y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por el Especificador del proyecto. Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.

CANASTAS PASAJUNTAS EN JUNTAS TRANSVERSALES DE CONTRACCION

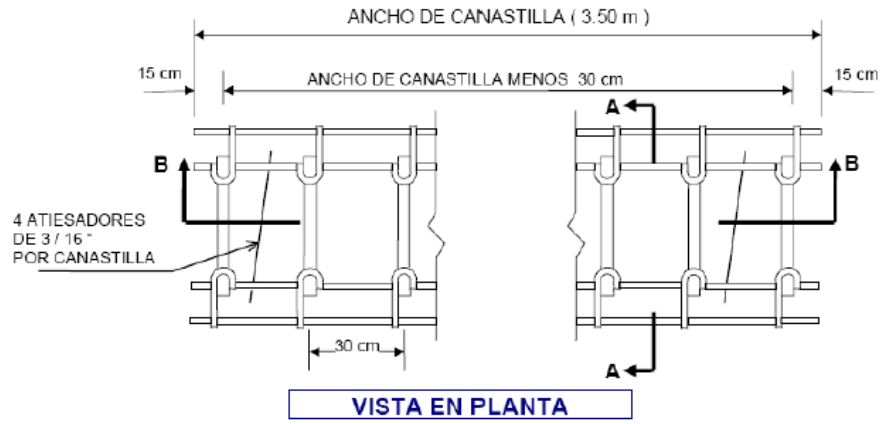


Figura 2.12

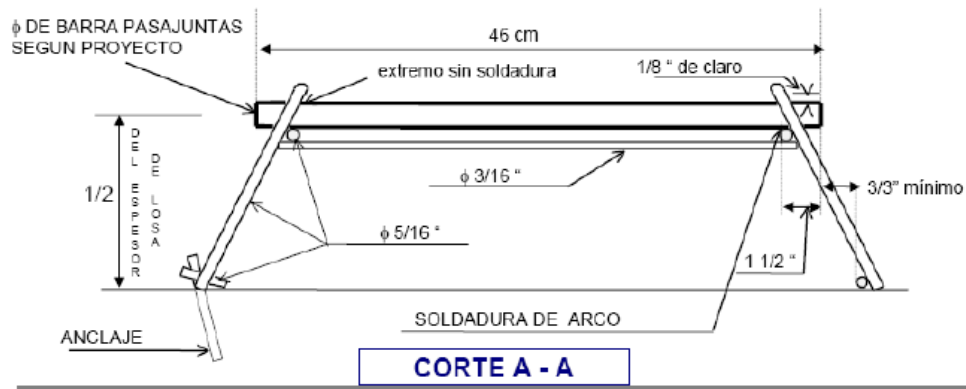


Figura 2.13

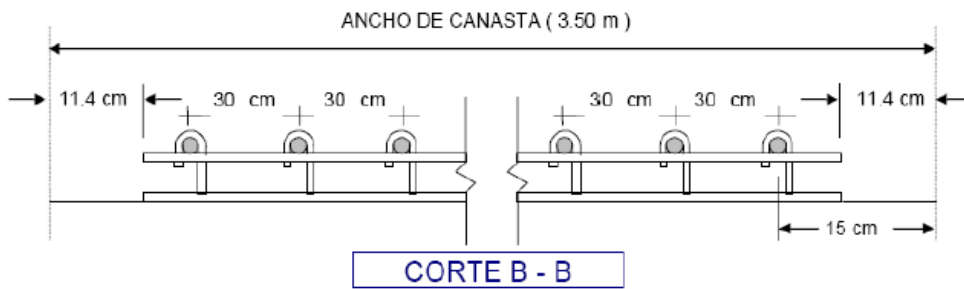


Figura 2.14

Espesor de Losa		Barras Pasajuntas					
		Diámetro		Longitud		Separación	
cm	in	mm	in	cm	in	cm	in
13 a 15	5 a 6	19	3/4	41	16	30	12
15 a 20	6 a 8	25	1	46	18	30	12
20 a 30	8 a 12	32	1 1/4	46	18	30	12
30 a 43	12 a 17	38	1 1/2	51	20	38	15
43 a 50	17 a 20	45	1 3/4	56	22	46	18

### c.- Sello de las juntas.

El propósito del sello de juntas es detener la entrada de agua y de los materiales incompresibles dentro de la junta. Es imposible mantener una junta aislada del agua. Sin embargo, el sello debe ser capaz de minimizar la cantidad de agua que entra por la junta, con lo cual se reducirán las fisuras causadas por la humedad. Los materiales incompresibles deben mantenerse fuera de la junta, ya que éstos impiden el desarrollo adecuado de la contracción y expansión del hormigón.

El tipo de sello tiene una gran influencia en el desempeño de la junta. Sellos de silicona o materiales preformados, son los más recomendados. Aunque estos son más caros, proveen el mejor desempeño y una mayor vida útil. En todo caso, se deben seguir las recomendaciones proporcionadas por el fabricante del producto.

Cuando se usan selladores de silicona, el mínimo factor de forma (relación entre la profundidad y el ancho) es de 1:2. Para mejores resultados, el mínimo ancho del sello debe ser 6 mm. Es necesario el uso de una tira de respaldo para proveer un adecuado factor de forma y prevenir que el sello penetre hasta la parte inferior del reservorio.

Cuando se usan sellos preformados, la junta debe ser diseñada de tal forma que el sello esté entre un 20 a 50 % comprimido todo el tiempo.

### d.- Recomendaciones constructivas para barras pasajuntas.

Cuando se usan canastillos para barras pasajuntas, estos deben ser revisados antes del colocado del hormigón para asegurar que las barras estén alineadas de una forma apropiada (horizontal y verticalmente). Se recomienda que el canastillo esté asegurado con clavos de acero introducidos apropiadamente en la base. Un mínimo

de 4 clavos por canastillo es recomendado. Las barras deben ser revestidas con una capa delgada de grasa u otra sustancia en toda su longitud para prevenir fricción entre barra y hormigón. La práctica tradicional de poner grasa sólo en la mitad de la barra frecuentemente ha dado problemas, causado por la insuficiente cantidad de grasa. La barra debe estar libre para deslizarse en el hormigón para que las losas se muevan independientemente. Se debe usar un revestimiento delgado, ya que uno más grueso puede resultar en vacíos en el hormigón alrededor de las barras. El colocado de barras debe ser cuidadosamente verificado después que se inicia el pavimentado. Las barras deben ser paralelas a la base, paralelas al eje y paralelas entre sí. En casos donde se coloque una faja de pavimento nuevo junto a uno antiguo para vaciado carril por carril, o en el caso de bermas, es importante que materiales incompresibles no entren en las juntas aserradas.

#### **e.- Tipos de juntas.**

En general, hay cuatro tipos de juntas para pavimentos de hormigón. Estos tipos y sus funciones son:

- ✓ Juntas transversales de contracción.
- ✓ Juntas transversales de construcción.
- ✓ Juntas longitudinales.
- ✓ Juntas de separación y expansión.

#### **Juntas transversales de contracción.**

Son juntas construidas transversalmente al eje central de la vía y espaciadas para controlar la fisuración transversal de la losa.

Se han realizado estudios que han demostrado que el espesor del pavimento, rigidez de la base y el clima afectan la máxima separación esperada entrejuntas transversales. Otras investigaciones que indican también que hay una relación general entre la longitud de la losa ( $L$ ) con el radio de rigidez relativa ( $\rho$ ) y la fisuración transversal. El radio de rigidez relativa es un término definido por Westergard que cuantifica la relación entre la rigidez de la fundación y la rigidez de la losa. El radio de rigidez

relativa tiene una dimensión lineal y es determinado por la siguiente ecuación:

$$\rho = \left[ \frac{Eh^3}{12k(1 - \mu^2)} \right]^{0.25}$$

Dónde:

$\rho$  = Radio de rigidez relativa (pulgadas)

E = módulo de elasticidad del hormigón (psi)

h = Espesor del pavimento (pulgadas)

$\mu$  = relación de Poisson del pavimento

k = módulo de reacción de la subrasante (pci)

Datos de estas investigaciones indican que hay un incremento en la fisuración transversal cuando el radio  $L/\rho$  excede 5.0. Usando el criterio de que el máximo radio  $L/\rho$  es de 5.0, el espacio de juntas disponible se incrementaría con el espesor de la losa, pero disminuiría con el incremento de las condiciones de soporte de la fundación.

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

Cuando se diseñan barras pasajuntas, AASHTO recomienda usar barras de diámetro igual o mayor a 1/8 del espesor de la losa. La longitud de estas barras varía entre 40 a 45 cm. Las pasajuntas se colocan a la mitad del espesor de la losa, con espaciamiento de 30 cm entre ejes de barra, colocándose la primera a 15 cm de la orilla de la losa. Estas varillas deben recubrirse con materiales que eviten su adherencia con el hormigón y que las protejan contra la corrosión. Se debe tener un especial cuidado con el alineamiento, pequeñas desviaciones entre los extremos de la barra ya sea en sentido vertical u horizontal respecto a su dirección teórica que debe ser paralela al eje del pavimento, pueden ocasionar agrietamientos.



Figura 2.15 Colocación del sello en una junta transversal.



Figura 2.16 Formación de la fisura de retracción por debajo de una junta transversal.

### **Juntas transversales de construcción.**

Son juntas construidas al final del día de trabajo u otra interrupción de colocado si se produce un lapso mayor a 60 minutos en clima cálido y 90 minutos en clima frío, este tiempo es medido desde la elaboración del hormigón hasta su puesta en obra y posterior acabado. Cuando es posible, estas juntas deben ser construidas coincidiendo con una junta de contracción, en el caso de que esto no sea posible, su ubicación deberá ser dentro el tercio medio de la longitud de la losa y siempre en forma

perpendicular a la línea central.

Estas juntas, al igual que las transversales de contracción, requieren pasajuntas lisas para proporcionar la transferencia de carga necesaria, siguiendo todas las recomendaciones ya mencionadas. Sólo en el caso de que la junta se localice en el tercio central de la losa y ya existan losas adyacentes se deberán colocar barras de acero corrugado, para evitar que esta junta se refleje en las losas adyacentes. Se recomienda que estas barras sean del mismo diámetro de las barras lisas.

Para la construcción de estas juntas, se debe usar un encofrado de cara plana, perforando espacios para alojar las barras pasajuntas.

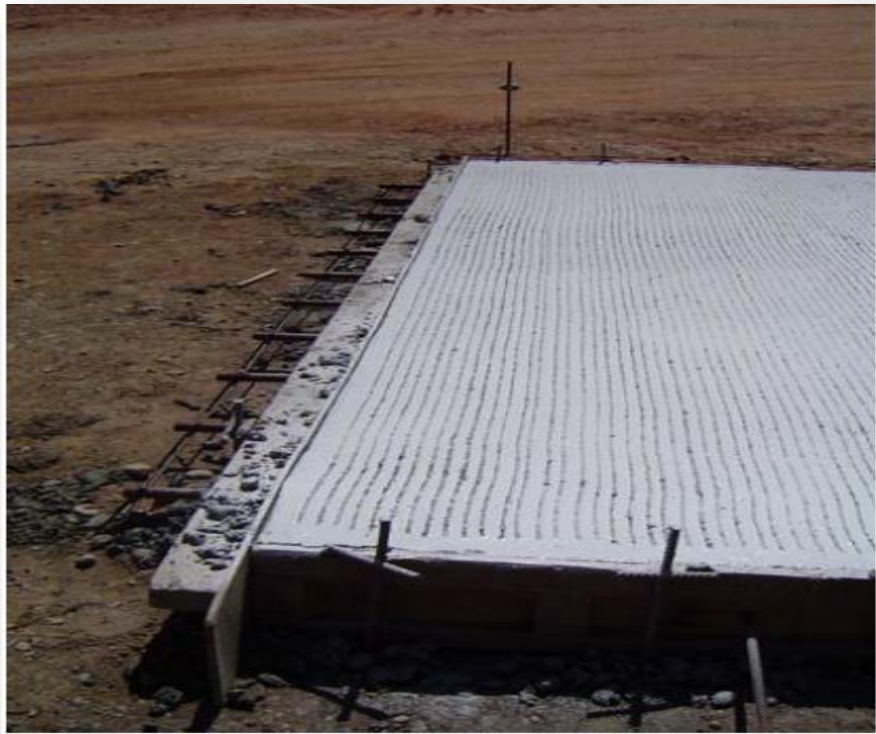


Figura 2.17 Junta transversal de construcción.

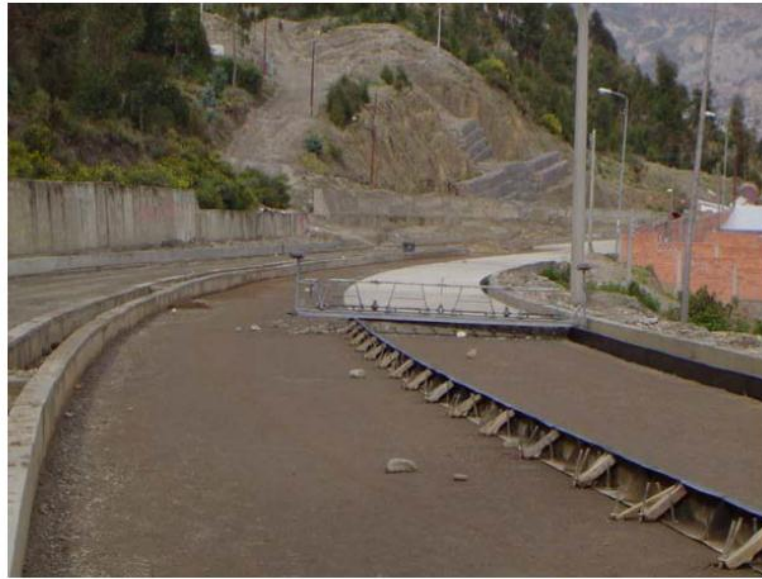


Figura 2.18 Junta transversal de construcción debida a fin de día de pavimentación. Los moldes indican la pavimentación por carriles.

### **Juntas longitudinales.**

Son aquellas que van paralelas al eje central de la vía, controlan la fisuración y en algunos casos delinean las líneas de tráfico.

Cuando se realiza el vaciado en una sola pasada de dos o más carriles, la transferencia de carga generalmente se produce por la trabazón mecánica de los agregados que se origina en la junta después del corte, sin embargo, se recomienda además el colocado de barras corrugadas, diseñadas en base a las recomendaciones de la Guía de Diseño AASHTO. Aunque el tiempo de corte no es tan crítico como en las juntas transversales, es conveniente efectuarlo tan pronto como sea posible especialmente cuando existen subbases estabilizadas u ocurren cambios de temperatura muy bruscos.

En el caso que se realice el vaciado por carriles y se tenga pensado el uso de barras de amarre, éstas deberán colocarse de forma manual en el caso de que no se tenga un insertador automático. Se deberá tener cuidado de no hacer coincidir estas barras con

las pasajuntas transversales para evitar golpes y desalineamientos.  
Es recomendado que las juntas longitudinales sean cortadas y selladas para evitar la infiltración de agua.



Figura 2.19 Junta longitudinal con barras de amarre esperando a las losas adyacentes.  
En el lado izquierdo se formará otra junta longitudinal



Figura 2.20 Junta longitudinal terminada, se puede observar el vaciado por carril, en este caso no se tienen barras de amarre debido al confinamiento que proporcionan los cordones.

### Juntas de separación y expansión.

Son construidas para permitir el movimiento de las losas sin dañar pavimentos adyacentes, intersección de calles, estructuras de drenaje, puentes y otras estructuras fijas.

Existen dos tipos de juntas de expansión, dependiendo su necesidad de empleo:

a) El primer tipo es la junta con barras lisas para transferencia de cargas, cada una de las cuales está provista en uno de sus extremos de un capuchón, que permite que las barras se muevan libremente por expansión y contracción, tal como se muestra en la figura 2.21. Debido a que estas juntas tienen una separación de 2 cm o más, requieren la presencia de un material de relleno preformado, constituido por un material flexible, no extruible y no absorbente, cubriendo todo el ancho y espesor de la losa, por debajo de 2.5 cm debajo de la superficie, finalmente se colocará el sello que deberá ser compatible con el relleno preformado.

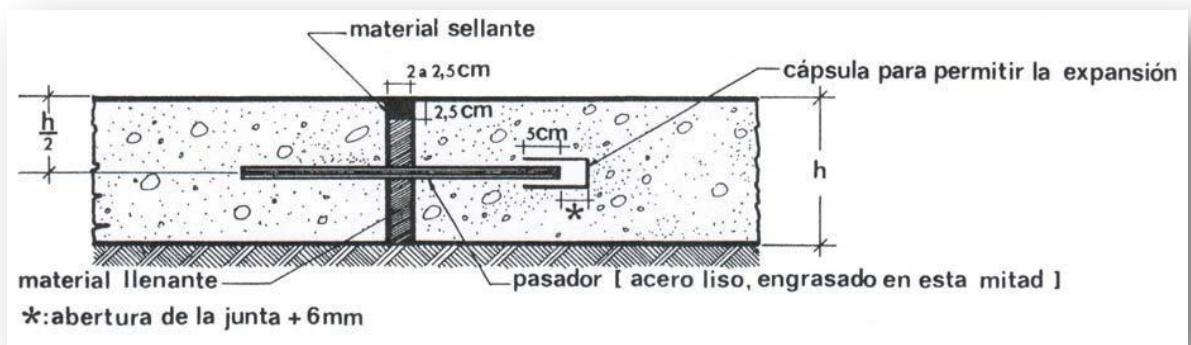


Figura 2.21 Junta de expansión Tipo 1

b) El otro tipo de junta de expansión es aquella que no tiene dispositivos de transferencia de cargas, el espesor de la losa se incrementa gradualmente en un 25 % en el último metro y medio, para reducir los esfuerzos en la junta como se muestra en la figura 2.22. En lo que respecta al sello, se siguen las mismas recomendaciones

descritas para el primer tipo de junta de expansión. Generalmente este tipo de juntas se construye cuando se tiene una estructura fija rígida tal como un puente en el que no se ha previsto el colocados de barras pasajuntas con anterioridad.

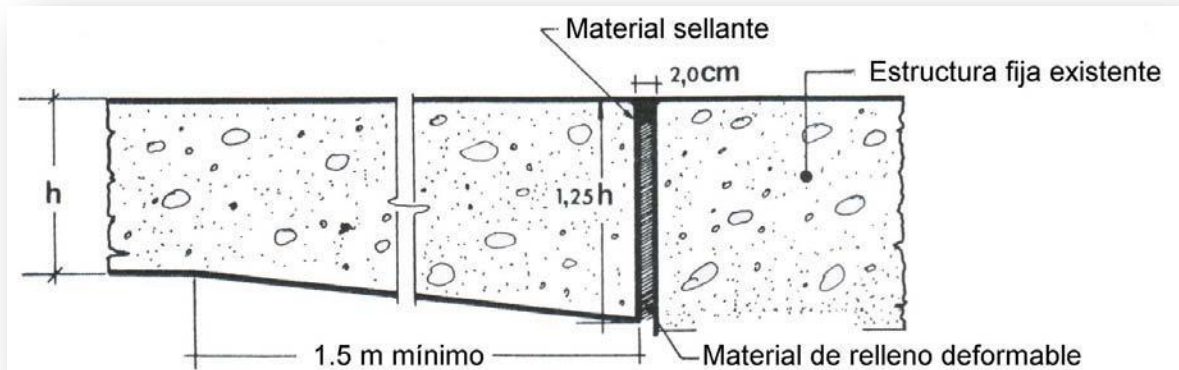


Figura 2.22 Junta de expansión Tipo 2

## CAPÍTULO III

### PROGRAMAS DIPAV Y BS PCA EN DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

#### **3.1. Programa de diseño de pavimentos y sobre carpetas –DIPAV 2.0.**

##### **3.1.1. Introducción al DIPAV 2.0.**

La Guía de Diseño de Pavimentos AASHTO-93 tanto en el diseño de pavimentos rígidos y flexibles nuevos así como en diseño de sobrecarpetas en pavimentos existentes es todavía la técnica más usada para establecer tipos y espesores de capas de pavimentos de carreteras y vías urbanas. Si bien actualmente se están introduciendo métodos mecanicistas, éstos requieren una importante cantidad de información difícil de obtener, además de la necesaria calibración, que demandará todavía varios años para poder ser implementada.

El programa DIPAV 2.0, desarrollado por el IBCH ha sido mejorado y ampliado para contemplar además del diseño de pavimentos nuevos tanto rígidos como flexibles, el diseño de sobrecarpetas en pavimentos existentes.

El programa contiene las ecuaciones para el cálculo de Ejes Equivalentes, facilitando su cálculo sin necesidad de tablas, también es posible calcular los módulos resilientes y de reacción de la subrasante estacionales.

En la alternativa de pavimento rígido, se consideran el cálculo de espesor de losa, diseño de barras de amarre y reservorio de juntas. En la alternativa de pavimento flexible, el programa calcula el número estructural, con verificación por capas y también permite especificar espesores. En ambos casos se tiene la opción de generar gráficos de sensibilidad a todas las variables de diseño en función al espesor de losa o número estructural del asfalto.

En esta nueva versión, para el diseño de sobrecarpetas es posible utilizar datos del deflectómetro de impacto para conocer las propiedades del suelo y de las distintas capas constitutivas de un pavimento existente, con la finalidad de diseñar los diferentes tipos de sobrecarpetas que se presentan a continuación:

- ✓ Concreto Asfáltico sobre Concreto Asfáltico.
- ✓ Concreto Asfáltico sobre Pavimento de Hormigón Previamente Fracturado.

- ✓ Concreto Asfáltico sobre Pavimento de Hormigón.
- ✓ Concreto Asfáltico sobre Pavimento Asfalto/Hormigón.
- ✓ Pavimento de Hormigón adherido a Pavimento de Hormigón.
- ✓ Pavimento de Hormigón no adherido a Pavimento de Hormigón.
- ✓ Pavimento de Hormigón sobre Concreto Asfáltico.

### **3.1.2. Alcance de difusión.**

El alcance de difusión es como se pretende que el programa será promocionado para su adquisición dentro y fuera del país.

- ✓ El IBCH difundirá mediante un curso Diseño de Pavimentos, donde se incluye este programa.
- ✓ Además de esto, DIPAV, puede ser adquirido en las oficinas del IBCH.

Existen dos versiones:

- ✓ “Versión limitada” en el número de instalaciones y en su fecha de expiración.
- ✓ “Versión ilimitada” la cual cuenta con una llave física de seguridad.

### **3.1.3. Lo nuevo de DIPAV 2.0.**

Desde su creación en 2005, DIPAV ha evolucionado para brindar mayores prestaciones y facilitar su uso, manteniéndose a la par con la evolución tecnológica de las computadoras personales y los sistemas operativos.

DIPAV 2.0 es la versión más reciente de DIPAV e incorpora varios avances significativos en programación y capacidades relacionadas. En cierta manera, todo en DIPAV 2.0 es nuevo. Desde el punto de vista del programa, la forma en que se utiliza, hasta sus características y capacidades. Casi todas las características del programa han sido mejoradas y tanto los usuarios que recién se inician en el uso de DIPAV así como aquellos que están familiarizados con la versión anterior de DIPAV encontrarán en ésta nueva versión una manera más fácil e intuitiva de interactuar con el programa. Cabe recomendar a aquellos usuarios que no tengan sólidos conceptos en diseño y rehabilitación de pavimentos, revisar el Manual de diseño de sobrecarpetas, documento incluido en el CD de instalación, que contiene toda la

información teórica necesaria.

DIPAV 2.0 al igual que su antecesor se basa en los conceptos de la Guía de diseño AASHTO versión 1993 por lo que la parte de cálculos y ecuaciones del programa son las mismas que las utilizadas en la versión anterior de DIPAV. El nuevo módulo de cálculo de sobrecarpetas se basa en los métodos y ecuaciones desarrollados en la Guía “AASHTO Pavement Overlay Desing”.

### Interfaz mejorada.

En ésta nueva versión la interfaz de usuario ha sido renovada y mejorada para brindar al usuario, mayor facilidad para interactuar con el programa y mantener ordenada la información. Se ha creado una única ventana principal del programa, que alberga cada nuevo proyecto de diseño en una nueva pestaña, permitiendo crear, abrir y/o editar infinidad de proyectos (pestañas) sin que esto influya en el desempeño del programa ni en el rendimiento del ordenador. DIPAV 2.0 gracias a su nueva interfaz optimiza el uso de recursos del ordenador, creando una única instancia del programa con pestañas que reutilizan y comparten recursivamente funciones, formularios y componentes. Logrando así un DIPAV más rápido y eficiente.

The screenshot displays 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 a "Cerrar" button. The main window has a tabbed interface with tabs for "Pav...Rígido", "CAP 4 PROB 2", "CA SOBRE PAV RIGIDO", "Pav...Flexible", and "CA S/PAV HOR FR". The active tab is "Rígido", which has sub-tabs for "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amare", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The main area contains a form with the following fields and values:

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 <sub>s</sub> )(MPa) - (psi)	26,000	MPa ==> 3,770,981.18 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (I)	2.8	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	65.64	kPa/mm ==> 241.98 pci
Confianabilidad (R <sub>f</sub> )(%)	85	
Desviación Estándar (So)	0.39	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	27,124,176	Calcular ESALs
Espesor de Losa (mm)	265	

At the bottom left, there are radio buttons for "Espesor" (selected) and "ESALs", along with "Calcular" and "Borrar todo" buttons.

Figura 3.1.- Interfaz DIPAV 2.0

**Agrupado de proyectos.**

Si bien ya en DIPAV 1 se permitía guardar un diseño individual o varios diseños como un solo proyecto, en ésta nueva versión se ha creado una extensión y una manera de guardado de archivos diferente para cada tipo de proyecto de diseño. En esta nueva versión un diseño individual, es decir un diseño que contiene un solo tipo de diseño, sea éste pavimento rígido, flexible o sobrecarpeta, es guardado como “*Proyecto*” y lleva la extensión “.dpv”. Un proyecto que contiene varios diseños sean estos pavimentos rígidos, flexibles o sobrecarpetas puede ser guardado como “Grupo de *Proyectos*” y lleva la extensión “.dpvp”.

Esto permite al usuario diferenciar entre un archivo que contiene varios diseños (**Grupo de Proyectos**) y aquel que contiene un solo diseño (**Proyecto**), esto con el fin de facilitar la organización de la información de los distintos Proyectos en un solo documento de DIPAV 2.0. Permitiendo añadir **Proyectos** simples (que contienen un solo tipo de diseño), a un nuevo **Grupo de Proyectos**, disminuyendo así los tiempos de diseño.

**Duplicado de diseño.**

La nueva versión de DIPAV incluye la función de duplicado de Proyecto que le permite al usuario hacer una copia exacta del *Archivo de Diseño* que tenga abierto y activo al momento de hacer clic sobre el botón **Duplicar**. Esto con el fin de modificar o crear un diseño nuevo sin tener por ello que cerrar o guardar con otro nombre el diseño que se tiene abierto. Pudiendo así realizar modificaciones que permitan comparar resultados y variaciones en el diseño proyectado.

**Unidades métricas e inglesas.**

Si bien la versión anterior de DIPAV permitía la introducción de datos en unidades métricas así como inglesas, DIPAV 2.0 va más allá no solo permitiendo el uso de cualquiera de los sistemas de unidades, sino que además ahora DIPAV 2.0 convierte automáticamente las unidades de un sistema a otro permitiendo así visualizar los resultados en ambas unidades.

### **Cálculo de ESALs que pueden ser resistidos dado un determinado espesor/número estructural.**

DIPAV 2.0 incluye ahora la posibilidad de calcular la cantidad de ESALS que soportará un determinado pavimento dado el espesor de losa para pavimentos rígidos o el número estructural para pavimentos flexibles. La forma de realizar éste cálculo utilizando DIPAV 2.0 es la misma que se utiliza para el cálculo del espesor de losa o el número estructural.

### **Diseño de sobrecarpetas.**

DIPAV 2.0 incluye el módulo de Diseño de Sobrecarpetas, con siete casos diferentes de sobrecarpetas para la rehabilitación de pavimentos deteriorados.

Si bien el módulo de diseño de sobrecarpetas es nuevo en DIPAV, se ha cuidado de mantener en éste la misma lógica de funcionamiento y usabilidad de los módulos de diseño de pavimentos nuevos, a fin de que la forma en que el usuario interactúa con el programa no sea diferente de la que se utiliza en los otros módulos del mismo.

El módulo de Diseño de Sobrecarpetas, permite además importar datos capturados in situ con el Deflectómetro de impacto, para luego a través del retrocálculo obtener el Módulo Resiliente, el Módulo Efectivo, la Deflexión de Transferencia de Carga, el Módulo de Ruptura o el Valor de K Dinámico según el caso a diseñar.

#### **3.1.4. Soporte DIPAV 2.0**

IBCH – DIPAV 2.0 está diseñado para ser intuitivo y fácil de usar. Los usuarios experimentados podrán rápidamente acostumbrarse al uso del programa, sin embargo, aparte del presente manual, las siguientes fuentes están disponibles para ayudar a contestar cualquier pregunta acerca del programa “DIPAV 2.0”.

#### **Ayuda DIPAV 2.0**

La ayuda en línea se encuentra disponible en cualquier momento mientras se usa DIPAV 2.0. Para acceder a la misma, busque el menú de *Ayuda* y seleccione *Manual*

*del Usuario*. La misma operación puede realizarse mediante el botón *Ayuda* , que se encuentra en la barra de herramientas, o presionando la tecla rápida *F1*.

### **Asistencia IBCH – DIPAV 2.0**

DIPAV 2.0 fue desarrollado por el Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, entidad sin fines de lucro dedicada al estudio del óptimo uso y aplicaciones del cemento y el hormigón, y por tanto proporciona servicios de apoyo y mantenimiento del programa DIPAV 2.0 a todos los usuarios registrados.

Para mayor asistencia sobre el programa DIPAV 2.0, contacte al IBCH al teléfono/Fax (+591) 2 2788024. Por favor tenga su número de registro DIPAV 2.0 (que se encuentra impreso en el CD) preparado cuando llame.

Adicionalmente, una dirección de correo electrónico ha sido establecida para permitir a los usuarios la oportunidad de realizar preguntas acerca de DIPAV 2.0 usando Internet. La dirección de correo electrónico es: [\*\*dipav@ibch.com\*\*](mailto:dipav@ibch.com)

Actualmente el Soporte para DIPAV 1 ya no se encuentra vigente, por lo que solo podrá solicitar ayuda y soporte técnico para DIPAV 2.0.

### **3.1.5. Características generales del programa.**

#### **3.1.5.1. Menús de DIPAV 2.0.**

A continuación, se presentan las características de los menús accesibles a través de la Barra de Menús.

Una vez abierto DIPAV 2.0, los menús presentados en la parte superior de la pantalla son: “*Archivo*”; “*Herramientas*”, “*Proyecto*” y “*Ayuda*”. El primero “*Archivo*”, contiene todas las funciones inherentes al manejo de documentos, recuperación; guardado; impresión y cierre del programa. El Menú “*Herramientas*” permite hacer modificaciones en la configuración regional del ordenador. El Menú “*Proyecto*” permite ingresar datos generales de un proyecto o duplicar información de un archivo de diseño cuantas veces se desee. Finalmente el menú “*Ayuda*” contiene un acceso para desplegar ayuda en línea y también información adicional sobre el

desarrollo del programa. La pantalla inicial de DIPAV 2.0, se muestra a continuación:

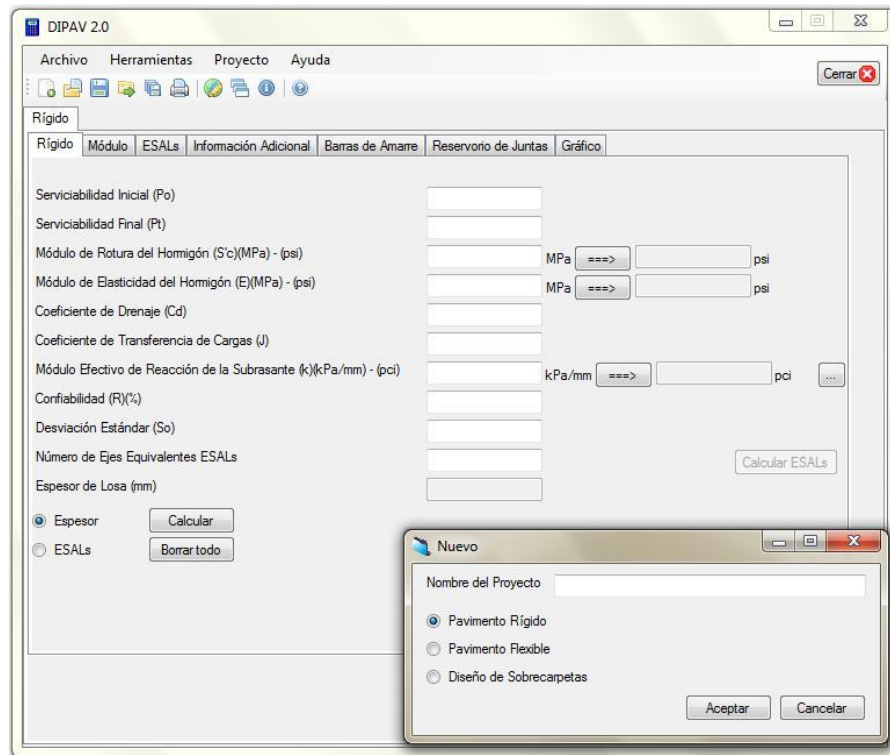
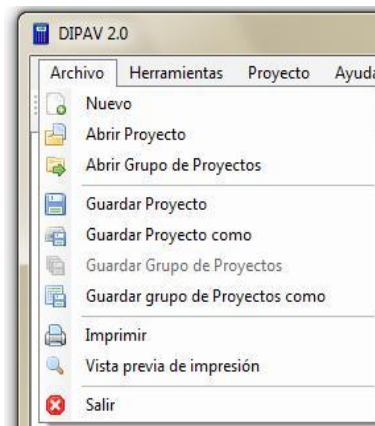


Figura 3.2. – Pantalla inicial DIPAV 2.0

### a.- Menú “Archivo”

Controla las actividades relacionadas con la administración de archivos, contiene los siguientes sub-menús: *Nuevo*; *Abrir*; *Abrir Grupo de Proyectos*; *Guardar*; *Guardar Como*; *Guardar todos los Proyectos*; *Imprimir*; *Vista previa de Impresión* y *Salir*.



### “Nuevo”; Creación de un nuevo Proyecto

Cuando se inicia el programa, se presenta una pantalla en blanco. Para poder crear un archivo nuevo, se debe presionar el sub-menú: **Archivo – Nuevo**. Esto despliega un cuadro de diálogo que le permite elegir el tipo de diseño que desea hacer, ya sea rígido, flexible o uno de los siete casos de diseño de sobrecarpetas, escribir un nombre de hasta 26 caracteres para el nuevo proyecto, (éste nombre aparecerá como título de la nueva pestaña de diseño) y finalmente hacer clic en el botón aceptar para crear un nuevo diseño. Si se desea crear dos o más archivos de diseño, solo bastará con presionar el sub-menú: **Archivo –Nuevo**, elegir el tipo de diseño en el cuadro de diálogo **Nuevo**, digitar el nombre para el nuevo archivo y hacer clic en aceptar. DIPAV 2.0 creará una nueva pestaña al lado derecho de la última pestaña creada, y desplegará en ésta la información para el nuevo archivo de diseño.

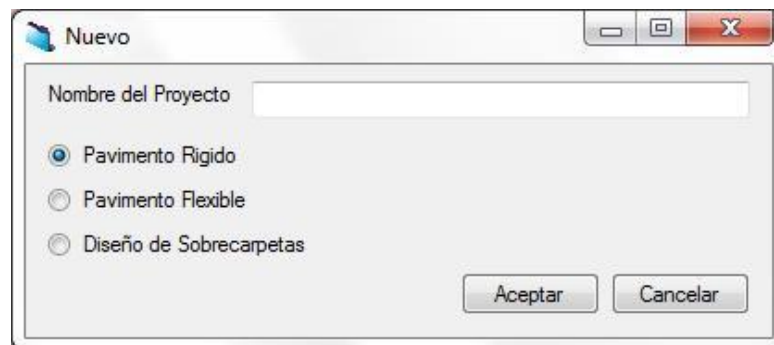


Figura 3.3. – Cuadro de diálogo DIPAV 2.0 Nuevo


### “Abrir Proyecto”; Apertura de una nueva pestaña con un diseño existente.

Cuando ha creado y almacenado en disco un archivo de diseño, para desplegarlo en pantalla se requiere seleccionar, desde el menú **Archivo** la opción **Abrir diseño**, se mostrará el cuadro de diálogo Abrir de Windows, mediante el cual se puede acceder a distintos directorios. Se mostrarán todos los archivos que están ubicados en el directorio por defecto que tengan la extensión “**.dpv**” que es específica para archivos generados por DIPAV. Para evitar errores, no es posible ver otras extensiones ni tampoco importar datos de otros programas.

Si se desea acceder a un directorio diferente, como en cualquier programa de ambiente Windows, se puede presionar la flecha descendente en la parte superior del cuadro de diálogo al lado de la lista de directorios.

Al abrir un archivo *dpv*, se despliega en pantalla la información correspondiente a un único tipo de diseño, sea éste rígido, flexible ó sobrecarpetas, guardado con anterioridad.

Si el archivo **dpv** que se desea abrir, es un Proyecto creado con DIPAV 1, se abrirá en DIPAV 2.0 una pestaña nueva por cada tipo de diseño que haya contenido dicho archivo de Proyectos, posteriormente se deberá guardar cada pestaña, individualmente como *Proyecto* o guardar el grupo de pestañas como *Grupo de Proyectos (.dpvp)*.

Hay que tener en cuenta que al abrir con DIPAV 2.0 un archivo de DIPAV 1, se abren por defecto dos pestañas, una correspondiente a Pavimento Rígido y Otra a Flexible aún si el Proyecto solo incluye el diseño de un solo tipo de pavimento. Si alguno de estos diseños no fue utilizado en el archivo de origen, aparece en blanco, y genera una serie de alertas sobre la falta de introducción de parámetros, por lo que se debe aceptar todas las ventanas y posteriormente descartar el archivo que no se empleó por medio del botón *Cerrar Pestaña Activa* .


**“Abrir Grupo de Proyectos”; Apertura de varias pestañas cada una con un diseño diferente correspondientes al Proyecto abierto.**

Cuando ha creado y almacenado en disco un Grupo de Proyectos, para desplegarlo en pantalla se requiere seleccionar, desde el menú *Archivo* la opción *Abrir Grupo de Proyectos*, se mostrará el cuadro de diálogo Abrir de Windows, mediante el cual se puede acceder a distintos directorios. Se mostrarán todos los archivos que están ubicados en el directorio por defecto que tengan la extensión “**.dpvp**” que es específica para archivos de Proyectos generados por DIPAV 2.0. Para evitar errores, no es posible ver otras extensiones ni tampoco importar datos de otros programas.

Si se desea acceder a un directorio diferente, como en cualquier programa de ambiente Windows, se puede presionar la flecha descendente en la parte superior del

cuadro de diálogo a lado de la lista de directorios.

Puesto que ésta funcionalidad es nueva, no existen Archivos de tipo **dpvp** en DIPAV 1.

Si desea cerrar un grupo de proyectos previamente abierto, bastará con hacer clic en el botón **Cerrar Pestaña Activa** , y elegir la opción que desee. Al detectar que se encuentran abiertas 2 ó más pestañas, DIPAV 2.0 despliega el cuadro de diálogo **Tipo de Guardado** que le permite elegir:

- ✓ Si desea guardar la pestaña actual como Proyecto
- ✓ Si desea guardar todas las pestañas abiertas como Grupo de Proyectos
- ✓ Si desea Cerrar el grupo de proyectos sin guardar los cambios realizados ó
- ✓ Si desea Cerrar la pestaña activa sin guardar los cambios realizados




Figura 3.4. – Cuadro de diálogo DIPAV 2.0 Tipo de Guardado

#### **“Guardar”; Almacenamiento de un Proyecto.**

Como en cualquier programa, el guardado frecuente del trabajo es la mejor forma de minimizar la frustración y el esfuerzo desperdiciado cuando ocurre una falla de sistema operativo o de computador. A pesar de que DIPAV 2.0 tiene formas para prevenir la salida del programa sin guardar el trabajo, **NO EXISTE FORMA DE RESTAURARLO** después de una falla del sistema si éste no ha sido previamente guardado.

En este sentido, al presionar el sub-menú **Archivo – Guardar**, los datos

introducidos hasta el momento así como los resultados obtenidos en los cálculos, son almacenados en disco duro o unidad de disco seleccionado. Si el Proyecto ya tiene un nombre, éste se mantendrá modificando la información interna previamente almacenada. Si se trata de un Proyecto nuevo, el programa abrirá un cuadro de diálogo para que pueda escribir el nombre del proyecto antes de guardarlo. Si existen varias pestañas abiertas con diferentes diseños, al presionar el sub-menú **Archivo – Guardar**, DIPAV 2.0 despliega un cuadro de diálogo preguntando si desea guardar el proyecto activo solamente, o si desea guardar todos los proyectos abiertos como un solo archivo (Grupo de Proyectos).

Los mismos resultados se obtienen al hacer clic en el botón de guardado  en la barra de herramientas.

#### **“Guardar Como”; Almacenamiento con otro nombre.**

Si se tiene un archivo previamente guardado y se desea guardar las modificaciones con otro nombre para no alterar los datos almacenados en disco, o si se desea utilizar un proyecto anterior como plantilla para elaborar un proyecto nuevo, puede utilizarse el sub-menú **Guardar Como**, el mismo que permite almacenar la información del diseño bajo un nombre diferente, manteniendo intactos los datos originales que precedieron a la última operación de guardado.

#### **“Guardar Grupo de Proyectos”; Almacenamiento de un Grupo de Proyectos.**

Cuando se tiene varios Archivos de diseños abiertos y se desea guardarlos todos juntos como un solo archivo, se debe presionar el sub-menú **Archivo – Guardar grupo de Proyectos**, los datos introducidos en cada pestaña abierta hasta el momento así como los resultados obtenidos en los cálculos, son almacenados en disco duro o unidad de disco seleccionado como un solo archivo de proyecto (**dpvp**). Si el grupo de proyectos ya tiene un nombre, éste se mantendrá modificando la información interna previamente almacenada. Si se trata de un grupo de Proyectos nuevo, el programa abrirá un cuadro de diálogo para que pueda escribir el nombre del archivo antes de guardarlo.

**“Guardar Grupo de Proyectos Como”; Almacenamiento con otro nombre.**

Si se tiene un Grupo de Proyectos previamente guardado y se desea guardar las modificaciones con otro nombre para no alterar los datos almacenados en disco, o si se desea utilizar un Grupo de Proyectos anterior como plantilla para elaborar un proyecto nuevo, puede utilizarse el sub-menú *Guardar Grupo de Proyectos Como*, el mismo que permite almacenar la información del grupo bajo un nombre diferente, manteniendo intactos los datos originales que precedieron a la última operación de guardado.

**“Vista previa de impresión”; Impresión en pantalla de datos, resultados y tablas.**

La selección del sub-menú *Archivo – Vista previa de impresión* despliega en pantalla toda la información del archivo de diseño activo tal cual se imprimirá, al cerrar la ventana de vista previa, se abre una nueva si existen tablas por imprimir.

**“Imprimir”; Impresión de datos, resultados y exportación.**

La selección del sub-menú *Archivo – Imprimir*, imprime toda la información del archivo de diseño activo.

**Salir de DIPAV 2.0**

Para concluir una sesión de uso del programa, puede seleccionarse el sub-menú *“Archivo – Salir”*. Alternativamente, se puede cerrar la ventana presionando el botón de cerrado de ventana de Windows en la parte superior derecha de la ventana. Si existen 2 ó más proyectos abiertos que han sido editados pero no guardados; DIPAV 2.0 preguntará si desea Guardarlos como Proyecto, Como Grupo de Proyectos o salir sin guardar los últimos cambios realizados. Si solo existe un único proyecto abierto, DIPAV 2.0 preguntará si desea guardar los cambios o no. Al seleccionar *no*, se cerrará el programa sin guardar cambios y al seleccionar *Cancelar* volverá al programa sin salir.

## **b.- Menú “Herramientas”**

Esté menú contiene dos sub-menús: *Configuración regional* e *Información llave de Funcionamiento*.

### **Configuración Regional.**

Es de suma importancia que antes de empezar a utilizar DIPAV 2.0 por primera vez, se configure el punto “.” como separación decimal y la coma “,” como separador de miles utilizando para esto el sub menú *Configuración regional* y haciendo clic en el botón “*Configuración Adicional*” El sub-menú *Configuración regional*, abre la configuración regional del sistema operativo que tenga instalado en su ordenador. La ventana de *Configuración regional* puede variar de acuerdo a la versión de sistema operativo (Windows Xp, Vista, 7, etc.) que tenga instalado en su ordenador.

### **Información llave de Funcionamiento.**

Este sub- menú despliega información sobre la persona a la cual ha sido otorgada la llave de uso de DIPAV 2.0. Este sub-menú no se encuentra presente en la versión de DIPAV 2.0 que usa la llave física USB.

## **c.- Menú “Proyecto”.**


Esté menú contiene tres sub-menús: *Duplicar*, *Exportar Proyecto* y *Datos Generales*.

### **Duplicar.**

La función *Duplicar* permite duplicar el diseño activo al momento de hacer clic en el sub-menú, con el objetivo de tener dos diseños abiertos exactamente iguales. Esto permite mantener un diseño sin cambios y crear uno nuevo a partir de éste para poder hacer cambios en el mismo y así analizar como impactan en el diseño el cambio de diferentes variables. Pudiendo guardar posteriormente estos diseños individualmente o como proyecto.

Al hacer clic en el sub-menú *Duplicar*, se abre el cuadro de dialogo *Datos Generales*

que nos permite introducir datos generales como ser el nombre y dirección de la empresa o la entidad contratante y también datos específicos del diseño, el nombre, las progresivas, el CBR de diseño y cualquier otra información que el usuario considere importante para que aparezca en el reporte impreso. Éste cuadro de dialogo puede ser llamado también desde el Menú *Proyecto*, haciendo clic en el sub-menú *Datos Generales*.

También se puede llamar a la función *Duplicar* haciendo clic en el botón *Duplicar*  en la barra de herramientas.

### **Exportar Proyecto.**

DIPAV 2.0 al igual que su predecesor permite exportar los datos y resultados de un Proyecto a un archivo de Ms Word.










Para realizar este procedimiento simplemente debe tener activa la pestaña del proyecto que desea exportar y hacer clic en el Menú *Proyecto* y seleccionar *Exportar Proyecto*. Se abrirá un cuadro de diálogo que le mostrará una vista previa de los datos a ser exportados y un botón *Exportar* para exportar a MS Word el Proyecto activo.

### **d.- Menú “Ayuda”.**

El menú de ayuda permite desplegar la ayuda en línea (contenido del presente manual) y también obtener información adicional acerca de DIPAV 2.0, incluyendo la versión del programa.

### **3.1.5.2. Barra de herramientas.**

A fin de facilitar el trabajo en DIPAV 2.0, acelerando el acceso a las principales funciones, el programa cuenta además con una *Barra de Herramientas* que se encuentra directamente debajo del menú, la misma que provee atajos para los sub-menús más utilizados. Presionar en el botón de la barra de herramientas tiene el mismo efecto que realizar la selección en el sub-menú correspondiente. La siguiente tabla muestra los botones de la barra de herramientas y la instrucción equivalente:

	<b>Nuevo</b>
	<b>Abrir Proyecto</b>
	<b>Guardar Proyecto</b>
	<b>Abrir Grupo de Proyectos</b>
	<b>Guardar Grupo de Proyectos</b>
	<b>Configuración Regional</b>
	<b>Imprimir</b>
	<b>Duplicar</b>
	<b>Datos Generales</b>
	<b>Ayuda en Línea</b>
	<b>Cerrar Pestaña Activa</b>

Un método muy sencillo para encontrar la función de un botón de la barra de herramientas, consiste en descansar el apuntador en uno de los botones de la barra de herramientas por unos segundos. Aparecerá un cuadro que indica la función del botón cerca del apuntador.

### **3.1.6. Diseño de pavimentos rígidos.**

#### **Conceptos sobre el método AASHTO.**

Los métodos de diseño de pavimentos pueden ser clasificados como: *Mecánicos* cuando están basados en la mecánica del comportamiento de los materiales, especialmente bajo modelos de elementos finitos y módulos elásticos para la determinación de tensiones y deformaciones o *Empíricos* que se basan en el desempeño de pavimentos de acuerdo a mediciones y relaciones entre la incidencia

de las cargas, factores climatológicos e indicadores de comportamiento de los pavimentos.

Los modelos empíricos se empezaron a utilizar en los años 20, a través de la implementación de “tramos de prueba”, en los cuales se controlaba el comportamiento de distintos pavimentos sometidos a diferentes cargas, siendo el ensayo más completo el “AASHO (American Association of State Highway Officials) Road Test”.

### **AASHO Road Test**

Este ensayo se realizó en Ottawa, Illinois entre 1956 a 1960. Su principal propósito fue la determinación de relaciones entre las cargas por eje y el desempeño de los pavimentos rígidos y flexibles, considerando distintas capas base; espesores; bermas, etc.

El ensayo se desarrolló en seis circuitos, el primero de ellos para mediciones de efectos ambientales, no llevaba tráfico, el segundo llevaba sólo tráfico liviano y los otros 4, de mayor longitud contaban con dos sectores rectos uno con pavimento rígido y el otro con pavimento flexible, los que disponían de varias secciones de ensayo. Los sectores rectos denominados “Tangentes”, estaban conectados mediante dos curvas en las cuales no se realizaban mediciones.

Las tangentes contaban con 2,070 m. Las tangentes *sur* y las curvas de conexión *este* eran de pavimento rígido y las secciones *norte-oeste* eran de pavimento flexible. Las secciones de pavimento rígido cambiaban cada 36.5 m y las de flexible cada 30 m, por lo que el ensayo contó en total con 368 secciones diferentes de pavimento rígido y 468 de pavimento flexible.

Durante el tiempo que duró el ensayo, se midieron todas las variables que de una u otra manera podrían afectar al desempeño de pavimentos, además de procurar la obtención de correlaciones con equipos que medían los más diversos indicadores del desempeño. Esto generó una enorme cantidad de datos, utilizados por ingenieros y expertos en estadísticas para desarrollar una serie de ecuaciones para predecir el desempeño de pavimentos.

Las primeras ecuaciones fueron puestas en consideración de los usuarios en 1962, revisadas y actualizadas en 1972. En 1981 se realizaron algunas correcciones, y en 1986 se efectuó una revisión extensiva que incluyó una cantidad de cambios, introduciendo además varios conceptos nuevos como el *Nivel de Confianza*, el análisis de costo del ciclo de vida, y la administración de pavimentos, además de un procedimiento para sobrecarpetas, que fue modificado en la Guía de 1993.

Si bien existen diferentes tipos de pavimentos rígidos, que pueden clasificarse en pavimentos de hormigón simple con o sin barras pasajuntas; con refuerzo discontinuo en la losa y con refuerzo continuo, DIPAV en su versión 2.0 permite solamente el diseño de pavimentos de hormigón simple con o sin barras pasajuntas. Los pavimentos con refuerzo discontinuo se construyen para lograr un mayor espaciamiento entre juntas, aprovechando el refuerzo para mantener la posible fisuración unida, sin embargo, espaciamientos demasiado largos no siempre han tenido desempeños satisfactorios motivo por el cual son poco utilizados actualmente. Los pavimentos continuamente reforzados cuentan con una elevada cuantía de acero, han sido muy poco utilizados en Latinoamérica por su elevado costo y los cuidados especiales para su construcción, motivo por el cual el diseño del acero no ha sido considerado en la presente versión de DIPAV 2.0.

#### **3.1.6.1. Diseño de los elementos del pavimento rígido.**

El diseño de un pavimento rígido comprende los siguientes aspectos:

- ✓ Diseño del espesor de la losa de hormigón
- ✓ Diseño de barras pasa juntas (si se requiere)
- ✓ Diseño de barras de amarre (si se requiere)
- ✓ Diseño del reservorio para el sello de junta (si se requiere)
- ✓ Diseño de juntas en planta

Para realizar el diseño de todos estos elementos, se requiere conocer las distintas variables que intervienen en las ecuaciones de pavimentos rígidos de AASHTO. La principal ecuación, para la determinación del espesor se base en la siguiente fórmula:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left( D^{0.75} - 18.42 \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

*Referencia Guía de Diseño AASHTO Parte 1 – Sección 1.2*

Esta ecuación, por su complejidad debe resolverse mediante iteraciones sucesivas para despejar el valor “D”, que corresponde al espesor de la losa. El significado de las variables y sus valores más utilizados se indican brevemente a continuación y para una profundización de las mismas, sugerimos consultar el Manual de Diseño antes mencionado.

### **3.1.6.1.1. Variables que intervienen en el diseño.**

DIPAV 2.0 permite resolver la ecuación 3.1 y para ello la pantalla de diseño de pavimento rígido, requiere todos los datos de entrada que intervienen en la misma, vale decir: Serviciabilidad inicial y final; módulo de ruptura del hormigón a los 28 días; módulo de elasticidad del hormigón a los 28 días; coeficiente de drenaje; coeficiente de transferencia de carga; valor efectivo del módulo de reacción del terreno “k”; nivel de confianza; desviación estándar global y el Número Acumulado de Ejes Equivalentes (ESAL). El resultado, mediante la solución por iteraciones de la ecuación indicada, es el espesor de la losa. La pantalla de diseño de pavimento rígido puede apreciarse a continuación:

Figura 3.5. – Ventana principal Pavimento Rígido

A continuación se desglosa brevemente el significado de cada uno de los parámetros que intervienen en el diseño:

#### a.- Serviciabilidad Inicial

La Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción. El concepto de Serviciabilidad o índice de servicio, nace como una calificación subjetiva del estado de la vía, aplicado originalmente en el ensayo de carreteras de AASHTO. Cada una de las secciones era calificada subjetivamente por los conductores profesionales que recorrían cada sección día y noche durante los dos años que duró el ensayo. La calificación de secciones se realizaba cada dos semanas.

La serviciabilidad tiene un rango en una escala de 0 a 5. El valor 5 representa un pavimento perfectamente suave y 0 sería un pavimento por el cual no se puede

circular. Ambos extremos no tienen un uso práctico. En este sentido, la escala representa distintos niveles de la calidad de rodadura de la vía. En la mayoría de los casos, la serviciabilidad inicial de un pavimento nuevo debería estar por encima de 4.0. El promedio de serviciabilidad inicial para pavimentos rígidos en el Ensayo de Carreteras de la AASHO fue 4.5, valor que es comúnmente utilizado para el diseño de pavimentos rígidos carreteros nuevos. El valor medido para pavimentos asfálticos fue de 4.2. En ausencia de valores medidos de diseño, es posible usar éstos para el diseño de pavimentos nuevos.

El método de diseño de AASHTO está basado en una caída prevista de serviciabilidad, también conocida como  $\Delta PSI$ , que ocurrirá a lo largo de la vida de servicio del pavimento a causa de las cargas de tráfico y solicitaciones medio ambientales. Mientras mayor sea el valor de  $\Delta PSI$ , mayor será la durabilidad del pavimento.  $\Delta PSI$ , es entonces la diferencia entre el valor inicial del índice de servicio del pavimento y el valor de serviciabilidad final o terminal, que corresponde al estado de un pavimento que requiere algún tipo de rehabilitación. Por este motivo, mientras mejor sea la calidad inicial de rodadura, el pavimento alcanzará mayor durabilidad, motivo por el cual deben realizarse todos los esfuerzos para alcanzar en obra una excelente calidad de rodadura.

#### **b.- Serviciabilidad Final**

La Serviciabilidad Final ( $P_f$ ) es el índice de servicio mínimo aceptable del pavimento, antes de que requiera una rehabilitación. En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide en base a los registros de construcción, la serviciabilidad final o terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico y ubicación. Generalmente las vías de mayor tráfico requieren estar en mejores condiciones antes de rehabilitarse que los caminos vecinales de baja velocidad. Los valores típicos de serviciabilidad final recomendados por la Guía AASHTO en la Parte 1, sección 1.3 están entre 2 y 3, el primero para vías poco transitadas y el último para carreteras importantes.

En el AASHO Road Test, se consideró que el nivel de deterioro que indicaba la falla

del pavimento se daba con una serviciabilidad final de 1.5, valor que no debería alcanzarse al final de la vida de diseño a menos de que se trate de un caso muy especial en el que puede aceptarse un elevado nivel de deterioro al final de su vida útil.

### **Pérdida de serviciabilidad por efectos medioambientales**

El método AASHTO considera la pérdida de serviciabilidad por causas medioambientales, como por ejemplo suelos expansivos o susceptibles a congelamiento. Puesto que el ensayo de AASHTO solo tuvo una duración de dos años, los efectos medioambientales a largo plazo tienen una aplicación limitada.

El apéndice G de la Guía AASHTO provee mayores recomendaciones para la consideración de estos efectos, mediante un proceso iterativo que, sin embargo, requiere de bastante tiempo y conocimientos sobre la permeabilidad de los suelos y los ciclos hielo-deshielo. Su aplicación no conlleva a incrementos muy significativos en los espesores del pavimento, motivo por el cual normalmente se tratan los casos de suelos expansivos o susceptibles a las heladas mediante procedimientos constructivos locales que los hagan más resistentes reduciendo su potencial destructivo.

### **c.- Módulo de Ruptura Promedio del Hormigón a los 28 días**

El módulo de ruptura del hormigón ( $S'c$ ) es el esfuerzo de tracción por flexión en la fibra extrema bajo la carga de rotura de acuerdo con el método de ensayo AASHO T-97 cuyo equivalente es ASTM C 78, ensayo que utiliza vigas prismáticas de 15x15cm de sección transversal, con una longitud de ensayo de 45cm y carga en los tercios centrales y se evalúa mediante la resistencia a los 28 días.

Para establecer una correlación confiable con cilindros sometidos a la compresión, debe realizarse un estudio en cada caso ya que son altamente dependientes del tamaño y la forma de los agregados y del tipo de cemento, por este motivo, no se considera aconsejables derivar correlaciones flexión – compresión sin un estudio apropiado de laboratorio.

El coeficiente de seguridad del método AASHTO, según se verá más adelante, se

denomina “nivel de confianza”, y conlleva aspectos estadísticos de probabilidad, por tanto, el método establece el uso de resistencias promedio a los 28 días. En este sentido, debe haber una concordancia entre los valores utilizados para el diseño y los especificados para control de calidad.

#### **d.- Módulo Elástico Promedio de la losa a los 28 días**

La otra propiedad de calidad del hormigón requerida para el diseño es el Módulo Elástico, el mismo que se determina usando los procedimientos descritos en ASTM C 469. Es una medida de la rigidez del hormigón en respuesta a aplicaciones de carga. El diseño no es muy sensible a esta variable, motivo por el cual su valor puede ser estimado a partir de correlaciones con otros parámetros de resistencia del hormigón, como ser:

$$E_c \text{ (kPa)} = 150,000 [f'_c \text{ (kPa)}]^{0.5}$$

$$E_c \text{ (psi)} = 57,000 [f'_c \text{ (psi)}]^{0.5}$$

$$E_c \text{ (kPa)} = \frac{1,000,000 [s'_c \text{ (kPa)} - 3,370]}{43.5}$$

$$E_c \text{ (psi)} = \frac{1,000,000 [s'_c \text{ (psi)} - 488.5]}{43.5}$$

Dónde:

$E_c$  = Módulo Elástico promedio del hormigón.

$f'_c$  = Resistencia a la compresión

$s'_c$  = Módulo de ruptura del hormigón a los 28 días.

Es importante recalcar que estos valores, típicamente situados en un rango entre 21,000 a 35,000 MPa, son simplemente una aproximación para efectos de diseño con un razonable margen de error. El valor promedio obtenido en el AASHTO Road Test fue de 29,000 MPa.

### **e.- Coeficiente Global de Drenaje**

El agua atrapada por debajo de un pavimento es una de las principales causas de deterioro, ya que ocasiona una reducción de resistencia en los materiales no estabilizados y suelos de subrasante; bombeo de finos; tendencia al hinchamiento por congelamiento o expansión de la subrasante; pérdida de soporte y una mayor tendencia a los asentamientos.

El control del bombeo de finos es muy importante para el éxito en el comportamiento de los pavimentos rígidos. Las condiciones que ocasionan este fenómeno son: Suelos finos en la subrasante; agua libre entre la losa y la subrasante; cargas pesadas frecuentes que originan fuertes deflexiones en la losa. El control de cualquiera de estos factores minimizará este fenómeno. Por este motivo, los drenes longitudinales de borde y las capas base drenantes, al reducir la influencia del agua, reducen la probabilidad de bombeo de finos. El uso de barras pasajuntas y sobrecargos en las losas también cooperan en la reducción del bombeo de finos al reducir las deflexiones originadas por las cargas pesadas, mejorando su desempeño.

En el método de diseño AASHTO, el parámetro de drenaje se introduce a través del coeficiente de drenaje denominado:  $C_d$ . Su efecto en el desempeño del pavimento es una función de la calidad del drenaje es decir el tiempo requerido para que el suelo alcance un cierto porcentaje de saturación y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. Depende del diseñador determinar los niveles relativos de cada uno de estos valores para las condiciones específicas que se consideren para el diseño.

La calidad del drenaje depende de las permeabilidades de la base y los materiales de fundación, el diseño de las secciones transversales estructurales y de la presencia de drenes longitudinales de borde. El periodo de tiempo durante el año que el pavimento está expuesto a niveles cercanos a la saturación es una función de las características de precipitación y evapotranspiración inherentes al clima particular de la región. Las siguientes tablas de la Guía AASHTO proveen una guía para la selección del coeficiente de drenaje:

Tabla 3.1. – Coeficiente de drenaje en relación al Porcentaje de tiempo que el pavimento está sometido a niveles de saturación y la calidad de drenaje

Calidad de Drenaje	Porcentaje de tiempo en que el pavimento está sometido a niveles cercanos de saturación			
	Menos de 1 %	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Buena	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

Tabla 3.2. – Calidad de drenaje en función al tiempo en que alcanza 85 % de saturación

Calidad de Drenaje	85% de saturación alcanzado en:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	el agua no drena

**Referencia:** Guía de Diseño AASHTO, Parte I, Sección 1.8

Guía de Diseño AASHTO, Parte II, Sección 2.4.1

El primer paso consiste en determinar el tiempo de drenaje para que la capa base y la subrasante alcancen un 85% de saturación, este valor debe considerar las condiciones de permeabilidad de los suelos, las pendientes longitudinal y transversal y la presencia de subdrenes. Una vez determinado el tiempo aproximado para alcanzar el 85% de saturación, puede estimarse de la Tabla 3.2 la calidad de drenaje esperado.

Seguidamente, se debe estimar, en base a los registros pluviométricos de la zona, el tiempo en el cual la estructura del pavimento estará expuesta a niveles cercanos a la saturación (época de lluvias y períodos adicionales de lluvia que lleven al pavimento a niveles cercanos la saturación y épocas de deshielo que originen la saturación del pavimento), con estos datos, se puede ingresar a la Tabla 3.1 y obtener el coeficiente  $C_d$ .

Es importante destacar que el uso de un coeficiente de drenaje en el diseño del pavimento tiene gran importancia en el espesor del diseño, si bien el uso de valores de  $C_d$  menores resultará en un espesor mayor de losas, no es un sustituto de un buen

drenaje, motivo por el cual es mejor incorporar elementos de subdrenaje, como ser bases drenantes o subdrenes de borde en lugar de utilizar menores valores de  $C_d$  evitando el uso de alternativas de drenaje. Pavimentos nuevos con valores  $C_d$  menores a 1.0 no deberían construirse.

El uso de bases drenantes es ideal para pavimentos rígidos, sin embargo, debe proveerse de una sub-base con una granulometría tipo filtro o un geotextil para evitar que los finos de la subrasante colmaten la base drenante y ocasionen un debilitamiento en la subrasante.

#### **f.- Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante “k”**

Puesto que las cargas son transmitidas al suelo de subrasante, las características de soporte del mismo son fundamentales para un adecuado diseño de pavimento rígido.

El módulo efectivo de reacción de la subrasante ( $k$ ), es la medida del soporte provisto para la losa de hormigón por las capas inferiores. Se denomina módulo *efectivo* de reacción de la subrasante porque considera el soporte provisto por todas las capas subyacentes: Base, subbase (si existiera) y subrasante, además de los cambios estacionales debido a la temperatura y humedad.

La determinación del módulo de reacción del terreno se realiza a través del ensayo de placa

(AASHTO T 235 ó ASTM D 1194). El ensayo de placa modela la subrasante como un conjunto de resortes en los que el valor “ $k$ ” es análogo a la constante del resorte. La placa en contacto con el suelo de ensayo debe tener 30” de diámetro (762 mm). El valor “ $k$ ” se obtiene al dividir la presión en la placa entre la deflexión medida bajo la misma.

La capa colocada directamente por debajo de la losa debería llamarse “capa base”, ya que se constituye en la capa de apoyo, sin embargo, es también usual referirse a ella como “sub-base”, debido a que sus características normalmente no son tan exigentes como en el caso de la capa base de pavimentos flexibles y pueden ser similares a la sub-base del mismo. Tanto en el programa así como el presente manual, el término a utilizar será “capa base”.

En carreteras y avenidas importantes que soportan tráfico pesado, es siempre recomendable la colocación de una capa base que permita uniformar el apoyo de la losa, creando además una plataforma resistente para la construcción. Además, debe ser menos erosionable que el suelo de fundación y contar con una granulometría que permita reducir el bombeo de finos. (La mayoría de las recomendaciones indican porcentajes que pasen el tamiz 200 menores al 15% y CBR mayores a 40 ó 50%).

La base también puede ser una de granulometría drenante, sin embargo, en este caso se debe prestar especial atención a la subrasante ya que puede ser necesaria una capa de granulometría “tipo filtro” o un geotextil para evitar el ascenso de finos de la subrasante que colmaten la base drenante debilitando la fundación. Para tráfico pesados, las bases pueden ser estabilizadas con cemento o inclusive de Hormigón Compactado con Rodillo, como se usan frecuentemente en Brasil y otros países. Estas capas requieren de un estudio previo de materiales y comportamiento estructural, especialmente si son muy rígidas.

Una base rígida es beneficiosa por que proveerá un mejor soporte y menor bombeo de finos, de manera que es posible incrementar el valor de “k” por la presencia de dicha capa. Pero es un error correlacionar directamente el valor de CBR de la base o subrasante mejorada con un valor de “k” ya que se estaría sobre-estimando su aporte al conjunto de la estructura.

La Guía AASHTO – 93 presenta procedimientos para incrementar el valor de “k” por efecto de la presencia de una base rígida y por la presencia de la roca madre si ésta se encuentra a escasa profundidad. Si se sigue este procedimiento, también debe realizarse la reducción de capacidad portante debido al factor de “pérdida de soporte” (loss of support), sin embargo, varios autores, entre ellos la ACPA (American Concrete Pavement Association) consideran que el procedimiento proporciona en inicio valores irreales excesivamente altos que luego son corregidos mediante el coeficiente de pérdida de soporte para obtener valores más razonables, sin embargo, castigando excesivamente los valores encontrados.

En este sentido, AASHTO 97 indica que no se debería usar un factor de pérdida de soporte, ya que los pavimentos de AASHTO Road Test fallaron justamente por

bombeo de finos, de manera que este efecto se encuentra ya en las ecuaciones de diseño. Las correcciones por efecto de base proporcionan valores irrealmente altos en relación con los medidos mediante estudios de deflexiones, motivo por el cual no se recomienda su aplicación directa.

La determinación directa del valor de “k” mediante ensayos de placa es difícil y costosa, teniendo la desventaja de que normalmente se analiza el suelo en estado seco y sin considerar los efectos de la humedad. Debido a la poca sensibilidad del diseño de pavimentos rígidos al valor del coeficiente de soporte “k”, es permitido el uso de correlaciones derivadas de otras propiedades del suelo natural de fundación. Algunas de ellas son:

$$k \text{ (kPa / m)} = \frac{M_r \text{ (kPa)}}{0.493}$$
$$k \text{ (psi / in)} = \frac{M_r \text{ (psi)}}{19.4}$$

Por su parte, también es posible correlacionar el valor del Módulo Resiliente con el ensayo de CBR que es más conocido y fácil de ejecutar. AASHTO- 97 contiene la siguiente tabla de valores:

Tabla 3.3. – Correlación entre el tipo de material, CBR y k

Clasificación ASHTO	Descripción	Clasif. S. U.	Densidad Seca (kg/m <sup>3</sup> )	CBR (%)	Valor K (psi/in)
<b>Suelos granulares:</b>					
A-1-a, bien graduada	Grava	GW, GP	125 - 140	60 - 80	300 – 450
A-1-a, mal 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
<b>A-2 Material granular con alto contenido de finos</b>					
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	Arena 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				
<b>Suelos finos:</b>					
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 Elástica moderadamente plástica	CL, OL	90 - 125	4 - 15	25 – 125 *
A-7-6	Arcilla muy plástica	CH, OH	80 - 110	3 – 5	40 – 220*

Ref. Guía de Diseño Versión 1997; Tabla 11; Pág. 6

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

RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE “k” Y EL VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)

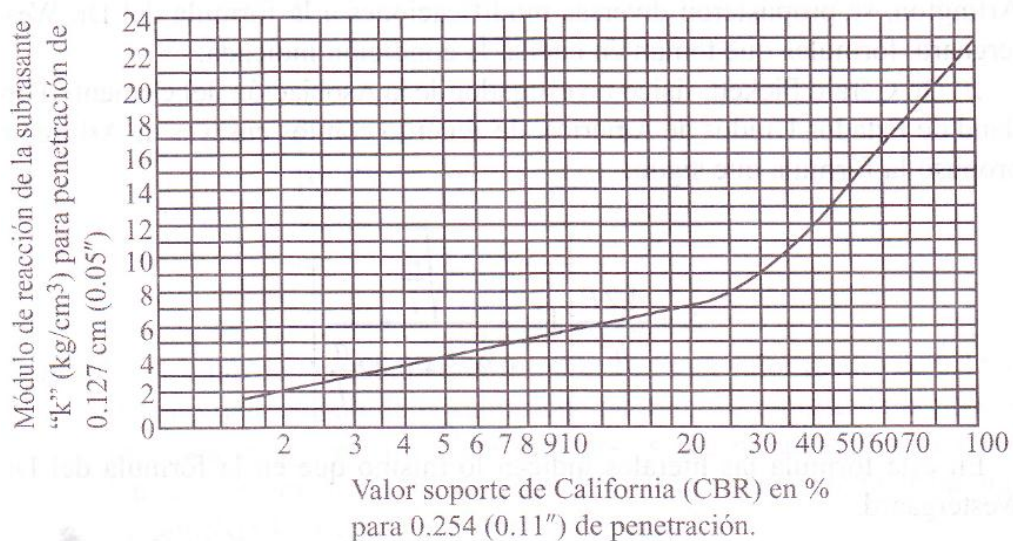


Figura 3.6. – Relación entre CBR y valor aproximado de k

Ref. Guía AASHTO 97 Figura 41, Pág. 7.

#### g.- Módulo de Reacción Estacional

DIPAV 2.0, contiene adicionalmente las fórmulas necesarias para procesar el valor efectivo estacional de “k”, puesto que las condiciones del suelo varían a lo largo del año, dependiendo del contenido de humedad, congelamiento, deshielo y otros factores presentes en diferentes épocas. Es posible dividir los datos en hasta 24 periodos (dos por cada mes), de manera que se considere dentro del cálculo éstas variaciones y por tanto su efecto en el comportamiento del pavimento.

Puesto que normalmente es difícil obtener datos estacionales, es posible realizar ensayos en condiciones representativas de humedad a fin de estimar las condiciones reales de la obra durante determinados períodos de tiempo. También podrían obtenerse datos de deflectometría en pavimentos cercanos en diferentes épocas del año para tener datos más confiables. Finalmente, el valor tradicional de CBR que se realiza en condiciones de saturación podría ser utilizado directamente para correlacionar valores por el lado de la seguridad. Ver la Guía de Diseño AASHTO Parte I, Sección 1.5.

Para acceder a la pestaña que calcula el Módulo Estacional, simplemente haga clic en

el botón “*Calcular*” situado al lado derecho del valor de “k” o haciendo clic en la pestaña “*Módulo*” ubicada en la parte superior del formulario principal,. Se mostrará la siguiente pantalla:

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface. The main window is titled "Pav...Rígido" and has a menu bar with "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area is divided into several tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amarre", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Módulo" tab is active, displaying a table with the following columns: "Periodo", "Estación", "Valor k (kPa/mm)", and "Daño Relativo (%)". The table has 19 rows, numbered 1 to 19. To the right of the table are two input fields: "Espesor de Losa proyectado (mm)" and "Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm)". Below these fields are three buttons: "Calcular", "<-----", and "Exportar".

Figura 3.7. – Cálculo del módulo de reacción de la subrasante

La Fig. 3.7 presenta una tabla con hasta 24 posibles valores, dependerá del usuario definir el número de datos que desea utilizar. El primer campo “*Estación*” es de tipo alfanumérico y puede tener cualquier nombre especificado por el usuario, normalmente debería utilizarse un período de tiempo (Ene-Abr; May-Ago; Sep-Dic) o cualquier otro. Internamente cada estación tiene la misma influencia dentro del cálculo, motivo por el cual debe tenerse el cuidado de utilizar estaciones de la misma duración y no necesariamente correspondientes a meses enteros.

Para cada estación se debe establecer su Módulo Resiliente. El Programa utilizará los datos diferentes de cero. Es importante mantener el orden es decir introducir los datos a partir del período 1 y no colocar valores de cero en ninguna casilla. El programa únicamente utilizará los valores introducidos, de manera que no es necesario contar con 24 valores. De este modo, una vez que se presiona el botón “*Calcular*”, DIPAV 2.0 obtendrá el Módulo de Reacción del Terreno Estacional, valor que aparecerá directamente en la pantalla de datos para el diseño de espesor de losa. Si se presiona el botón “*Exportar*”, la planilla de cálculo será exportada a una hoja “Excel” en caso de que se requieran los datos para cálculos adicionales u otro tipo de tratamiento.

El método AASHTO - 97 considera la capa base como una capa estructural y por tanto establece su aporte dentro del método de cálculo. AASHTO-93 permite el incremento de  $k$  por aporte de la capa base granular o estabilizada. El cual debe realizarse siempre con precaución para no producir valores de “ $k$ ” irreales.

El principal requisito para la construcción de un pavimento rígido es que la capa de apoyo sea uniforme, por este motivo debe exigirse una adecuada compactación de la subrasante (al menos 95% del T-180). La baja sensibilidad del diseño del pavimento rígido a esta variable no puede ser un pretexto para no compactar adecuadamente el terreno y la capa base. Se recomienda consultar la bibliografía del IBCH sobre aspectos constructivos.

#### **h.- Coeficiente de Transferencia de Carga**

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una losa 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 Fig. 3.6.

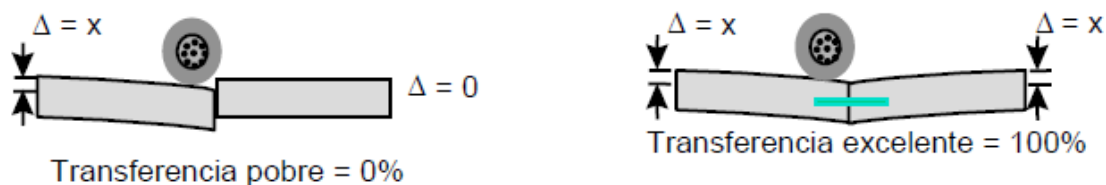


Figura 3.8. – Transferencia de carga longitudinal

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

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

Como se ha indicado, el desempeño de un pavimento mejora con la adición de barras

pasajuntas y sobrecanchos, factores que se toman en cuenta en el diseño a través del “coeficiente de transferencia de carga (J)” que permite considerar el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa; por los dispositivos de transferencia de cargas; interacción de agregados, y la presencia de bermas de hormigón vinculadas. Coeficientes de transferencia de carga más altos corresponden a menor soporte.

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, mayores coeficientes deben ser usados con valores bajos de k; altos coeficientes térmicos y mayores variaciones de temperatura.

La siguiente tabla provee recomendaciones para la selección de coeficientes de transferencia de carga:

Tabla 3.4. - Valores Recomendados del Factor “J”

Tipo de Pavimento	Berma de Asfalto		Berma de Ho. Vinculada	
	Disp. de Transferencia		Disp. de Transferencia	
	si	no	si	no
Junta Sencilla y Junta Reforzada	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Continuamente Reforzada	2.9 - 3.2	N/D	2.3 - 2.9	N/D

Ref. AASHTO Guía de Diseño Parte II. Sección 2.4.2

El diseño de pavimentos rígidos es sumamente sensible a esta variable y es importante su consideración en función de las características de clima, de suelo y condiciones generales de apoyo a fin de seleccionar un valor dentro de los rangos previstos. Los rangos inferiores de “J” son sólo aplicables si se tienen suelos muy 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.

### **i.- Nivel de Confianza**

Es un concepto probabilístico desarrollado en 1973 (Kher y Darter) que se ha incorporado en los procedimientos de AASHTO en 1986. La Guía de Diseño AASHTO, define al nivel de confianza (R) como la probabilidad (expresada como porcentaje) de que una estructura de pavimento sobreviva al tráfico del período de diseño. En este sentido, este factor se constituye en un coeficiente de seguridad probabilístico que toma en cuenta la probabilidad de variación de las predicciones de tráfico; predicciones de desempeño de los materiales; de las condiciones de apoyo y otras.

En cierto modo, esta variable probabilística es una indicación del porcentaje del pavimento que estará en condiciones operativas al final de su vida de diseño. Es decir que si un pavimento se diseña con un 85% de confianza, se espera que el 85% del pavimento se encuentre en condiciones operativas y un 15% del mismo haya “fallado”, es decir que tenga algún tipo de deterioro presente antes de cumplir con su período de vida útil.

A medida que los volúmenes de tráfico se incrementan, las consecuencias de la falla prematura de un pavimento se incrementarán también, motivo por el cual las rutas de alto volumen deben ser construidas con un mayor nivel de confianza que las carreteras con bajo volumen a fin de ofrecer menores probabilidades de falla y por tanto pavimentos más seguros para mayores tráfico.

Recomendaciones generales para la selección de los valores de confianza son:

Tabla 3.5. - Nivel de Confianza Recomendado según nivel de Tráfico

<b>Clasificación Funcional</b>	<b>Urbana</b>	<b>Rural</b>
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Rutas Locales	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Ref. AASHTO Guía de Diseño Parte I. Tabla 2.2

**j.- Desviación Estándar Global**

La desviación estándar global considera la variabilidad estadística presente en las ecuaciones de diseño a causa de la variabilidad en los datos de diseño, incluyendo las propiedades de los materiales; del suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. Lo ideal sería que, estos valores se determinen en base a mediciones reales en condiciones locales. El Apéndice EE de la Guía AASHTO proporciona una guía para desarrollar este valor, lo cual no es una tarea fácil. Sin embargo, en ausencia de mediciones, la Guía provee recomendaciones en función de las consideraciones del tráfico futuro de diseño.

En caso de que el diseñador conozca de manera muy precisa las cargas y volumen de tráfico, puede utilizar valores menores, pero si no existe esta confianza y no se han utilizado balanzas para la determinación de cargas por eje ni estimaciones precisas debe utilizarse valores mayores. La Guía de Diseño AASHTO, en el caso de pavimentos rígidos presenta un rango entre 0.30 a 0.40, sin embargo, recomienda un valor de 0.34 para casos muy confiables y de 0.39 cuando no se tiene estudios muy profundos de tráfico y pesos por eje.

Para el caso de pavimentos flexibles, el rango fijado por la norma varía entre 0.40 y 0.50, sin embargo recomienda valores entre 0.45 a 0.49 también dependiendo de la confianza que tenga el diseñador en su determinación de cargas y tráfico, comentando que los valores de 0.45 o menores únicamente deberían utilizarse si se dispone de mediciones precisas de tráfico y cargas.

En ausencia de mediciones precisas el IBCH recomienda el uso de 0.39 para pavimentos rígidos y 0.49 para pavimentos flexibles.

**k.- Tráfico y ejes equivalentes simples de 80 KN (ESALs 18 kips) sobre el período inicial de desempeño.**

En el método AASHTO, los pavimentos se proyectan para que resistan un determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. El efecto de estos ejes es acumulativo durante la vida del pavimento, ya que este fallará por fatiga a causa de un cierto

número de repeticiones de cargas.

Durante la realización del AASHTO Road Test, los especialistas desarrollaron el concepto teórico de comparar el daño que se originaba en una sección particular del pavimento a causa de diferentes configuraciones de ejes con el daño que produciría en esa misma sección un eje estandarizado al cual denominaron “Eje Equivalente Simple”, que en inglés se expresó como “Equivalent Single Axle Load” o ESAL. Por simplicidad a lo largo del manual y en el programa se utilizará el término ESALs.

De una manera simple, podríamos definir el número acumulado de ESALs como un valor que representa a la totalidad del tráfico considerando los diferentes tipos de vehículos, configuración de ejes y llantas, convertidos a un número equivalente de ejes simples cuyo peso es de 18,000 lb. (80 KN). En el ensayo de carreteras de AASHTO, el número total de ESALs estaba entre unos miles hasta 10 millones en el circuito más cargado.

La transformación de ejes de distinta naturaleza y peso a ESALs es una tarea compleja, es necesario determinar los distintos tipos de eje (simple, tandem o tridem); su peso; el “daño relativo” que las cargas infringen al pavimento y además depende de las características del pavimento, el material en el que está constituido, su espesor así como la serviciabilidad final para la que se calcula.

Un usuario experimentado que tiene una hoja electrónica para determinar sus ESALs, puede colocar directamente en DIPAV el valor acumulado para el período de diseño, sin embargo, el programa, proporciona una hoja electrónica muy útil para calcular el número acumulado de ESALs a partir de datos de tráfico, configuración y tipo de eje. Para usar esta tabla de cálculo son importantes los siguientes conceptos:

### **Factores Equivalentes de Carga**

El tráfico se convierte a ESALs simplemente multiplicando cada eje por un factor denominado “Factor Equivalente de Carga” FC.

El factor equivalente de carga “FC”, es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad (o daño relativo) causada por una carga específica de eje y la producida por el eje estándar de 80 KN en el mismo pavimento.

$$FC = \frac{\text{No. de ESALs de 80 KN que producen una pérdida de serviciabilidad}}{\text{No. de ejes de x KN que producen la misma pérdida de serviciabilidad}}$$

Por ejemplo, para producir una pérdida de serviciabilidad de 4,2 a 2,5 son equivalentes:

$$\begin{aligned} &100,000 \text{ ejes simples de 80 KN} \\ &14,347 \text{ ejes simples de 133 KN} \end{aligned}$$

Por tanto, se puede calcular el Factor Equivalente de Carga:

$$FC = \frac{100,000}{14,347} = 6.97$$

En otras palabras, el eje de 133 KN tiene un efecto de daño al pavimento 6.97 veces mayor al daño que ocasiona un eje de 80 KN. En este sentido, resulta obvio que el FC para un eje simple de 18,000 lbs (80 KN) es siempre 1.0 (daño relativo unitario) sin importar el tipo de pavimento. Cargas por eje menores a 80 KN producirán valores de FC menores a la unidad, mientras que cargas mayores producirán valores mayores a 1.0.

Dado que cada tipo de pavimento responde de manera diferente a una carga, los FC cambian de acuerdo al tipo de pavimento. Es así que pavimentos rígidos y flexibles tienen diferentes FC, los cuales varían según el espesor de losa en pavimentos rígidos y el Número Estructural en pavimentos flexibles. Puesto que el valor mide el daño relativo promedio y considerando que la curva de desempeño de un pavimento serviciabilidad vs. Cargas también cambia, los FC serán diferentes según el nivel de serviciabilidad final adoptado. Los FC pueden ser calculados directamente por DIPAV, ya que se han programado las ecuaciones correspondientes, también pueden obtenerse los FC de las tablas del Apéndice D de la Guía AASHTO. Es fácil observar que los factores varían de manera exponencial y si se considera las cargas por eje máximas permitidas por la ley de cargas (en el caso de Bolivia para eje trasero simple 11 ton; tandem 18 ton y tridem 25 ton), se podrá observar que el daño que originan las sobrecargas es muy grande, y además causa de falla prematura en muchas

carreteras.

Es importante explicar que las ecuaciones de pavimentos rígidos y flexibles son diferentes y por tanto los FC también lo son. Normalmente los FC de pavimento rígido son mayores que los de asfalto en estructuras más o menos equivalentes para cargas mayores a 80 KN, este es un indicativo de que se requiere más tráfico en pavimentos rígidos para causar la misma pérdida de serviciabilidad que en un pavimento flexible. En todo caso, es importante calcular siempre el número de ESALs para cada pavimento por separado, utilizando la misma configuración de vehículos y cargas por eje.

### **Cálculo de ESALs**

Para calcular los ESALs con DIPAV 2.0, se debe presionar el botón “*Calcular ESALs*” que se encuentra en la parte inferior derecha de la pestaña principal de diseño de pavimentos o hacer clic en la pestaña “*ESALs*” situada en la parte superior del formulario de diseño al lado de la pestaña “*Módulo*”. De manera previa es necesario definir la serviciabilidad inicial y final del pavimento, ya que esta última es necesaria para el cálculo.

Al entrar a la pestaña de *Calcular ESALs*, se presentan dos sub pestañas: *Cálculo del TPDA* y *Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)*.

Antes de realizar cualquier cálculo, en la parte inferior de la sub pestaña *Cálculo del TPDA* se debe dimensionar la tabla para el cálculo de la TPDA, introduciendo en la parte inferior derecha la cantidad de años para los cuales se tiene la información y la cantidad de tipos de vehículos que se tiene para cada año. Se debe hacer clic en el botón *Aceptar* y la tabla quedara dimensionada.

Luego se debe introducir un valor de espesor de losa en pavimento rígido, (o el número estructural en el caso de pavimento flexible). Esto parece un contrasentido ya que justamente este es el valor a determinar, sin embargo, el proceso puede ser iterativo en cuanto a la determinación de ejes equivalente, de manera que se requiere un valor aproximado de inicio a juicio del diseñador a fin de que se pueda determinar los FC y se calculen los ESALs. Una vez determinado el espesor real de la losa (o el

número estructural en caso de pavimento flexible), se puede volver a calcular los ESALs ya con el valor correcto de espesor de losa o número estructural. Sin embargo, puesto que los FC no tienen una sensibilidad muy grande a este valor, usualmente esta iteración no proporcionará valores muy diferentes a los inicialmente calculados.

El otro dato requerido en la parte inferior de la sub pestaña *Cálculo del TPDA* es el porcentaje de tráfico que circulará por el carril de diseño. Es importante aclarar que el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual) corresponde al valor total del tráfico que circula en ambas direcciones de una carretera en un día promedio, de modo que si se tiene una carretera de únicamente dos carriles (uno por sentido de tráfico), podría introducirse el valor de 50%, es decir que la mitad de tráfico circula en cada sentido, sin embargo, en carreteras que típicamente van más cargadas en un sentido (por ejemplo en zonas agrícolas o mineras) se prefiere utilizar el valor de 60%. En caso de que se trate de una carretera de cuatro carriles (dos por sentido), la Guía AASHTO en la Sección II, título 2.1.2 recomienda tomar primero un factor por sentido de tráfico (50 a 60%) y afectarlo por un valor entre el 80 al 100% dependiendo de las condiciones particulares de la vía (altas pendientes o un gran porcentaje de vehículos livianos implican que el 100% de camiones circule por el carril de bajo tráfico), en este caso el valor a introducir en el programa estará entre el 40% al 60% dependiendo del criterio del diseñador y las condiciones reales de la vía.

La tabla de vehículos tiene la posibilidad de contar con 29 distintos tipos para el cálculo de Ejes Equivalentes, los mismos están simplemente numerados como Tipo 1, Tipo 2, etc., pero este nombre puede ser modificado simplemente presionando el botón “Tipo de Vehículos”, esto abre un cuadro de diálogo en el que se pueden renombrar todos los tipos de vehículos en función a las necesidades del usuario, vale decir: Livianos; Camiones; Buses; etc. El cambio de nombre afectará tanto al TPDA así como al cálculo de ejes equivalentes.

Al igual que en DIPAV 1, DIPAV 2.0 permite pegar en la tabla de cálculo del TPDA, los datos copiados de una hoja de cálculo MS Excel. Para ello, simplemente seleccione las celdas deseadas en Excel, presione CTR-C (manteniendo presionada la

tecla “control” presione “C”) y para pegar los datos en DIPAV 2.0 presione CTR-V. La opción de copiar-pegar con el botón derecho del Mouse no está habilitada para trabajar dentro de DIPAV 2.0 pero pueden copiarse utilizando el teclado, celdas de una hoja DIPAV 2.0 a otra o dentro de la misma tabla.

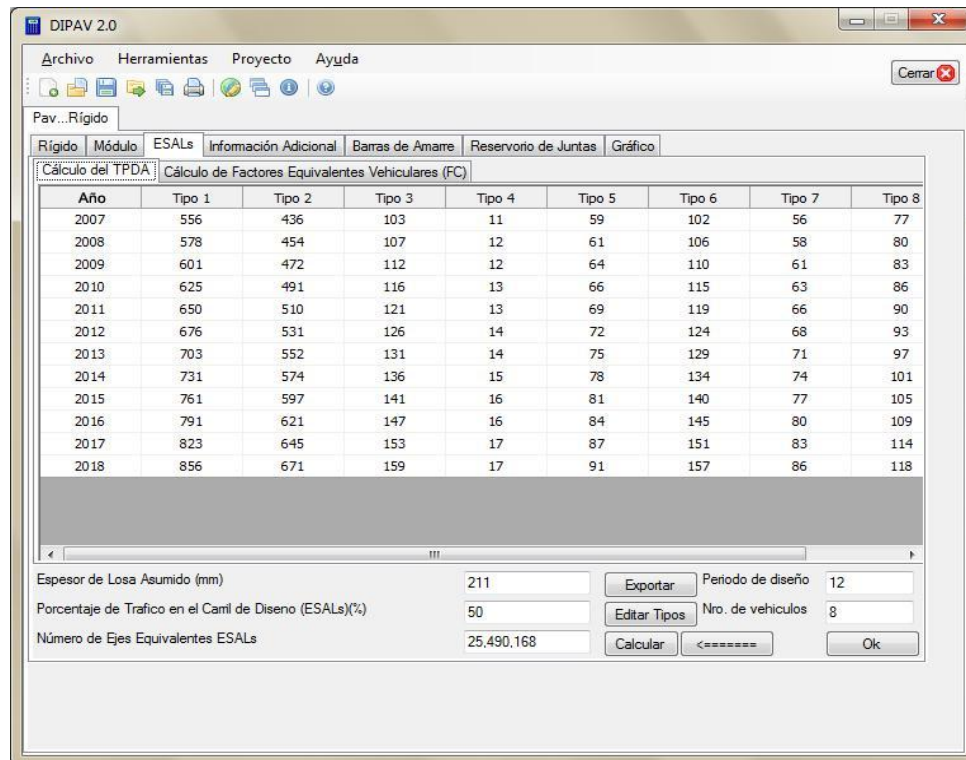


Figura 3.9. – Cálculo del TPDA

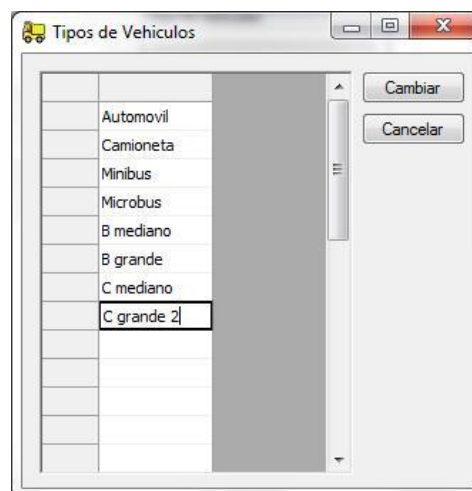


Figura 3.10. – Cuadro de diálogo “Tipo de Vehículos”

### **Cálculo del TPDA**

Para el cálculo del número acumulado de vehículos en el período inicial de desempeño, DIPAV 2.0 presenta la tabla mostrada en la Fig. 3.7. Se deben introducir los valores del Tráfico Promedio Diario Anual para cada tipo de vehículo que se especifique. También se debe colocar los años a los que estos valores representan. Se pueden introducir hasta 40 años.

### **Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC).**

DIPAV 2.0 contiene programadas las fórmulas para obtener los FC de acuerdo al peso de cada eje y su configuración según se detalla en 3.1.11.1. La forma de introducir los datos es la siguiente: En la sub-pestaña “*Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)*” (ver fig. 3.9), en la parte superior existe una fila que indica “*Nomenclatura*” que cuenta con cuatro celdas para cada tipo de vehículo. La “*Nomenclatura*” corresponderá a la configuración de ejes del vehículo, de manera que debe colocarse los siguientes valores numéricos:

**1 - Para eje simple**

**2 - Para eje tandem**

**3 - Para eje tridem**

El eje delantero debe ubicarse siempre como el primero, en el caso de que el número de ejes sea menor a cuatro, se deben dejar las celdas restantes en blanco. De este modo, DIPAV 2.0 permite el cálculo de vehículos de hasta cuatro ejes, o bien vehículos de dos ejes con un acoplado de otros dos ejes. Sin embargo, si se requiere casos especiales con un mayor número de ejes, podría dividirse el vehículo y utilizar dos celdas.

Las siguientes cuatro filas requieren como dato el peso de cada eje especificado en la fila “*Nomenclatura*”. Las cargas deben introducirse en toneladas.

Finalmente, puesto que los Factores Equivalentes vehiculares dependen del desempeño mismo del pavimento, se debe verificar que se ha introducido un valor

del espesor de losa estimado, para el caso de pavimento rígido o bien el número estructural estimado para el caso de pavimento flexible, el cual puede ser modificado una vez que se calcule el valor real mediante DIPAV 2.0. Estos aspectos se detallaron previamente en 3.1.11.2 *Cálculo de ESALs*. En las celdas indicadas a continuación, DIPAV 2.0 muestra los valores de los factores equivalentes calculados para cada uno de los ejes. Para ello se debe presionar el botón “**Calcular**” Ubicado en la parte inferior del formulario.

Esta acción permite además calcular la suma total de vehículos por cada tipo, para lo cual DIPAV los multiplica por 365 (para considerar el acumulado anual), en base a ello, calcula el valor total de ejes equivalentes que solicitará la carretera.

Una vez revisados y aceptados los valores, se puede presionar el botón “(Volver)”,



acción que regresa a la pantalla principal de diseño del pavimento copiando el valor de ejes equivalentes recientemente calculado. Alternativamente se puede volver haciendo clic en la pestaña **Rígido**. La fig. 3.9 muestra el cálculo de ejes equivalentes.

		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Ti
Nomenclatura	Eje Delantero	1	1	1	1	1	1	
	1er Eje Trasero	1	1	1	1	1	2	
	2do Eje Trasero							
	3er Eje Trasero							
Carga por Eje (ton)	Eje Delantero	0.5	0.4	0.7	0.3	1	10	
	1er Eje Trasero	2	1.5	1.5	2	4	25	
	2do Eje Trasero							
	3er Eje Trasero							
Factor Camión	Eje Delantero	4E-05	2E-05	0.0001	1E-05	0.00028	2.3181	0.2
	1er Eje Trasero	0.00313	0.00109	0.00109	0.00313	0.04912	12.83181	87.
	2do Eje Trasero							
	3er Eje Trasero							
Total Ejes Equivalentes		0.00317	0.00111	0.00119	0.00314	0.0494	15.14991	87.
Total Número de Vehículos		3048115	2392210	566480	62050	323755	559180	30
ESAL's		9663	2655	674	195	15993	8471527	268

Espesor de Losa Asumido (mm)   Período de diseño   
 Porcentaje de Trafico en el Camil de Diseno (ESALs)(%)   Nro. de vehiculos   
 Número de Ejes Equivalentes ESALs

Figura 3.11. – Matriz para el cálculo de factores equivalentes vehiculares

Si usted no puede visualizar correctamente los datos contenidos en una tabla, bastará con hacer doble clic en el borde derecho de la columna para que ésta se autoajuste al contenido.

### 1.- Cálculo del Espesor de Losa.

Una vez introducidos todos los datos, en la pestaña Rígido, al presionar el botón: “Calcular”, DIPAV 2.0 obtendrá como resultado del proceso el espesor de la losa de hormigón. En un pavimento rígido, esta es la capa que se espera que soporte la mayor parte de la carga, el uso de una capa base y mejoramientos que podrían ser necesarios por condiciones de drenaje, protección contra heladas, control de suelos expansivos y otros debe analizarse aparte, pero puede ser presentada en DIPAV 2.0 haciendo clic en la sub-pestaña **Información Adicional**, según se detalla a continuación en el subtítulo 3.2.

**m.- Cálculo de ESALs que pueden ser resistidos dado un determinado espesor de Losa.**

Ésta es una función nueva en DIPAV 2.0 que nos permite calcular los ESALs que pueden ser resistidos dados un determinado espesor de losa, para realizar dicho cálculo bastará en hacer clic en el botón de radio **ESALs** situado en la parte inferior izquierda de la pestaña principal de diseño de Pavimento Rígido. La casilla **Número de ejes equivalentes** queda deshabilitada y la casilla **Espesor de Losa** queda habilitada para que introduzcamos el espesor de losa para el que deseamos calcular cuántos ESALs resistirá y hacemos clic en el botón **calcular**. Esto nos dará el número de ESALs para el Espesor de Losa ingresado.

Adicionalmente existe un nuevo botón "**Borrar todo**" que sirve para limpiar todos los datos del formulario principal. Haga clic en éste si desea borrar todos los datos introducidos en el formulario principal.

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface. The main window is titled "DIPAV 2.0" and has a menu bar with "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main workspace is divided into several tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amarre", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "ESALs" tab is currently selected. The interface contains several input fields and buttons:

- Serviciabilidad Inicial (Po): 4.5
- Serviciabilidad Final (Pt): 2.5
- Módulo de Rotura del Homigón (S<sub>c</sub>)(MPa) - (psi): 4.5 MPa (652.67 psi)
- Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi): 26,000 MPa (3,770,981.18 psi)
- Coefficiente de Drenaje (Cd): 1
- Coefficiente de Transferencia de Cargas (J): 2.8
- Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci): 65.64 kPa/mm (241.98 pci)
- Confiabilidad (R)(%): 85
- Desviación Estándar (So): 0.39
- Número de Ejes Equivalentes ESALs: 6,608,732
- Espesor de Losa (mm): 210

At the bottom left, there are two radio buttons: "Espesor" (unselected) and "ESALs" (selected). To the right of the "ESALs" radio button are two buttons: "Calcular" (highlighted) and "Borrar todo".

Figura 3.12. – Cálculo de ESALs que pueden ser resistidos dado un determinado Espesor de Losa

### 3.1.6.1.2. Otras características de diseño.

Existen diversas características de los pavimentos rígidos que no forman parte del diseño estructural del espesor de losa, pero son importantes para su desempeño y por tanto requieren una mayor atención, estas son: acero en juntas transversales y longitudinales, dimensiones y características del sello de juntas y espaciamiento entre juntas transversales. Haciendo clic en la pestaña **“Información Adicional”** se puede detallar los siguientes elementos que se describen a continuación:

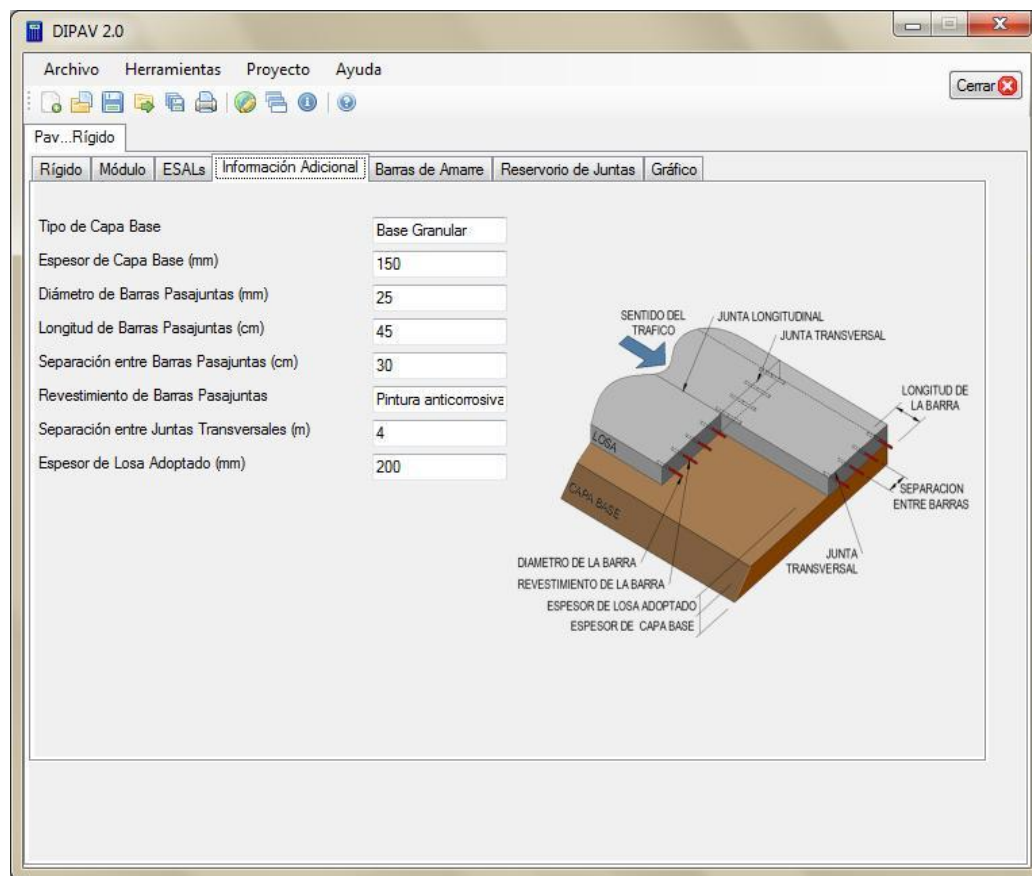


Figura 3.13. – Información adicional de pavimento rígido

**“Tipo de Capa Base”**, es un campo de información alfanumérico para colocar el material de la base, su valor de CBR y cualquier otra descripción relativa a esta capa. Para detallar el espesor de la base se ha destinado un campo específico. Ambos

campos se imprimen en el reporte pero no son necesarios para el cálculo ya que la influencia de la base estaría implícita en el módulo de reacción del terreno “k”.

En caso de que el pavimento requiera la colocación de barras pasajuntas, (de acuerdo a la sección 3.1.8), se puede utilizar las siguientes cuatro casillas para introducir información acerca de las mismas. El diámetro de las barras, si bien aparece solo como información puede ser calculado de una manera muy sencilla. La guía AASHTO en la Parte II, 2.4.2., simplemente recomienda utilizar un diámetro igual o mayor a 1/8 del espesor de la losa. El espaciamiento también se encuentra normalizado en 30 cm y la longitud típica de barras es de 45 cm. En casos especiales estos valores pueden ser modificados pero se requiere mayores criterios de diseño para hacerlo.

La casilla “**Revestimiento de barras pasajuntas**” se utiliza para especificar el tipo de recubrimiento que deben tener las barras pasajuntas. Normalmente, para ello se especifica pintura anticorrosiva epóxica y una capa delgada de antiadherente. Existen también barnices que a la vez confieren un efecto antiadherente y anticorrosivo a las barras. Todos estos aspectos pueden detallarse en esta casilla.

La casilla “**Separación entre juntas transversales**” es muy importante, puesto que es una propiedad estructural. Su determinación se basa en las tensiones que causarían fisuras intermedias en la losa. Los factores importantes a considerar incluyen el coeficiente térmico de contracción del hormigón (el cual depende primordialmente del tipo de agregado grueso usado); el gradiente térmico local; la resistencia friccional entre la losa y la base (que depende del tipo de base, sus condiciones de terminado y si existe o no imprimación) y la resistencia a tracción del hormigón.

Es importante considerar experiencias previas con materiales similares y prácticas de construcción. Como una regla general de AASHTO, para hormigón simple con juntas, el espaciamiento no debe exceder 24 veces el espesor de la losa. Por otra parte, la relación entre la longitud de la losa al ancho no debe exceder 1.25. Por tanto el espaciamiento máximo entre juntas para una losa de 25 cm de espesor y de 3.7 m de ancho debería ser 6 m por el primer criterio y 4.6 m por el segundo criterio. En todo caso también debe tenerse presente las condiciones climáticas, el tipo de base y

la existencia o no de barras pasajuntas. El IBCH recomienda no utilizar espaciamientos mayores a 4.50 m ni anchos superiores a 4.15 m.

El valor que se introduce en esta casilla es importante para realizar el cálculo de la apertura de juntas y el diseño de reservorio para el sellador. **Ref.** Guía de Diseño AASHTO Parte II. Sección 3.3.3.

### a.- Diseño de Barras de Amarre en la Junta Longitudinal

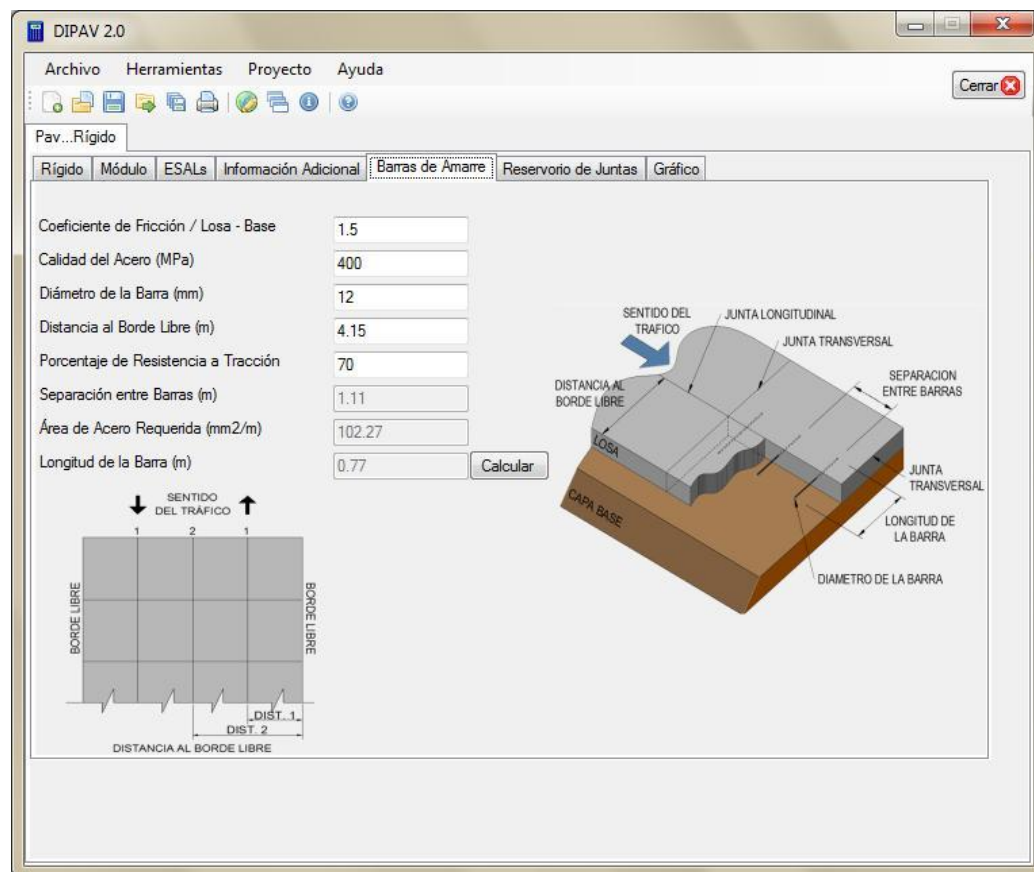


Figura 3.14. – Diseño de barras de amarre

Antes de acceder a esta opción se deben llenar los valores de *espesor adoptado* y *separación entre juntas transversales* en la pestaña “**Información Adicional**”.

Las barras de amarre de acero corrugado se colocan entre carriles, de manera perpendicular a la junta longitudinal para que la misma no se separe con el tiempo. También se utiliza para vincular una berma de hormigón al carril contiguo. Estas

barras se colocan en el hormigón fresco hincadas por equipo deslizante o bien a mano en caso de utilizar moldes. Algunos diseñadores indican que no debería vincularse más de 12 m de ancho de pavimento, es decir cuatro carriles. En los casos de pavimentos urbanos que estén confinados mediante bordillos o cunetas adecuadamente anclados a la subrasante, las barras de amarre pueden obviarse, sin embargo, en el caso de curvas cerradas, por ejemplo, donde la acción de la fuerza centrífuga añade un importante esfuerzo horizontal en las losas, estas barras deberían utilizarse de todos modos.

Para determinar tanto el espaciamiento entre barras así como su longitud, de acuerdo con la Guía AASHTO, Parte I. Sección 1.6.2, se requiere definir el diámetro de la barra; la resistencia característica del acero; la distancia desde la junta longitudinal al borde libre más próximo (es decir el ancho de la losa de borde); el espesor de la losa; el factor de fricción; y el porcentaje de diseño de tensión de fluencia para la barra de acero de amarre. Estos factores se detallan a continuación:

### **Factor de Fricción**

Es una medida de la resistencia de fricción entre la parte inferior de la losa y la parte superior de la capa de apoyo subyacente, ya sea base o subrasante. Los valores recomendados para distintos materiales de capa de apoyo se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3.6. – Factor de fricción para materiales bajo la losa de pavimento rígido

<b>Material Bajo la Losa</b>	<b>Factor de Fricción</b>
Tratamiento superficial	2.2
Estabilización con Cal	1.8
Estabilización asfáltica	1.8
Estabilización con Cemento	1.8
Grava de Río	1.5
Piedra Partida	1.5
Arenisca	1.2
Subrasante Natural	0.9

**Ref.** AASHTO Guía de Diseño Parte II. Sección 2.5.1.

**Calidad de Acero**

Se refiere al límite de fluencia del acero que se utilizará para barras de amarre, expresado en MPa.

En los casos en los que se realiza la construcción carril por carril las barras de acero están expuestas a golpes y dobladuras, motivo por el cual es preferible el uso de aceros naturales más dúctiles, por tanto de límite de fluencia de 400 MPa es típicamente utilizado para este fin. El coeficiente de seguridad que evita que el acero sufra tensiones excesivas o deformaciones plásticas es el porcentaje de resistencia a la tracción.

**Diámetro de las Barras**

Los diámetros preferidos para pavimentos rígidos son 16 y 12 mm, el primero para losas gruesas y donde se espera un mayor número de vehículos pesados que se cambien de carril constantemente (por ej. en vías de cuatro carriles). En el país se ha utilizado normalmente el diámetro de 12 mm. En pavimentos urbanos de bajo tráfico podría utilizarse inclusive 10 mm de manera excepcional. El acero de amarre debe ser siempre corrugado, como sugerencia constructiva, la parte central de la barra (unos 15 cm) debe ser pintado con pintura anticorrosiva ya que, aunque en menor grado que el acero de barras pasajuntas transversales, está sujeto a condiciones de corrosión. El método de diseño sugerido por DIPAV 2.0 requiere que el diseñador defina el diámetro.

**Distancia al Borde Libre**

La distancia al borde libre más cercano es la distancia desde la junta longitudinal que se analiza al borde libre de la losa, en otras palabras sería el ancho de la losa o losas hasta el borde del hormigón. Esta distancia se introduce en metros

**Porcentaje de Resistencia a la Tracción**

Es el coeficiente de seguridad que reduce la tensión del acero para evitar la aparición de fluencia en el mismo y por tanto la apertura de la junta longitudinal, este valor

típicamente es de 75%, sin embargo podría variarse en función a la mayor o menor seguridad que se desee.

### **Separación entre barras de amarre**

Como un primer resultado, se determina el espaciamiento entre barras de amarre en base al espesor de la losa, calidad del acero y el diámetro de la barra de amarre. El peso específico del hormigón se asume como  $2,300 \text{ Kg/m}^3$ . Si se desea usar un peso unitario diferente de  $2300 \text{ kg/ m}^3$ , aplique la siguiente corrección:

$$As_{(\text{nuevo})} = As_{(\text{calc})} \times \text{Peso Unitario Nuevo [Kg/m}^3\text{]} / 2,300$$

Sin embargo, este valor no tiene una incidencia muy significativa. Por otra parte, se recomienda un espaciamiento máximo de 1.20 m. Adicionalmente, es importante el criterio del diseñador para que se utilice siempre un número entero de barras por losa para que no coincida una barra de amarre en la misma posición de las barras pasajuntas, de modo que el valor de cálculo debe modularse de acuerdo a la longitud de las losas.

### **Longitud de Barras de Amarre**

El segundo resultado se determina en función de la longitud de anclaje que requiere la barra para no fallar por deslizamiento, por este motivo para las barras de amarre siempre se utiliza barras corrugadas. La longitud calculada por DIPAV 2.0 es la mínima requerida, de manera que esta debería redondearse a un valor práctico mayor al indicado.

### **b.- Reservorio de la Junta y Diseño de Sellador**

Esta opción permite el diseño del reservorio para alojar el material de sello de la junta transversal que es un elemento muy importante en el diseño de pavimentos rígidos. Un reservorio de junta adecuado ayudará a asegurar el desempeño apropiado del sellador a lo largo de la vida del pavimento.

Los datos que se requieren para dimensionar el reservorio son: el coeficiente de retracción térmica del hormigón, el rango de temperatura estimado desde el momento

de la colocación del hormigón a una temperatura mínima promedio, el coeficiente de retracción por secado del hormigón y un factor de fricción losa-base (diferente del coeficiente de rozamiento).

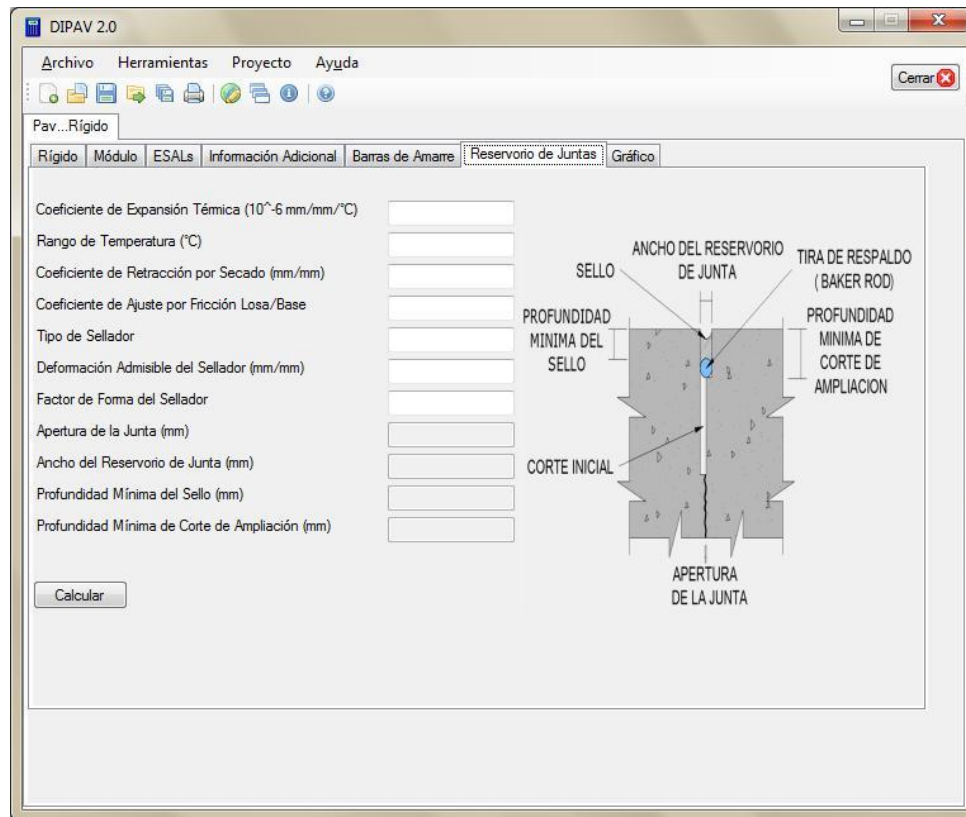


Figura 3.15. Diseño de reservorio de juntas y sellador

Las propiedades requeridas son: el material del sellador, su deformación admisible y el factor de forma aplicable, el espaciamiento de juntas transversales (que ha sido introducido en la pestaña **Información Adicional**). A continuación se analizan en detalle estos datos.

Los resultados a obtener serán el ancho mínimo recomendado de la abertura de juntas y la profundidad a la cual se debe colocar el sellador, sin embargo, en algunos casos estos valores pueden ser menores a los mínimos especificados por el fabricante, en este caso deberán usarse estos últimos.

### **Coefficiente de Expansión Térmica del Hormigón**

El coeficiente de expansión térmica del hormigón es una medida del cambio de dimensiones del material cuando está sujeto a variaciones de temperatura. El coeficiente de expansión térmica depende de factores como la relación agua cemento, la edad del hormigón, el contenido de cemento y la humedad relativa del ambiente, sin embargo, el tipo de agregado grueso en la mezcla tiene el mayor impacto en este coeficiente. Algunas guías para estimar este valor, en base a diferentes tipos de agregado grueso se presentan a continuación. Debe notarse que este cuadro está bajo revisión y debe usarse con precaución.

Tabla 3.7. – Coeficiente de expansión térmica en función al tipo de agregado grueso

<b>Tipo de Agregado Grueso</b>	<b>Coeficiente de Expansión Térmico 10<sup>-6</sup> mm/mm/°C (10<sup>-6</sup> pg/pg/°F)</b>
Cuarzo	11.91 (6.6)
Arenisca	11.7 (13.5)
Grava	10.8 (6.0)
Granito	9.5 (5.3)
Basalto	8.6 (4.8)
Caliza	6.8 (3.8)

Ref. AASHTO Guía de Diseño Parte II. Sección 2.5.2 y Tabla 2.10

### **Rango de Temperatura de Colocación del Hormigón a una Temperatura Mínima**

El rango de temperatura que se requiere para el cálculo de la apertura de juntas es la diferencia entre la temperatura al momento de vaciado del hormigón y la mínima promedio en la zona del proyecto. Este rango permite estimar el acortamiento de la losa.

### **Coefficiente de Retracción por Secado de la Losa de Hormigón**

La retracción del hormigón se debe a la evaporación paulatina del agua de la mezcla, que origina también un cambio en su longitud. Depende del contenido de cemento;

los tipos de mezclas y agregados utilizados; el uso de aditivos; el contenido de agua; el método y condiciones de curado y los distintos tipos de agregados, se requiere estimar un valor de retracción a los 28 días. En ausencia de mayores datos, se presenta a continuación un valor de retracción estimado en base al esfuerzo de tensión indirecto, cuyo ensayo se realiza bajo ASTM C 476. Como un valor aproximado, puede considerarse que la resistencia a la tracción indirecta estará en el orden del 86% del módulo de ruptura  $S'c$ .

Tabla 3.8. Retracción en función a la resistencia a la tensión indirecta

Tensión Indirecta 28 días Esfuerzo en KPa (psi)	Retracción, mm/mm o pg/pg
menor a 2,100 (300)	0.0008
2.800(400)	0.0006
3.400(500)	0.00045
4.100(600)	0.0003
mayor a 4.800 (700)	0.0002

Ref. AASHTO Guía de Diseño Parte I. Sección 2.5.2 y Tabla 2.9.

### **Coefficiente de Ajuste por Fricción entre Losa y Subbase**

Con los valores hasta ahora presentados se podría considerar que la losa puede moverse libremente, sin embargo, al existir una cierta fricción con la capa subyacente, se requiere utilizar un factor de ajuste que considere la restricción al movimiento en la junta transversal. Los valores recomendados son simplemente 0.65 para una base estabilizada (como ser una base tratada con cemento u hormigón pobre), y un valor de 0.80 para una base granular. Ref. Guía de Diseño AASHTO Parte II. Sección 3.3.3.

### **Tipo de Sellador**

Existen tres categorías de materiales para sellar juntas transversales que se pueden especificar: bituminosos; silicona y materiales preformados. Todos los materiales comúnmente usados caen en una de las siguientes categorías:

**Selladores Bituminosos:** Los selladores en base a petróleo son una familia de materiales de sellado, termoplásticos moldeados en la obra, que pueden ser aplicados en caliente o en frío, pueden ser modificados con una variedad de productos, incluyendo fibras, goma y polímeros. Su vida útil está entre 5 a 10 años dependiendo del producto. Deben cumplir con las normas ASTM D1190, D3405, D3406 y D1850.

**Silicona o Poliuretano:** Los selladores de silicona se aplican en frío, son materiales termoajustables que tradicionalmente, han requerido de herramientas después de colocados para lograr una forma adecuada, sin embargo, actualmente existen selladores autonivelantes que no requieren de herramientas para su formado. La durabilidad de este tipo de productos varía entre 10 a 15 años.

**Selladores Preformados:** Selladores de juntas preformados, fabricados en base a neopreno, goma u otro material sintético, tienen un diseño de sección transversal que mantiene el sellador comprimido en la junta, otros selladores requieren de la aplicación de un pegamento o de un lubricante.

Los selladores de base bituminosa, silicona o poliuretano, se moldean en obra y para el diseño del sellador se requiere conocer su deformación admisible, normalmente se diseñan a la tracción y con este dato se puede determinar el ancho del reservorio de la junta. Con el factor de forma recomendado se puede determinar la profundidad del reservorio.

#### **Deformación Admisible del Sellador.**

La deformación admisible del sellador es un valor especificado por el fabricante y toma en cuenta las características específicas de tracción del material de sello. Esta información normalmente está disponible en las cartillas de cada producto. Un valor típico para un sellador en base a petróleo es de 0.25 y para selladores de silicona o poliuretano es de 0.50. El valor representa el porcentaje al cual se puede elongar el material de sello. Este concepto no es aplicable a selladores preformados puesto que

ellos se introducen comprimidos dentro de la junta. Ref. Guía de Diseño AASHTO Parte II. Sección 3.3.3.

#### **Factor de Forma del Sellador.**

Es la relación recomendable entre la profundidad y el ancho  $y$  (P/A) del sellador. Para selladores en base a petróleo esta relación varía entre 1:1 hasta 2:1, es decir que la profundidad dentro de la caja del sellador puede variar entre una a dos veces el ancho. Para selladores de silicona o poliuretano, estos valores varían en función del fabricante siendo la más común de 1:2. Este factor debe ser introducido en el programa como un decimal (0.5 para un factor de forma de 1:2). Es importante revisar siempre la cartilla de recomendaciones del fabricante, puesto que existen valores mínimos recomendados tanto para el ancho así como para el espesor. Otros productos también cuentan con factores de forma recomendados por el fabricante.

#### **Apertura de la junta**

La apertura calculada de la junta corresponde al valor máximo esperado en una junta de contracción que ocurre a la temperatura mínima promedio, de acuerdo con la Guía de Diseño AASHTO Parte II. Sección 3.3.3. Ese valor de la apertura se utiliza para determinar el ancho requerido del reservorio del sellador.

#### **Ancho del Reservorio de Junta**

El ancho mínimo recomendado para el reservorio de la junta es una función de la apertura calculada de la junta y de la deformación admisible para un sellador específico. Se calcula al dividir la apertura de la junta entre la deformación admisible del sellador.

#### **Espesor mínimo del sello**

Es el espesor mínimo calculado en la parte central del sellador, es decir que en ningún lugar del reservorio debería existir un espesor menor. Este valor se calcula al multiplicar el ancho del reservorio de la junta por el factor de forma del sellador. Es

importante referirse a las especificaciones del proveedor del material ya que, especialmente cuando se utilizan juntas próximas los valores mínimos recomendados pueden resultar mayores a los calculados.

Usualmente el ancho mínimo para la apertura de juntas es de 6mm.

### **Profundidad Mínima del Sello**

Se refiere a la profundidad que debe tener el material del sello en la parte central de la junta. Este valor se calcula mediante el factor de forma y se refiere únicamente al material del sello de juntas.

Cuanto se utilizan espaciamentos cortos y bajos rangos de temperatura, tanto la apertura como la profundidad pueden estar fuera de los límites prácticos, por este motivo es importante revisar las recomendaciones de los fabricantes antes de adoptar un valor.

### **Profundidad Mínima de Corte de Ampliación**


Se refiere a la profundidad total de ampliación para alojar el material del sello de juntas y la tira de respaldo denominada en inglés “backer rod”. Esta tira de respaldo, de sección circular es un material fácilmente compresible que permite reducir el volumen de sellador requerido evitando que éste se adhiera a la parte inferior, de manera que el sello trabaje únicamente a tracción o compresión.

Cabe aclarar que inicialmente se realiza un corte de plano de debilitamiento para inducir la fisuración por debajo de la junta transversal, este corte debe realizarse a 1/3 del espesor de la losa, sin embargo, para alojar el material de sello, se debe realizar un corte de ampliación que contemple el ancho calculado del sellador y una profundidad en la que se establezca tanto el espesor de ampliación así como el diámetro de la tira de respaldo (backer rod). En función del ancho, DIPAV calcula un diámetro de la tira de respaldo algo mayor que el ancho calculado, de manera que este elemento no se mueva dentro de la junta. Adicionalmente, es necesario considerar que el sello debería estar remetido dentro de la junta en al menos 3 mm en la parte central para protegerlo del tráfico vehicular.

Puesto que los selladores deben desplazarse 3 mm, este valor se añade al cálculo para la profundidad del sellador, de este modo, para juntas transversales, la profundidad mínima es de 12.5mm y para juntas longitudinales 9.5 mm. La profundidad sugerida por DIPAV es la mínima requerida y el diseñador debe hacer un ajuste por razones prácticas en función del diámetro de tira de respaldo disponible y la ovalización que ésta pueda presentar. Ref. AASHTO Guía de Diseño Parte II. Sección 3.3.3

### 3.1.6.1.3. Visualización de los resultados de diseño.

Aparte de la presentación de los resultados en pantalla y la impresión de los mismos o su exportación a archivos de MS-Word o MS-Excel para posterior procesamiento, tanto los módulos de diseño de pavimentos rígidos y flexibles cuentan con Gráficos de Sensibilidad entre espesor de losa (o número estructural) y cada una de las variables de diseño. Para acceder a los gráficos de sensibilidad, se debe hacer clic en la pestaña “*Gráficos*”.

En la pestaña “*Gráficos*” aparece un sub botón *Cerrar Gráfica*  que permite como su nombre lo dice cerrar los gráficos que no nos sirvan y que no necesitemos guardar y/o exportar.

En la parte inferior de la sub-pestaña de gráficos se encuentra dos botones que permiten copiar y guardar la gráfica que se encuentre activa. El botón copiar, copia al portapapeles el gráfico activo y permite pegarlo en cualquier programa que deseemos a través de la combinación de teclas *Ctrl+v*.

El botón guardar, permite guardar la gráfica activa en formato jpg en cualquier lugar del disco duro y/o medio extraíble del ordenador.

### 3.1.6.1.4. Gráficos de Sensibilidad.

Una vez en la pestaña *Gráficos* que se muestra en la fig. 3.14, se podrán graficar todas las variables empleadas en el diseño estructural del pavimento vs. El espesor.

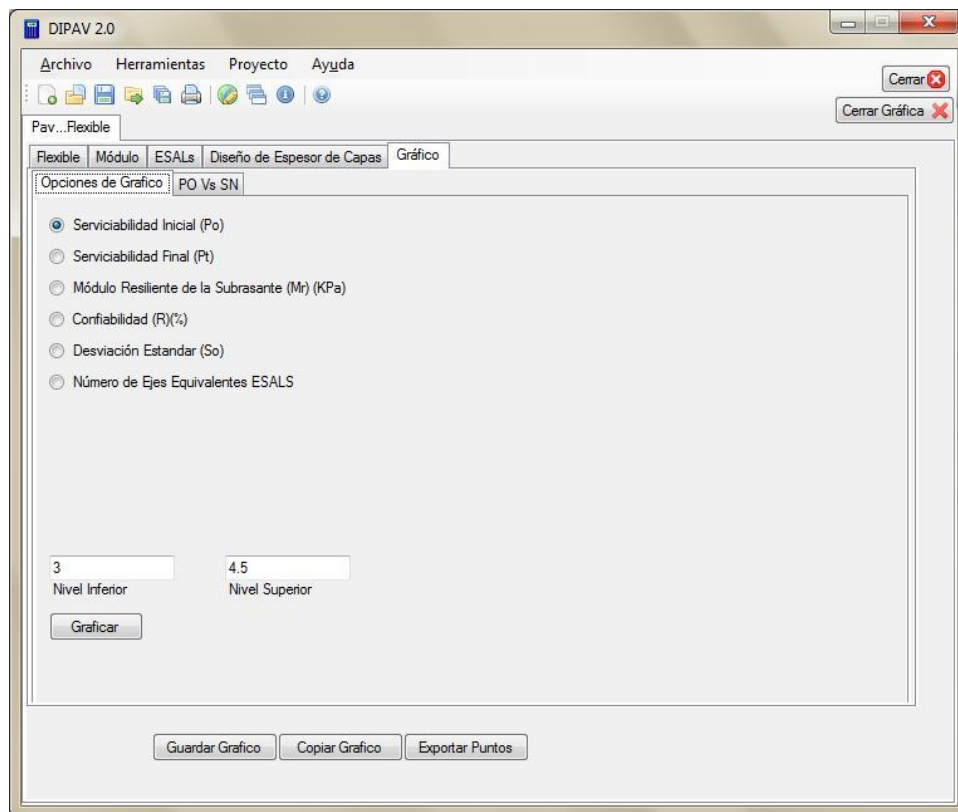


Figura 3.16. Opciones de gráficos de sensibilidad

Es necesario seleccionar una de las variables e introducir los rangos en los que desea mostrar la variación en las casillas “**Valor Inferior**” y “**Valor Superior**”. DIPAV 2.0 Graficará la sensibilidad de espesor versus la variable seleccionada en el rango requerido. DIPAV 2.0 revisa que los valores inicial y final estén dentro de los rangos establecidos por la Guía AASHTO para evitar incongruencias. El gráfico terminado puede imprimirse directamente, guardarse o copiarse al portapapeles y pegar en otro programa a elección, adicionalmente, haciendo clic en el botón **Exportar Puntos** se exportan a una Hoja de Excel los valores de la gráfica para poder crear gráficas personalizadas. Estos gráficos pueden ser muy útiles para la verificación en obra de determinadas variables que puedan estar unas por encima y otras por debajo de los valores especificados y permitirían analizar el probable desempeño de un pavimento en comparación con los datos originales de diseño.

Adicionalmente, en ésta nueva versión de DIPAV 2.0, se ha introducido la función de

zoom para los gráficos de sensibilidad, lo que permite agrandar un área determinada de la gráfica creada y así poder analizar el comportamiento de la misma en rangos pequeños.

Para activar la función de zoom de la gráfica de sensibilidad bastará con seleccionar el área del gráfico que se desea agrandar haciendo clic con el mouse y sin soltar dibujar el área y soltar el botón izquierdo (clic). Esto agrandará el área seleccionada y nos permitirá analizar el gráfico con mayor detalle.

Para desactivar la función de zoom, bastará con hacer clic en los círculos que aparecen al principio del eje de las abscisas y al final del eje de las ordenadas.

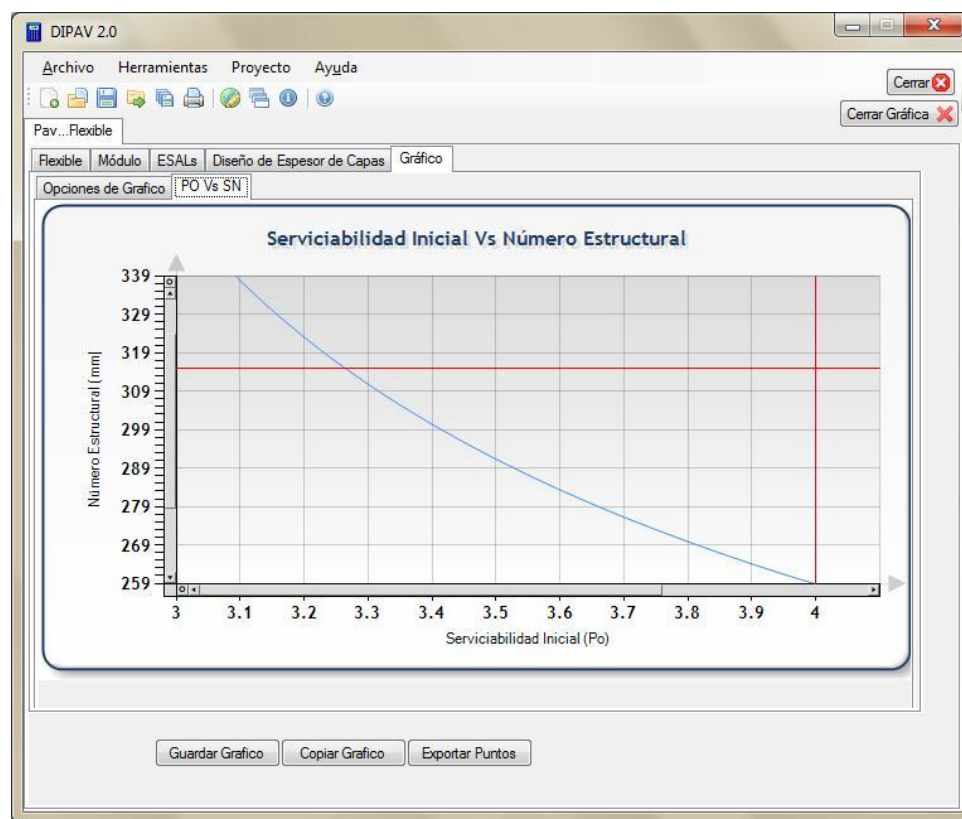


Figura 3.17. Función Zoom para los gráficos.

## **3.2. Programa para diseño de pavimentos rígidos BS-PCA 1984.**

### **3.2.1. Introducción.**

Dentro del diseño de pavimentos rígidos, a nivel nacional los métodos de mayor utilización y difusión han sido los métodos AASHTO y de La Pórtland Concrete América (PCA) en su versión de 1984. Basados en esta consideración se decidió desarrollar una herramienta de programa que facilite la utilización del método de diseño de pavimentos rígidos de la PCA 1984, el cual se considera que será de gran utilidad para facilitar el diseño y la sensibilización de las diferentes variables de método, teniendo presente que para la aplicación del método normalmente se utilizan una serie de ábacos y tablas que aunque son de fácil manejo requieren tiempo para la estimación del espesor el cual se obtiene mediante un proceso iterativo asumiendo inicialmente un valor y verificando que se cumplan los criterios de análisis fijados por el método.

Dentro de este trabajo realizado en el instituto de Postgrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, Inicialmente se presenta un breve resumen de los principales aspectos del método relacionados con las consideraciones básicas, criterios de análisis, y parámetros de diseño y posteriormente se detalla el manejo del programa llamado BSPCA.

### **3.2.2. Consideraciones básicas del método de diseño de pavimentos rígidos PCA 1984:**

Las principales consideraciones del método de diseño son las siguientes:

1. Grado de transferencia de cargas proporcionado en las juntas transversales.
2. Consideración de bermas de concreto adyacentes a las losas.
3. Posibilidad de utilizar subbases de concreto pobre, granulares, y estabilizadas.
4. Planteamiento de dos criterios de análisis: fatiga y erosión.

### **3.2.3. Criterios de análisis del método de diseño de pavimentos PCA 1984**

El método básicamente establece los siguientes criterios de análisis:

#### **3.2.3.1. Análisis de Fatiga.**

El criterio de fatiga estudia la falla o el agrietamiento que se produce por exceder el número de repeticiones de carga admisibles. Para ello se analiza el nivel de esfuerzos críticos en el concreto debidos a las continuas aplicaciones de las cargas del tránsito y que ocurren cuando la carga se ubica al borde del pavimento y en la mitad de la longitud de la losa.

#### **Determinación de esfuerzos de flexión en las losas**

Las losas de pavimento son elementos estructurales cuya función es transportar cargas transversales debidas al tránsito vehicular. El objetivo del análisis es determinar si la estructura es adecuada para soportar dichas cargas. Para ello se debe comparar la magnitud de los esfuerzos desarrollados por las cargas aplicadas y la admisible por el material que se utiliza. Nace entonces la necesidad de diferenciar dos conceptos: *Cargas*: son las fuerzas que actúan en el elemento y *Reacciones*: que son las fuerzas que contrarrestan el efecto de esas cargas, ambas pueden ser externas o internas entendiendo por fuerzas externas aquellas que actúan en el exterior del elemento y no varían su magnitud si se aplican en cualquier punto a lo largo de su línea de acción y las fuerzas internas, por su parte, son un efecto de fuerzas en el interior de la entidad y se ven afectadas por las sustituciones de las cargas externas.

“El esfuerzo es un concepto básico que se utiliza para denotar la intensidad de una fuerza interna. El esfuerzo se define como la fuerza por unidad de área. Es una base conveniente para analizar la resistencia de una estructura sujeta a carga, y para seleccionar el material y dimensiones más apropiadas en el diseño”.

La resistencia interna que debe tener el elemento estructural para mantener el

equilibrio en lo que respecta a la tendencia a rotar en un plano paralelo a las cargas aplicadas se denomina *momento flexionante* ( $M$ ) y los esfuerzos correspondientes son *esfuerzos flexionantes* ( $\sigma$ ). La fuerza transversal interna necesaria para mantener el equilibrio se le llama *fuerza de corte* ( $V$ ) y los esfuerzos son *cortantes* ( $\tau$ ). Cuando las reacciones en los apoyos pueden ser obtenidas usando las ecuaciones de equilibrio en todas las direcciones se dice que el elemento es estáticamente determinado. El modelo que usa la PCA para el análisis de las losas de pavimento se encuentra representado en la siguiente figura:

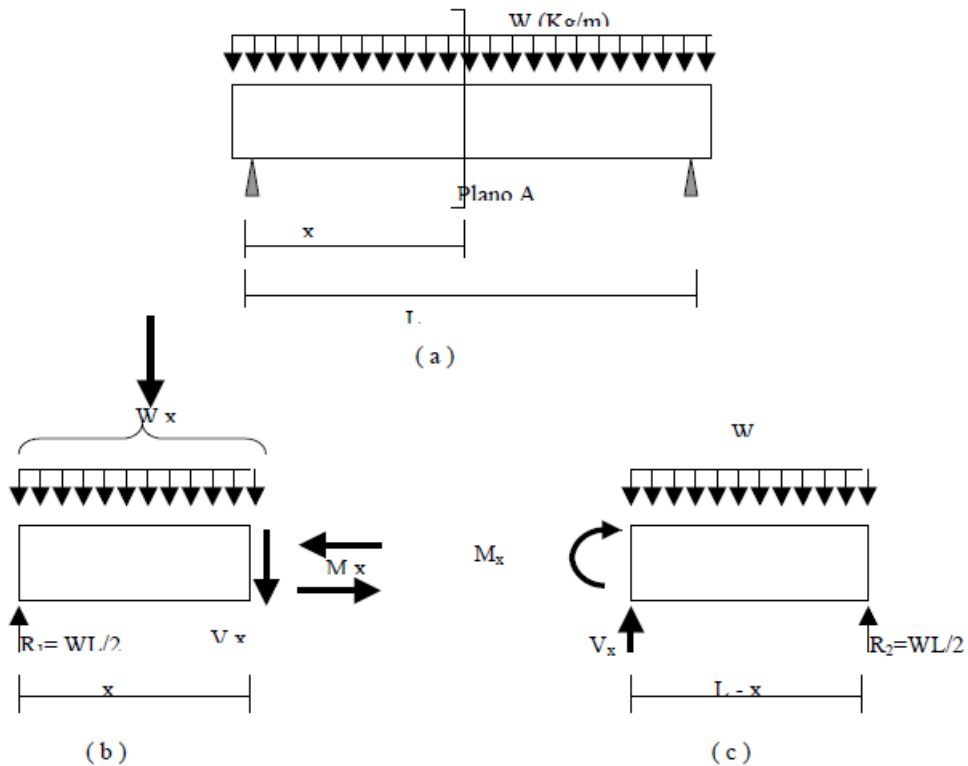


Figura 3.18. Corte longitudinal de una losa simplemente apoyada (a), diagrama de cuerpo libre (b y c)

Este modelo sugiere el cálculo de los esfuerzos de borde a partir del análisis de una viga simplemente apoyada, caso este que se presenta, cuando la losa por efecto del alabeo se apoya únicamente en los extremos y pierde el soporte a lo largo de la losa

debido a la curvatura hacia arriba, que trata de ser vencida cuando se le aplican las cargas de los ejes vehiculares. La relación existente entre el esfuerzo flexionante y el momento flexionante está dada bajo las siguientes suposiciones:

- a. Los planos transversales antes de la flexión, permanecen planos después de la flexión.
- b. El material de la losa de concreto es elástico, isotrópico y homogéneo.
- c. La sección transversal es constante y prismática.
- d. No existen efectos de torsión y pandeo.
- e. La carga debida al tránsito es un momento flexionante puro.

Lo primero que se debe hacer es aislar una pequeña porción de la losa como muestra la figura 3.21 en donde se entiende que la única fuerza que está actuando sobre la estructura es el momento  $M$  y es constante a lo largo de  $dx$ . Las fibras inferiores al eje neutro están estiradas y las fibras superiores están comprimidas, el eje neutro está ubicado donde no hay ni compresión ni tensión.

Partiendo del principio 1: las caras planas permanecen planas, resulta que la deformación en el eje  $x$  es proporcional a la distancia al eje neutro y está dada por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_x = \frac{y d\theta}{dx} = \frac{y}{\rho}$$

Dónde:

$\varepsilon_x$  = deformación unitaria en la dirección  $x$ .

$y$  = distancia de la fibra al eje neutro.

$d\theta$  = variación del ángulo.

$dx$  = variación de longitud.

$\rho$  = distancia del centro de giro hasta el eje neutro.

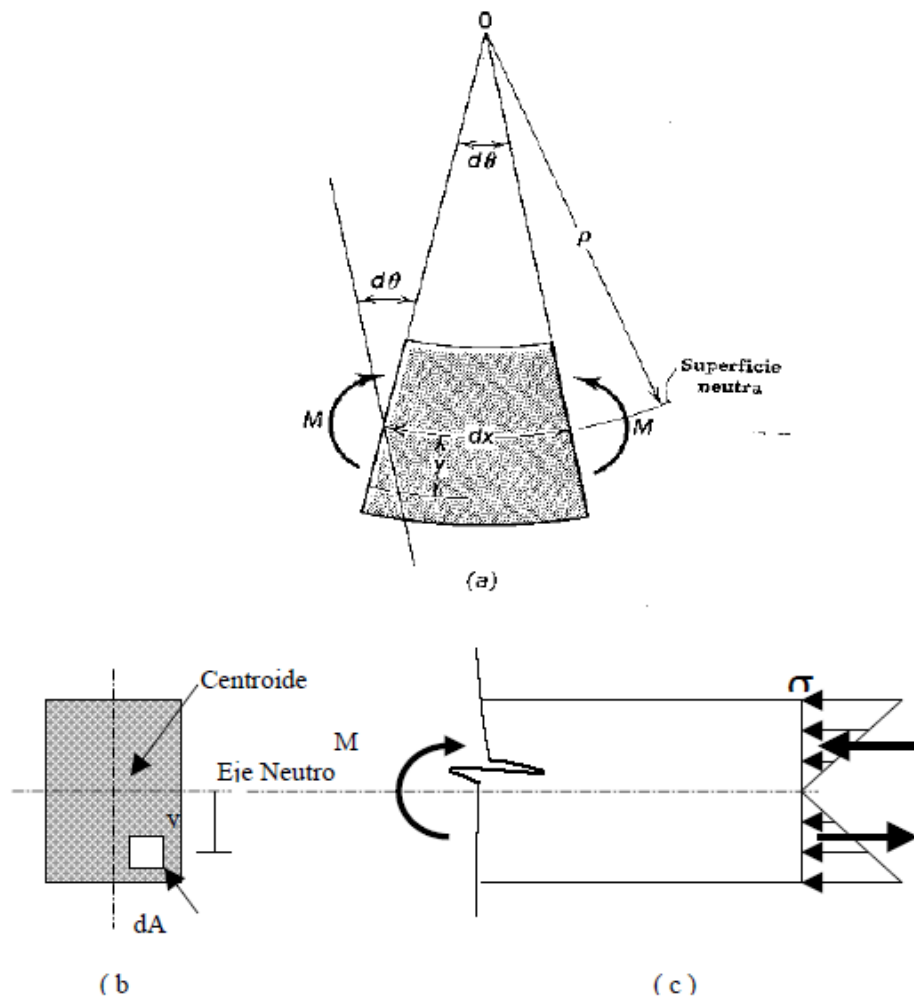


Figura 3.19. Elemento diferencial de una losa

Es momento de suponer que el material es totalmente elástico, isotrópico y homogéneo según el principio 2, por lo cual obedece a la ley de Hooke donde el módulo de elasticidad  $E$  está definido por la relación entre el esfuerzo ( $\sigma$ ) y la deformación unitaria ( $\epsilon$ ), como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E_x = \frac{\sigma_x}{\epsilon_x}$$

Reemplazando se tiene:

$$\sigma_x = E \frac{y}{\rho}$$

Esta ecuación indica que el esfuerzo varía en forma proporcional con la distancia de la fibra analizada hasta el eje neutro. Por encima del eje neutro las fibras están a compresión y por debajo del eje neutro se encuentran a tracción.

En la figura 3.21 (c) los esfuerzos a compresión deben ser iguales a los esfuerzos a tensión y su acción en el área transversal forma un par que equilibra el momento  $M$ . La variación de la fuerza  $dF$  que actúa sobre el elemento  $dA$  de la figura 3.21 (b) es:

$$dF = \sigma_x dA = E \frac{y}{\rho} dA$$

El aumento correspondiente al momento es:

$$dM = dF * y = \left( \frac{E * y^2}{\rho} \right) dA$$

Por lo tanto el momento total que se debe resistir es:

$$M = \int_A \frac{E * y^2}{\rho} dA = \frac{E}{\rho} \int_A y^2 dA$$

Donde  $\int_A y^2 dA = I$  conocido como el momento de inercia del área de la sección transversal y  $M$  será:

$$M = \frac{E}{\rho} I$$

Trabajando con las anteriores ecuaciones se obtiene la siguiente ecuación de esfuerzo:

$$\sigma_x = M \frac{y}{I}$$

Donde  $y$  representa la distancia desde el eje neutro hasta una fibra en particular de la sección transversal, por lo tanto el mayor esfuerzo se presenta en las caras donde  $y = h / 2$ ,  $b$  es el ancho de la franja rectangular y para el caso se toma como la unidad y el momento de inercia  $I$  al ser solucionado para una sección transversal como se muestra en la siguiente figura:

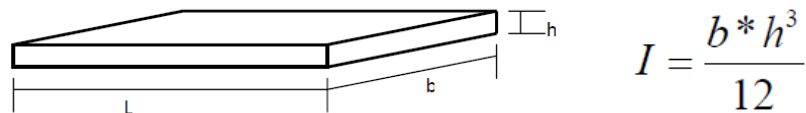


Figura 3.20. Geometría de una losa de pavimento

Por ultimo trabajando con las ecuaciones anteriores se llega a la ecuación de esfuerzo la cual se muestra a continuación:

$$\sigma_x = \frac{6M}{h^2}$$

La Portland Cement Association calculó los esfuerzos  $\sigma_x$  con el uso del programa de elementos finitos JSLAB, considerando diferentes tipos de ejes, la existencia o no de apoyo lateral, el efecto de los vehículos que viajan muy cerca al borde de la losa del pavimento, el tipo de superficie de apoyo y el coeficiente de variación del concreto de las losas. Estos resultados fueron corroborados en campo con ensayos a escala real

que incluyeron los datos de comportamiento y estudios de falla de pavimentos de la prueba vial AASHTO.

El nivel de esfuerzos resultantes del programa de elementos finitos calculados para cada tipo de eje, en combinación con diferentes superficies de apoyo, espesores de losa de pavimento y la existencia o no de soporte lateral es de tipo numérico y está consignada en las diferentes tablas de esfuerzo equivalente comúnmente usadas por los diseñadores de pavimentos.

La PCA combinó los esfuerzos obtenidos a través del JSLAB con la teoría de análisis estructural y diseñó las gráficas para análisis de fatiga, igualmente conocidas por los diseñadores, para lo cual le fue necesario afectar a la última ecuación por cuatro factores que representan, cada uno de ellos, diferentes condiciones obteniendo la siguiente fórmula:

$$\sigma_x = \frac{6M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$$

Dónde:

*f1* = Factor de ajuste debido al tipo de eje y presión de contacto.

*f2* = Factor de ajuste debido al tránsito de camiones cerca al borde de la losa.

*f3* = Factor de ajuste debido al tipo de apoyo lateral.

*f4* = Factor debido a las características de desarrollo de resistencia del concreto y variaciones en la fabricación (coeficiente de variación = 15%).

Para determinar el valor o la ecuación que representa cada uno de los valores mencionados, la PCA se basó en diversos estudios que dieron como resultados los siguientes sistemas de ecuaciones dependiendo del análisis de cada diseño:

**Sistema de ecuaciones para diseño por Fatiga para pavimentos rígidos  
Sin apoyo lateral – Eje Simple.**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$0.0095 * l^3 - 1.3469 * l^2 + 130.82 * l + 134.41$	
<b>Radio de rigidez relativa</b> <i>l</i> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.06} * \left(\frac{PS}{18}\right)$ Si $P > 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.08} * \left(\frac{PS}{18}\right)$	$PS = \text{Peso del eje simple (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b>f4</b>	0.9526	

**Sistema de ecuaciones para diseño por Fatiga para pavimentos rígidos  
Sin apoyo lateral – Eje Tandem.**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$-0.0103 * l^3 + 1.6679 * l^2 + 14.785 * l + 977.43$	
<b>Radio de rigidez relativa</b> <i>l</i> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 50 \text{ Kips}$ $\left(\frac{48}{PT}\right)^{0.06} * \left(\frac{PT}{36}\right)$ Si $P > 50 \text{ Kips}$ $\left(\frac{48}{PT}\right)^{0.08} * \left(\frac{PT}{36}\right)$	$PT = \text{Peso del eje tandem (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b>f4</b>	0.9526	

**Sistema de ecuaciones para diseño por Fatiga para pavimentos rígidos  
Sin apoyo lateral – Eje Tridem.**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector <math>M</math></b> (lb-pulg)	$-0.0485 * l^3 + 5.5793 * l^2 - 135.53 * l + 2339.9$	
<b>Radio de rigidez relativa <math>l</math></b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b><math>f1</math></b>	Si $P < 75 \text{ Kips}$ $\left(\frac{72}{PTR}\right)^{0.06} * \left(\frac{PTR}{54}\right)$ Si $P > 75 \text{ Kips}$ $\left(\frac{72}{PTR}\right)^{0.08} * \left(\frac{PTR}{54}\right)$	$PTR = \text{Peso del eje tridem (Kips)}$
<b><math>f2</math></b>	0.894	
<b><math>f3</math></b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b><math>f4</math></b>	0.9526	

**Sistema de ecuaciones para diseño por Fatiga para pavimentos rígidos  
Con apoyo lateral – Eje Simple.**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector <math>M</math></b> (lb-pulg)	$0.0047 * l^3 - 0.7628 * l^2 + 105.69 * l - 154.61$	
<b>Radio de rigidez relativa <math>l</math></b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b><math>f1</math></b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.06} * \left(\frac{PS}{18}\right)$ Si $P > 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.08} * \left(\frac{PS}{18}\right)$	$PS = \text{Peso del eje simple (Kips)}$
<b><math>f2</math></b>	0.894	
<b><math>f3</math></b>	$0.8742 + 0.01088 * k^{0.447}$	
<b><math>f4</math></b>	0.9526	

**Sistema de ecuaciones para diseño por Fatiga para pavimentos rígidos  
Con apoyo lateral – Eje Tandem.**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$-0.0075 * l^3 + 1.2281 * l^2 + 17.333 * l + 660.88$	
<b>Radio de rigidez relativa</b> <i>l</i> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 50$ Kips $\left(\frac{48}{PT}\right)^{0.06} * \left(\frac{PT}{36}\right)$ Si $P > 50$ Kips $\left(\frac{48}{PT}\right)^{0.08} * \left(\frac{PT}{36}\right)$	$PT = \text{Peso del eje tandem (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.8742 + 0.01088 * k^{0.447}$	
<b>f4</b>	0.9526	

**Sistema de ecuaciones para diseño por Fatiga para pavimentos rígidos  
Con apoyo lateral – Eje Tridem.**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$-0.018 * l^3 + 2.0704 * l^2 - 28.234 * l + 1105.9$	
<b>Radio de rigidez relativa</b> <i>l</i> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 75$ Kips $\left(\frac{72}{PTR}\right)^{0.06} * \left(\frac{PTR}{54}\right)$ Si $P > 75$ Kips $\left(\frac{72}{PTR}\right)^{0.08} * \left(\frac{PTR}{54}\right)$	$PTR = \text{Peso del eje tridem (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.8742 + 0.01088 * k^{0.447}$	
<b>f4</b>	0.9526	

Basados en las leyes de fatiga, el consumo de esfuerzos debido a las cargas del tránsito está dado por la relación entre el esfuerzo aplicado ( $\sigma_x$ ) y el módulo de rotura del concreto (MR). El diseño considera la relación entre el esfuerzo debido a la carga aplicada comparado con el esfuerzo que es capaz de resistir el concreto a la tensión. En la medida en que el módulo de rotura del concreto (MR) sea más alto, la relación de esfuerzos tiende a ser menor, lo que sin lugar a dudas se refleja en menor espesor de pavimento o mayor número de repeticiones admisibles. Los límites de repeticiones de carga para cada caso están dados de la siguiente manera:

✓ Para  $\frac{\sigma_x}{MR} \geq 0.55$

$$\log N = 11.737 - 12.077 * \frac{\sigma_x}{MR}$$

✓ Para  $0.45 < \frac{\sigma_x}{MR} < 0.55$

$$N = \left( \frac{4.2577}{\frac{\sigma_x}{MR} - 0.4325} \right)^{3.268}$$

✓ Para  $\frac{\sigma_x}{MR} < 0.45$

$$N = \textit{ilimitado}$$

Dónde:

N = número de repeticiones de carga admisibles.

$\sigma_x$  = esfuerzo medido en el borde, generado por la carga aplicada en el centro de la longitud.

MR = módulo de rotura del concreto.

El consumo total por fatiga está dado por la siguiente ecuación:

$$\sum \frac{N_e}{N} * 100$$

Dónde:

$N_e$  = número de repeticiones de carga esperadas.

### 3.2.3.2. Análisis de Erosión.

Para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas, esquinas y controlar así la erosión de la fundación y de los materiales de las bermas, o sea controlar el bombeo, desnivel entre losas y deterioro de las bermas aspectos que son independientes de la fatiga.

La deformación más crítica de las losas de pavimento ocurre en las esquina cuando la carga del eje vehicular está aplicada en o cerca de ella. Según la evaluación vial de la AASHTO la mejor correlación entre la deformación vertical en la esquina y el comportamiento general del pavimento está dada por el trabajo que realiza la esquina de la losa cuando se la somete a la aplicación de cargas del tránsito. El trabajo ( $U$ ) está dado por la siguiente expresión:

$$U = 268.7 * \frac{P^2}{hk^{0.73}}$$

Dónde:

$p$  = presión en la interface losa – superficie de apoyo en psi.

Tomando el modelo de Winkler, esta presión está dada por:  $p = k * w$

$k$  = módulo de reacción de la subrasante en pci.

$h$  = espesor de la losa de concreto en pulgadas.

$w$  = deflexión vertical de la losa en pulgadas.

Reemplazando el valor de  $p$  en la ecuación del trabajo se obtiene:

$$U = 268.7 * \frac{(k * w)^2}{h * k^{0.73}}$$

La ley de comportamiento para determinar el número de repeticiones máximas para el nivel de serviciabilidad final de 3.0 exigido por la PCA, está dado por la ecuación:

$$\log N = 14.524 - 6.777(C_1 U - 9)^{0.103}$$

Donde:

$$C_1 = 1 - \left[ \frac{k}{(500 * h)} \right]^2$$

Este valor de  $C_1$  depende de la calidad del material de apoyo y la fórmula fue tomada del programa PCA diseñado por el ingeniero Francys Bretton de Cemex – Colombia.

El porcentaje de daño debido a erosión, al igual que en el análisis de fatiga depende de la cantidad de repeticiones de carga admisibles ( $N/C_2$ ) en comparación con las repeticiones de carga esperadas ( $Ne$ ):

$$\sum \frac{C_2 * Ne * 100}{N}$$

Dónde:

$C_2 = 0.06$  para pavimentos **sin** apoyo lateral.

$C_2 = 0.94$  para pavimentos **con** apoyo lateral.

A través del programa de elementos finitos JSALB, la PCA determinó las deflexiones verticales en la esquina de la losa producida por cada tipo de eje teniendo en cuenta la existencia o no de pasadores en las juntas y las condiciones de apoyo lateral. Como se mencionó en el análisis de fatiga, estos resultados fueron ampliamente corroborados en modelos a escala real y consignados en las tablas de los diferentes factores de erosión y sus respectivas figuras, que habitualmente se usan para el diseño de pavimentos por este método.

Para sistematizar el análisis por erosión, fue necesario encontrar las expresiones que permitieran calcular las deflexiones ( $w$ ) en la esquina de acuerdo al tipo de eje (simple, tándem o trídem), a las condiciones de apoyo lateral y a la existencia o no de pasadores en las juntas. Para los ejes simples y tándem dichas expresiones fueron tomadas del programa desarrollado por ingeniero Francis Bretton en el año 2000 y relacionando estas también se encontró una expresión para ejes tandem las cuales son las siguientes:

**a. Pavimentos con pasadores de carga y con apoyo lateral.**

**Para eje Simple:**

$$w = \left( 0.018 + \frac{72.99}{l} + \frac{323.1}{l^2} + \frac{1620}{l^3} \right) * \left( \frac{PS}{18} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje Tandem:**

$$w = \left( 0.0345 + \frac{146.25}{l} - \frac{2385.6}{l^2} + \frac{23848}{l^3} \right) * \left( \frac{PT}{36} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje Tridem:**

$$w = \left( 1.0457 + \frac{125.79}{l} - \frac{2632.2}{l^2} + \frac{28563}{l^3} \right) * \left( \frac{PTR}{54} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

Dónde:

$C_3$  = factor de ajuste por camiones en el borde del pavimento = 1.0

$C_4$  = factor de ajuste debido a la forma de transmisión de carga en las juntas transversales = 1.0

$PS$  = carga del eje simple en Kips.

$PT$  = carga del eje tándem en Kips.

$PTR$  = carga del eje tándem en Kips.

$k$  = módulo de reacción de la subrasante en pci.

$$l = \sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$$

$l$  = radio de rigidez relativa en pulgadas

$E$  = módulo de elasticidad del concreto = 4'000.000 psi

$\mu$  = relación de Poisson = 0.15

### b. Pavimentos con pasadores de carga y sin apoyo lateral.

**Para eje Simple:**

$$w = \left( -0.3019 + \frac{128.85}{l} + \frac{1105.8}{l^2} + \frac{3269.1}{l^3} \right) * \left( \frac{PS}{18} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje Tandem:**

$$w = \left( 1.258 + \frac{97.941}{l} + \frac{1484.1}{l^2} - \frac{180}{l^3} \right) * \left( \frac{PT}{36} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje Tridem:**

$$w = \left( 2.9687 + \frac{48.452}{l} + \frac{2547.9}{l^2} - \frac{14917}{l^3} \right) * \left( \frac{PTR}{54} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

Dónde:

$C_3$  = factor de ajuste por camiones en el borde del pavimento = 0.896

$C_4$  = factor de ajuste debido a la forma de transmisión de carga en las juntas transversales = 1.0

### c. Pavimentos sin pasadores de carga y con apoyo lateral.

**Para eje simple:**

$$w = \left( 0.5874 + \frac{65.108}{l} + \frac{1130.9}{l^2} - \frac{5245.8}{l^3} \right) * \left( \frac{PS}{18} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje tandem:**

$$w = \left( 1.47 + \frac{102.2}{l} - \frac{1072}{l^2} + \frac{14451}{l^3} \right) * \left( \frac{PT}{36} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje tridem:**

$$w = \left( 3.1386 + \frac{12.915}{l} + \frac{648.44}{l^2} + \frac{1450.3}{l^3} \right) * \left( \frac{PTR}{54} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

Dónde:

$C_3$  = factor de ajuste por camiones en el borde del pavimento = 1

$C_4$  = factor de ajuste debido a la forma de transmisión de carga en las juntas transversales =

$$C_4 = 1.001 - \left( 0.26363 - \frac{k}{3034.5} \right)^2$$

**d. Pavimentos sin pasadores de carga y sin apoyo lateral.**

**Para eje Simple:**

$$w = \left( 1.571 + \frac{46.127}{l} + \frac{4372.7}{l^2} - \frac{22886}{l^3} \right) * \left( \frac{PS}{18} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje Tandem:**

$$w = \left( 1.847 + \frac{213.68}{l} - \frac{1260.8}{l^2} + \frac{22989}{l^3} \right) * \left( \frac{PT}{36} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

**Para eje Tridem:**

$$w = \left( 2.0252 + \frac{201.63}{l} + \frac{11.061}{l^2} + \frac{1905}{l^3} - \frac{13050}{l^4} \right) * \left( \frac{PTR}{54} \right) * \left( \frac{C_3 * C_4}{k} \right)$$

Dónde:

$C_3$  = factor de ajuste por camiones en el borde del pavimento = 0.896

$C_4$  = factor de ajuste debido a la forma de transmisión de carga en las juntas transversales = 0.95

### 3.2.4. Parámetros de diseño.

Los principales parámetros que considera el método para el diseño son los siguientes:

**Resistencia De La Capa De Apoyo De La Losa de Concreto (K):** El método establece como parámetro de resistencia el valor del módulo de reacción de la capa subrasante cuando la losa va apoyada directamente sobre ella o adopta el valor del módulo de reacción del conjunto Subbase/Subrasante cuando se usan los diferentes tipos de súbbase previstos en el método.

**Transito:** La variable se cuantifica estableciendo el espectro de cargas y el número de repeticiones de cada rango de cargas que se espera en el carril de diseño durante el periodo de diseño. Se plantea también un factor de seguridad de cargas para amplificar la magnitud de la carga representativa de cada rango.

**Periodo De Diseño (T):** Normalmente estas estructuras se diseñan para periodos mayores de 20 años. Este parámetro se considera en la estimación de la variable tránsito.

**Resistencia Del Concreto:** Con respecto a la resistencia del concreto se evalúa mediante el módulo de reacción (Mr), el cual se recomienda que esté en un rango entre 40 y 50 Kg/cm<sup>2</sup>.

**Tipo De Juntas y Bermas.** Con el fin de realizar los análisis de fatiga y erosión el método contempla dentro de sus análisis la incidencia de la protección lateral de las losa de concreto y el tipo de transmisión de cargas en las juntas.

### 3.2.5. Descripción del programa BS-PCA

La pantalla principal de programa BS-PCA es la siguiente:

Figura 3.21. Pantalla principal programa BS-PCA

#### 3.2.5.1. Datos de Entrada

Los datos de entrada para efectuar el diseño de un pavimento rígido son los siguientes:

**Resistencia del Apoyo:** Se podrá introducir el valor K correspondiente a la resistencia de la capa de subrasante ó subbase en cualquiera de las siguientes unidades: MPa/m, Tn/m<sup>3</sup>, PCI.

**Espesor de la Losa:** En este campo se deberá digitar el espesor de losa propuesta, el espesor podrá tener cualquiera de las siguientes unidades: mm, pulgadas.

**Módulo de Rotura de la Losa:** Valor que corresponde al módulo de rotura de la losa a construir, puede estar dada en las siguientes unidades: Mpa, Kg/cm<sup>2</sup>, PSI.

**Bermas:** Se tendrá la posibilidad de seleccionar si el pavimento tendrá bermas ó no.

 Con Bermas

**Pasadores:** Se tendrá la posibilidad de seleccionar si el pavimento tendrá pasadores ó no.

 Con Pasadores

**Tránsito:** El sistema permite la entrada de las cargas de tránsito a ser soportadas por el pavimento discriminado por ejes sencillos, tándem y tridem dadas en kN, Tn ó Kips.

Para cada uno de los ejes se deberán digitar las cargas y repeticiones resultantes del análisis de tránsito de la vía en estudio.

Figura 3.22. Pantalla de introduccion de ejes

El tránsito introducido podrá ser modificado por dos factores que permiten mayorar las cargas ó las repeticiones así:

**Factor de Seguridad de Carga:** Valor que afectará las cargas por eje del tránsito.

Factor de Seguridad Carga :

**Factor de Mayoración de Repeticiones:** Valor que permitirá mayorar las repeticiones de carga por eje digitadas.

Factor de Mayoración de Repeticiones :

### 3.2.5.2. Cálculos

Introduciendo los datos de entrada requeridos, el programa permite calcular los consumos de fatiga (esfuerzo) y erosión haciendo click en el botón.

Datos de entrada:

Resistencia K del Apoyo : 80 Mpa/m

Espesor de la Losa : 190 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 1

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Figura 3.23. Datos de entrada

Los resultados se mostrarán en la parte inferior de la pantalla principal del sistema:

Total Consumo Esfuerzo (%) :	53.1891
Total Consumo Erosión (%) :	29.5886

Los resultados se podrán imprimir en papel haciendo click en el botón.



**3.2.5.3. Análisis de Sensibilidad:** Con el programa BS-PCA se podrán realizar análisis de sensibilidad, con el fin de poder optimizar el diseño del pavimento.

Para realizarlo se deberá ejecutar la opción Sensibilidad/Análisis de Sensibilidad del menú del programa.



Para realizar un análisis de sensibilidad con el programa se requerirá de la siguiente información:

	Unidad	Inicial	Final	Paso
Resistencia K del Apoyo :	Mpa/m	20	180	10
Espesor de la Losa :	mm	100	350	10
Módulo de Rotura Losa :	Mpa	4	5	0.2
Factor Mayoración de Repeticiones :		1	100	5

Con Bermas  
 Con Pasadores

Total Consumo Esfuerzo (%) : 53.1891

Figura 3.24. Analisis de Sensibilidad

**Rango de Resistencias del Apoyo a Analizar:** Valores inicial y final de los valores K del apoyo a ser procesados por el sistema.


**Rango de Espesores a Analizar:** Valores inicial y final de los valores de espesores de pavimento a ser analizados por el sistema.

**Módulo de Rotura de la Losa:** Valores inicial y final de los valores de los módulos de rotura de la losa a ser analizados por el sistema.

**Factores de Mayoración las Repeticiones de Carga:** Valores inicial y final de los factores de Mayoración a incluir en el análisis.

Para el análisis de sensibilidad se podrá seleccionar si el pavimento tendrá bermas y/o pasadores.

#### 3.2.5.4. Guardar o Cargar Proyectos

El programa BS-PCA permite grabar la información analizada, para lo cual se deberá asignar un nombre haciendo click en el botón. 

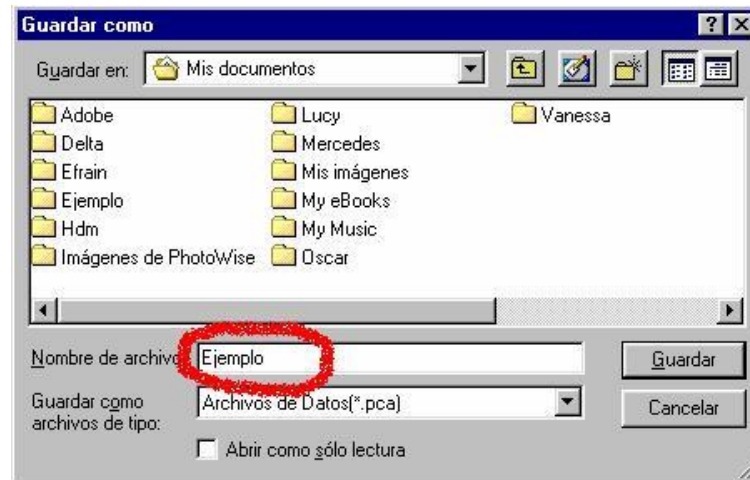



Figura 3.25. Guardar Proyecto

También permite cargar un proyecto almacenado, para lo cual se deberá hacer click en el botón  y buscar el proyecto a cargar.

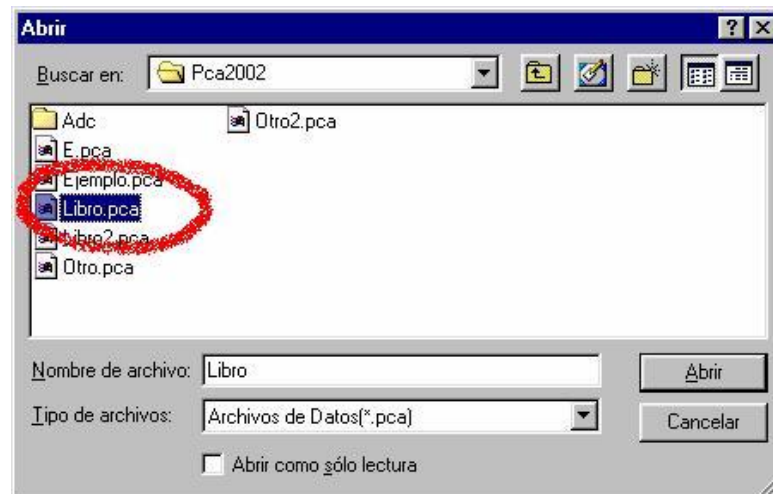


Figura 3.26. Cargar Proyecto

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 4.1. Ubicación del área de influencia del estudio.

El área de influencia del estudio de este proyecto no está definida en forma específica, ya que, para realizar la aplicación práctica de este estudio se trabajara con varios proyectos de diseño de pavimentos rígidos realizados dentro de nuestro departamento.

A continuación se muestra los proyectos que serán utilizados en la aplicación práctica de este estudio:

- Diseño de pavimento rígido en la plataforma de Buses, calles adyacentes y acceso de taxis dentro de la terminal de Buses de Entre Ríos.
- Proyecto pavimento rígido Entre Ríos.
- Diseño final – Asfaltado tramo vial – “Campo pajoso – Carapari – Palos Blancos”.

#### 4.1.1. Ubicación del área de influencia de cada proyecto.

##### **a.- Proyecto “Diseño de pavimento rígido en plataforma de Buses, calles adyacentes y accesos de taxis” en la terminal de Buses de Entre Ríos.**

El área que comprende este proyecto está ubicada en Entre Ríos, capital de la provincia de Burdet O'Connor en el departamento de Tarija al sureste del país. Se encuentra a 110 km de la ciudad de Tarija, la capital del departamento homónimo.

Se localiza a 1230 msnm, en la confluencia del Río Tambo y uno de sus afluentes. La ciudad está bordeada por una sierra montañosa de norte a sur y emplazada en un valle con forma de triángulo alargado de 10 km de longitud.

La temperatura media anual de Entre Ríos es de 20,9 °C y las precipitaciones anuales rondan los 1300 mm, concentrándose fundamentalmente en verano, de enero a marzo.

Su población, según el censo de 2001, era de 2413 personas; en 2007 se ha elevado a aproximadamente 2800. La región de Entre Ríos es uno de las principales zonas de asentamiento del pueblo Guaraní, que han habitado la cuenca del Paraná desde hace miles de años.

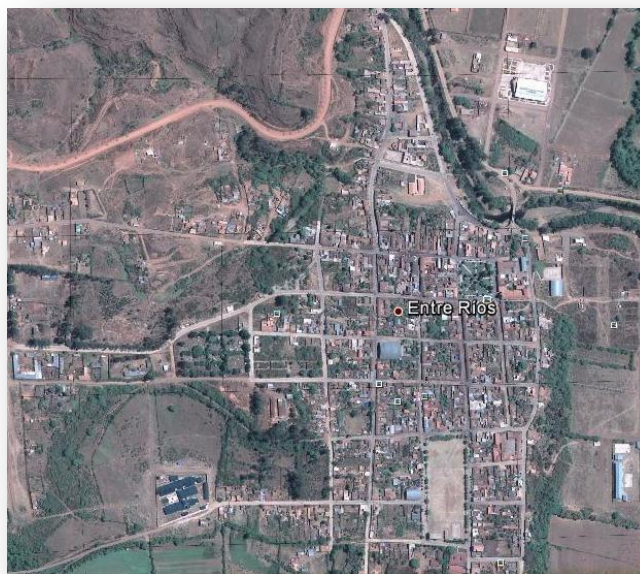
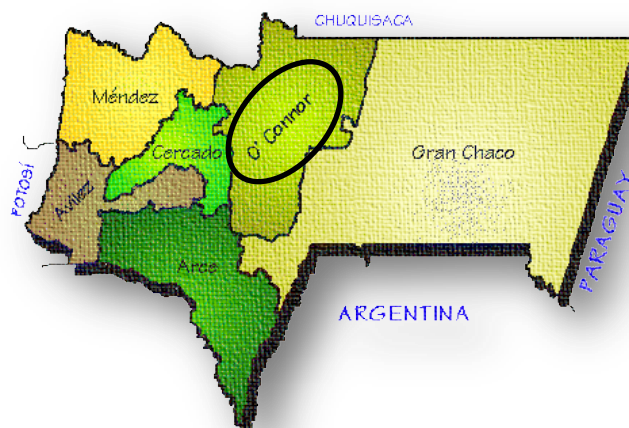
Este proyecto abarca la zona de la terminal de Entre Ríos, específicamente la plataforma de buses, las calles adyacentes y el acceso de taxis.

#### **b.- Proyecto “Pavimento rígido Entre Ríos”.**

El área que comprende y beneficia el presente Proyecto al igual que el proyecto anterior se encuentra ubicada, en la Población de Entre Ríos, Provincia O’Connor del Departamento de Tarija, a 110 Km de la ciudad de Tarija.

Este proyecto abarca gran parte del trazo urbano de la población de Entre Ríos, las zonas comprendidas en las regiones de la provincia O’Connor representan, un punto obligado en el tránsito vehicular ya que permiten el intercambio con las zonas norte y sur del departamento de Tarija. Geográficamente Entre Ríos se encuentra entre los paralelos 21°32’30” de latitud sud y 64° 11’ 05” de longitud oeste y a una altura sobre el nivel del mar de 1230 m.



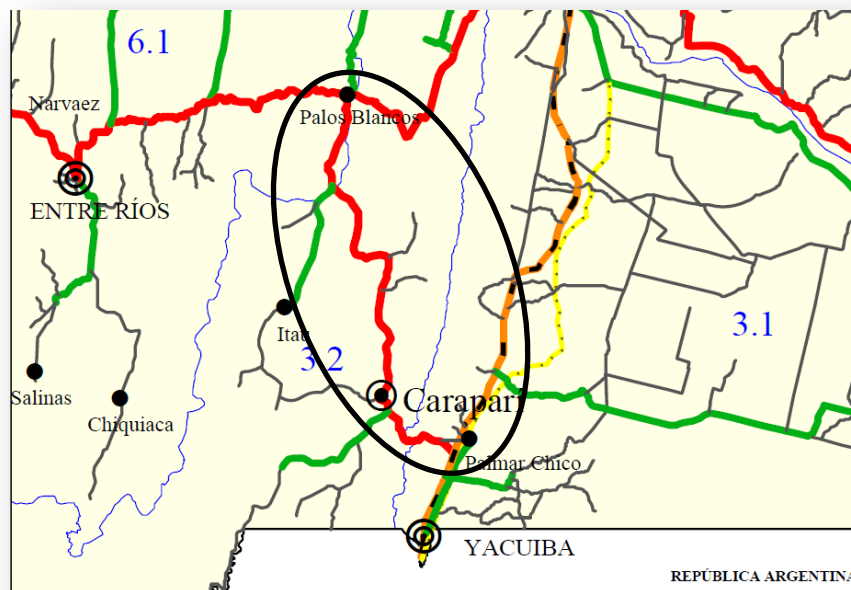
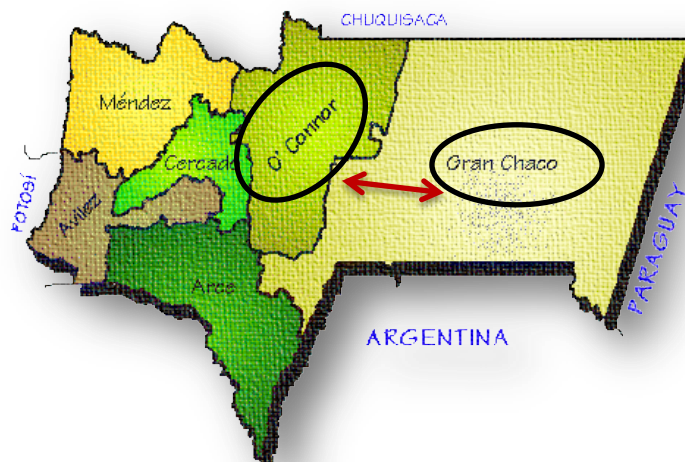


### c.- Proyecto “Campo Pajoso – Carapari – Palos Blancos”.

El área de influencia de este proyecto está definida en el Departamento de Tarija, uno de los nueve departamentos que conforman el estado Plurinacional de Bolivia, situado en el sureste del país, limita al oeste con el departamento de Potosí, al norte con el departamento de Chuquisaca, al este con Paraguay y al sur con Argentina. Tiene una área de 37 623 km<sup>2</sup> y una población de 391 226 habitantes, específicamente entre las en las Provincia O'Connor y Gran Chaco, ya que es un

asfaltado del tramo vial que une la localidad de Campo Pajoso, el municipio de Carapari que se encuentran dentro de la provincia Gran Chaco, la Provincia del Gran Chaco está ubicada al sur del país en el departamento de Tarija; se encuentra en la región geográfica del Gran Chaco y cuenta con una superficie de 17.428 km<sup>2</sup> y una población de 116.318 habitantes (según el Censo INE 2001); su capital es la ciudad de Yacuiba, cerca de la frontera con la Argentina; en esta provincia se sitúan las mayores reservas de gas natural de toda Bolivia y la segunda en Sudamérica después de Venezuela, y el Pueblo de Palos Blancos que se encuentra en la provincia O'Connor, la Provincia de Burdet O'Connor está ubicado dentro del departamento de Tarija al sureste del país. Se encuentra al centro boreal del departamento, con la provincia del Gran Chaco al este, y las de Eustaquio Méndez y Cercado al oeste, y colindante al Departamento de Chuquisaca al norte, originalmente se le llamó Las Salinas. Su capital es Entre Ríos. En la provincia predominan las serranías subandinas y el Chaco boreal.





#### 4.2. Características de los proyectos en el estudio.

Como el proyecto de “Diseño de pavimento rígido en plataforma de Buses, calles adyacentes y acceso de taxis” y el proyecto de “Pavimento rígido de Entre Ríos”, se encuentran en el pueblo de Entre Ríos se realizara el análisis de sus características

para ambos, y luego se realizara el análisis de las características del proyecto “Campo Pajoso – Carapari – Palos Blancos”

#### **4.2.1. Proyecto “Diseño de pavimento rígido en plataforma de Buses, calles adyacentes y accesos de taxis” en la terminal de Buses de Entre Ríos y Proyecto “Pavimento rígido Entre Ríos”.**

##### **Población.**

La Provincia O’Connor está conformada por una sección Municipal (Entre Ríos), cuenta con once Cantones y seis Distritos Municipales legalmente reconocidos. De acuerdo al “Diagnóstico Participativo” del Plan de Desarrollo Municipal (PDM) elaborado el año 1.994, se registró una población estimada de 19.214 habitantes, con una densidad de 3,82 habitantes por Km<sup>2</sup>. De acuerdo a datos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), la tasa de crecimiento poblacional para la Provincia O’Connor es de 1,06% anual, lo que significó una proyección para el año 2.008 de 24.090 habitantes, cifra que se halla fuertemente influenciada por los elevados índices de migración. Existe en la Provincia 93 comunidades, constituidas por habitantes campesinos y/o guaraníes. Aproximadamente el 86 % de la población vive en forma dispersa a excepción de Entre Ríos centro poblado principal de la Provincia, los otros centros poblados o comunidades tienen menos de 1.500 habitantes, lo cual demuestra el carácter eminentemente rural del Municipio. El centro principal (Entre Ríos), concentra una población de aproximadamente 2.000 habitantes, una buena parte de la población se concentra en 18 centros secundarios, que concentran entre 400 a 1500 habitantes por población.

##### **Condiciones climatológicas y ecológicas de la Zona.**

Entre Ríos cuenta con un clima sub-tropical, con datos promedios anuales para el periodo 1972 – 1994, que definen las condiciones climáticas que se describen en el siguiente cuadro.

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Precipitación pluvial total, promedio anual	1035.10 mm
Evaporación total, promedio anual	51.20 mm
Humedad relativa media anual	71.8 %
Temperatura promedio anual	19.5 °C
Temperatura máxima media anual	25.4 °C
Temperatura mínima media anual	13.5 °C
Dirección de viento predominante	Sud Este
Velocidad promedio del viento	9.2 Km/h
Nubosidad promedio anual (en octavos)	4.8
Promedio anual de días con lluvia	8.4

Fuente Estación el Pajonal

### **Temperatura**

Se puede observar que la temperatura media anual es de 19.5 °C, con una máxima de 25,4°C y una mínima media de 13.5 °C con una máxima extrema de 40 °C, lo que se puede deducir de la tabla es que la temperatura medía, no tiene grandes variaciones a través de los meses, resultando variables las temperaturas diarias.

### **Precipitación pluvial.-**

Las precipitaciones son mínimas en los meses de mayo a octubre, las máximas precipitaciones se presentan en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Durante las máximas precipitaciones el nivel freático sube y se presentan mayores infiltraciones.

### **Geología.-**

El paisaje geomorfológico donde se encuentra ubicado Entre Ríos, corresponde a un conjunto de serranías paralelas sub andinas, con altura y grados de disección muy variables. Geológicamente corresponden al periodo carbónico y terciario, compuesto

por rocas areniscas, conglomerados y limolitas con un cierto grado de fracturamiento afectadas por una fase de plegamiento plioceno. Este conjunto de serranías encierra una serie de valles, con tamaño y forma variables, sedimentos aluviales y coluviales del cuaternario y entre ellos el valle de Entre Ríos.

#### **Hidrología.-**

El área de influencia del proyecto coincide con la cuenca formada por los dos ríos que circundan a la población de Entre Ríos, por lo que al referirnos a aspectos hidrológicos del proyecto, se establecerá en función a la hidrografía e hidrología de los mencionados ríos. Los ríos señalados son El Pajonal y el Santa Ana, los que al juntarse forman el río Salinas, afluente del río grande de Tarija.

#### **Ecología.-**

De acuerdo al mapa ecológico de Bolivia realizado por Unzueta (1975), la Provincia O'Connor se encuentra ubicada en la región templada de tierra de valles, en un piso basal, distinguiéndose las siguientes zonas de vida:

- Bh-Te: Bosque húmedo, templado que se desarrolla en la parte norte y meridional de la provincia.
- Bmh-Te: Bosque muy húmedo, templado que se desarrolla en la parte sur y en transición en la parte meridional.
- Bs-Te: Bosque seco templado, con carácter de zona transicional en la parte nor-este de la provincia.

#### **4.2.2. Proyecto “Campo Pajoso – Caraparí – Palos Blancos”.**

La mayor área de influencia de este proyecto se encuentra en el municipio de Carapari, por lo tanto, a continuación se detalla las características principales de este municipio.

**Población.**

El municipio de Caraparí se encuentra ubicado en la latitud sur de 21° 10'39" - 22°19'58", y longitud oeste de 63°33'34" - 64°18'24"; con una superficie aproximada de 3.274,4 Km<sup>2</sup>.

El municipio de Caraparí es la segunda sección de la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija, Bolivia. Caraparí contaba con una población de 1071 habitantes en el año 2001 y una población de 9947 habitantes en todo el municipio para 2010.

La Virgen de Guadalupe es la patrona de la región y su fiesta se celebra el segundo domingo de octubre. Se celebra con una procesión por la población que culmina con una serenata en el frontis del templo de la plaza mayor.

**Clima.**

De acuerdo a la clasificación climática de Thornthwite, el Área presenta características de clima subhúmedo megatermal en la zona de pie de monte y en la parte Norte de la faja subandina. La región presenta temperaturas moderadas de verano, con una media anual en esa época de 21.5°C. Sin embargo, en los pequeños valles son frecuentes las heladas en invierno, debido al lento descenso de aire frío en las laderas que lo limitan. Las precipitaciones fluctúan entre los 850 a 1.000 mm por año.

**Rango altitudinal y fisiografía**

El rango altitudinal del Área oscila entre los 750 y 1.900 msnm. Forma parte de la región geográfica Vertiente Oriental Andina y Subandina.

**Hidrografía**

Pertenece a la Cuenca del Plata, subcuenca del río Pilcomayo.

### **Subregiones biogeográficas**

Abarca las ecoregiones del Bosque Subhúmedo Submontano y del Bosque Deciduo del Chaco Serrano.

### **Vegetación y flora**

El Bosque Tucumano-Boliviano y el Bosque Serrano Chaqueño se hallan claramente representados en diferentes zonas del Área. Entre las especies más representativas de flora se encuentran: El pino de cerro (*Podocarpus parlatorei*), el barroso (*Blepharocalyx salicifolius*), la guayabilla (*Myrcianthes pseudo-mato*), el cedro (*Cedrela lilloi*), el nogal (*Juglans australis*), el sauco (*Zanthoxylum coco*), varias especies de laurel (*Phoebe porphyria*, *Ocotea ouberula* y *Nectanra* sp.), el arbolillo (*Viburnum seemannii*) y la caña brava (*Chusquea lorenziana*).

Por su parte, el Bosque Serrano Chaqueño está ubicado en pie de monte de la serranía y se caracteriza por ser un bosque xerófilo caducifolio. Cuenta con especies típicas de la provincia Chaqueña, como ser: El horco quebracho (*Schinopsis haenkeana*), el quebracho colorado (*Schinopsis quebracho-colorado*), el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco*), el urundel (*Astronium urundeuva*), el roble (*Amburana cearensis*), el cebil (*Anadenanthera colubrina*), el torobochi (*Chorisia insignis*), *Prosopis* sp y varias especies de Cactaceae, como *Opuntia* spp., *Cereus* spp y *Pereskia* spp.

### **Fauna.**

Las especies registradas son de amplia distribución y se pueden hallar en ambos ecosistemas. La provincia de Yungas, debido a su escasa amplitud y a su colindancia con la provincia Chaqueña, presenta una alta influencia de elementos del Chaco, como son: el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*), el oso melero (*Tamandua tetradactyla*), las dos corzuelas (*Mazama americana* y *M. gouazoubira*), el tejón (*Nasua nasua*), el zorro (*Cerdocyon thous*), el tigre o jaguar (*Panthera onca*), gatos menores como el *Felis geoffroyi* y *Felis pardalis*, la charata (*Ortalis canicollis*), la chuña (*Chunga burmeisteri*) y las pavas de monte (*Penelope* spp.).

En la provincia de Bosque Serrano Chaqueño, las especies más representativas son: el quirquincho bola (*Tolypeutes matacus*), el peludo (*Euphractus sexcinctus*), la mulita (*Dasybus novemundus*), el chanco de monte (*Tayassu tajacu*), el pecarí de collar (*Tayassu pecari*), el oso melero (*Tamandua tetradactyla*) y el oso bandera (*Myrmecophaga tridactyla*).

### **4.3. Aplicación de los programas DIPAV 2.0 y BS-PCA con los proyectos.**

#### **4.3.1. Proyectos que serán utilizados en la aplicación de los programas.**

Proyecto 1: Proyecto “Diseño de pavimento rígido en plataforma de Buses, calles adyacentes y accesos de taxis” en la terminal de Buses de Entre.

Proyecto 2: Proyecto “Pavimento rígido Entre Ríos”.

Proyecto 3: Proyecto “Campo Pajoso – Caraparí – Palos Blancos”.

#### **4.3.2. Programa DIPAV 2.0**

##### **4.3.2.1. Parámetros de entrada.**

###### **a.- $W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL’S).**

El tránsito que circula por una carretera está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes. A efectos de diseño, este tráfico es transformado en un Número Equivalente de Ejes Tipo de 80 KN. Este número equivalente de ejes transformados se los denomina ESAL’S, “Equivalent Single Axle Load” o carga axial simple equivalente.

Para tener en cuenta estas diferencias, el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de un determinado valor de carga, que producirán el mismo daño que toda la composición de tráfico. Esta carga tipo según AASHTO-97 es de 80 KN o 18,000 libras.

A continuación se muestra el valor que se adopta o calcula para el diseño de cada proyecto:

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor de  $W_{18}=5 \times 10^5$  para un vehículo tipo 8.2 Tn para 30 años de vida útil y un TPD = 50 veh/ día, ya que se trata de un pavimento para un área urbana.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor de  $W_{18}=3.081.612$  para un vehículo tipo 8.2 Tn para 20 años de vida útil.

**Proyecto 2.-**

Para este proyecto el valor del  $W_{18} = 5 \times 10^6$  Para un vehículo tipo 8.2 Tn para 25 años de vida útil y un TPD = 50 veh/ día.

**Proyecto 3.-**

Para el cálculo de los ejes equivalentes se hará uso del programa, por lo tanto, los datos que se necesitan son los siguientes:

- Se asumirá un espesor de pavimento de 200 mm.
- El porcentaje de tráfico será igual a 50%.
- El periodo de diseño es de 20 años.

**Tabla de estudio de tráfico**

AÑO	LIVIANOS		BUSES			CAMIONES				OTROS	TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Automóviles Vagonetas Jeeps	Camionetas Minibuses	Microbuses hasta 21 pasajeros	Medianos 22 a 36 pasajeros	Grandes mayor a 36 pasajeros	Pequeños Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Medianos Ejes Simples Máximo 6 ruedas	Grandes Ejes Tándem Mínimo 10 ruedas.	Pesados Ejes Tridem Mínimo 12 ruedas Articulado	Maquinaria pesada Cosechadores Tractores y otros	
2008	143	161	11	28	136	88	114	181	50	0	912
2009	174	176	14	35	162	54	83	213	54	0	965
2010	205	175	4	23	159	51	110	216	73	0	1016
2011	153	163	34	15	133	102	147	226	102	0	1075

<b>Tabla de Peso por Ejes</b>			
<b>EJES</b>		<b>Límite (Toneladas)</b>	<b>Tolerancia (Kg)</b>
-	<b>Simple</b>	7	350
-	<b>Doble</b>	11	600
-     -	<b>Simples</b>	14	700
-      -	<b>Doble &amp; Simple</b>	16	750
-       -	<b>Doble</b>	18	900
-     -     -	<b>Simple</b>	19	950
-       -      -	<b>Doble Doble Simple</b>	23	1100
-       -       -	<b>Dobles</b>	25	1200
<b>Peso Total (Tara + Carga + Camión)</b>		<b>45</b>	<b>1400</b>

Con todos estos datos el DIPAV 2.0 calculo un valor de ESALs igual a: **8.994.550**

#### **b.- Serviciabilidad.**

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, además de servir al tránsito para el cual ha sido diseñado, de esta forma se tienen un índice de serviciabilidad inicial y otro final.

##### **a) Serviciabilidad Inicial ( $p_0$ ).**

La serviciabilidad inicial está referida al momento inmediato después de la construcción y dependerá de la calidad de ejecución y nivel de control durante la construcción del pavimento, es decir, a mayor calidad en la ejecución, mayor será la

serviciabilidad. De acuerdo a las anteriores aseveraciones la AASTHO ha elaborado una tabla donde se califica a la serviciabilidad inicial.

#### Valores de Serviciabilidad Inicial

Serviciabilidad Inicial	Condición
0 – 1	Muy Pobre
1 – 2	Pobre
2 – 3	Regular
3- 4	Buena
4 – 5	Muy Buena

En la Guía para el Diseño de Pavimentos ASSTHO-93 y Suplemento ASSTHO-97 se recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual **4.5**. A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto:

**Proyecto 1.-** Para los dos diseños se adoptara el valor recomendado por la ASSTHO de 4.5 como valor de serviciabilidad inicial.

**Proyecto 2.-** Se adoptara el valor recomendado por la ASSTHO de 4.5 de serviciabilidad inicial.

**Proyecto 3.-** Se adoptara el valor recomendado por la ASSTHO de 4.5 de serviciabilidad inicial.

#### **b) Serviciabilidad Final ( $p_t$ ).**

Es la serviciabilidad mínima tolerable del pavimento, calificada en la misma escala de 0 a 5. Cuando la serviciabilidad del pavimento alcanza su valor terminal requiere una rehabilitación. En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide basándose en la calidad de construcción, la serviciabilidad terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico, ubicación e importancia del camino. Valores típicos de serviciabilidad terminal están entre 2 y 3,

dependiendo de la clasificación funcional de la carretera, las recomendaciones de AASHTO para la selección de la serviciabilidad final son:

Volumen Alto	(>10.000 TPDA)	3.0-3.5
Volumen Medio	(3,000 - 10,000 TPDA)	2.5-3.0
Bajo Volumen	(< 3,000 TPDA)	2.0-2.5

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto:

#### **Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** Se adoptara un valor 2.6 de serviciabilidad final para poder obtener un valor de  $\Delta$ PSI igual a 1.9 el cual utiliza esta sección del proyecto.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** Se adoptara el valor recomendado por la ASSTHO de 2.5 como valor de serviciabilidad final.

**Proyecto 2.-** Se adoptara un valor 2.6 de serviciabilidad final para poder obtener un valor de  $\Delta$ PSI igual a 1.9 el cual utiliza el proyecto.

**Proyecto 3.-** Se adoptara el valor recomendado por la ASSTHO de 2.5 de serviciabilidad final.

#### **c.- Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ).**

El Módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión, es el esfuerzo de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. Para determinar este módulo se usa el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T97, ASTM C78). Las expresiones que correlacionan la resistencia a compresión a los 28 días con el módulo de ruptura ofrecen valores muy dispersos con relación a los valores obtenidos mediante el ensayo nombrado, razón por la cual se dificulta la elección de un valor de resistencia cilíndrica para la obra.

En la práctica del diseño de pavimentos se ha generalizado el empleo de valores promedio de  $S'_c = 4.50$  MPa. El módulo de rotura deberá verificarse durante la

construcción mediante ensayos de vigas a la flexión. Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor.

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto:

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** Se adoptara el valor promedio de 4.5MPa.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** Se adoptara el valor promedio de 4.50 MPa.

**Proyecto 2.-** Se adoptara el valor promedio de 4.50 MPa.

**Proyecto 3.-** Se adoptara el valor promedio de 4.50 MPa.

**d.- Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ).**

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir las cargas que soporta la losa del pavimento. Mientras más alto sea el valor del módulo elástico, más rígida será la losa. Los esfuerzos, deformaciones y deflexiones, están influenciados por el valor del módulo elástico. Este valor se determina usando los procedimientos descritos en el ensayo ASTM C 469.

Sin embargo, puede determinarse el valor del módulo de elasticidad a partir de la resistencia a compresión o a la flexión del hormigón.

$$E_c = 1,000,000[S'c(kPa) - 3,370]/43.5$$

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto:

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor que se utilizara en el diseño es de 26000 MPa.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor que se utilizara en el diseño es de 26000 MPa.

**Proyecto 2.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 26000 MPa.

**Proyecto 3.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 26000 MPa.

**e.- Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (K).**

El módulo efectivo de reacción de la subrasante (k), es la medida del soporte provisto para la losa de hormigón por las capas inferiores. Se denomina módulo *efectivo* de reacción de la subrasante porque considera el soporte provisto por todas las capas subyacentes: Base, subbase (si existiera) y subrasante, además de los cambios estacionales debido a la temperatura y humedad.

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto el cual está relacionado con el valor de C.B.R. de cada tipo de suelo:

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor que se utilizara en el diseño es de 48 KPa/mm para un CBR de 6 %.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor que se utilizara en el diseño es de 51 KPa/mm para un CBR de 6 %.

**Proyecto 2.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 35 KPa/mm para un CBR de 4 %.

**Proyecto 3.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 38 KPa/mm para un CBR de 4.5 %.

**f.- Nivel de Confianza (R).**

La confiabilidad es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que el sistema que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones que tienen lugar durante ese lapso, es decir que el pavimento sobreviva al tráfico y a las condiciones del medio ambiente del período de diseño.

La selección del nivel apropiado de confianza para el diseño de un pavimento está determinada por el uso esperado de ese pavimento. Un nivel de confianza elevado significa un pavimento más costoso y por lo tanto mayor costo inicial, pero pasará mayor tiempo antes de que necesite reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores, un nivel de confianza bajo da pavimentos más económicos, pero con mayor costo de mantenimiento, lógicamente, existirá un nivel de confianza óptimo en el cual la suma de los costos iniciales y de mantenimiento dan un mínimo.

Bajo ese criterio la AASTHO elaboró la tabla que se presenta a continuación, donde se presentan niveles de confianza en función del tipo de camino y su ubicación.

**Valores de Confianza**  
(en función de la funcionalidad)

Clasificación Funcional	Urbana	Rural
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 – 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 – 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 – 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 – 80.0	50.0 - 80.0

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto:

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor que se utilizara en el diseño es de 95 %.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor que se utilizara en el diseño es de 80 %.

**Proyecto 2.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 95 % que corresponde a un camino de colector urbano.

**Proyecto 3.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 80 % que corresponde a un camino de colector rural.

### g.- Desviación Estándar Global ( $S_o$ ).

Toma en cuenta la variabilidad de los datos de diseño, la variabilidad del tráfico durante la vida útil del pavimento, la variabilidad de los fenómenos naturales, variabilidad durante los procesos constructivos, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, suelo de fundación, etc. En ausencia de valores nacionales, la Guía de Diseño AASHTO recomienda valores recomendados para pavimentos rígidos. Para el caso donde la varianza del tráfico futuro proyectado no se considera, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de **0.35** el cual será adoptado en el diseño de cada uno de los proyectos que forman parte de esta aplicación.

### h.- Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

Es un factor usado sólo en pavimentos rígidos y sirve para tener en cuenta la capacidad de la estructura del pavimento para transferir cargas a través de juntas y fisuras. Este factor considera además, el apoyo lateral provisto en las esquinas de la losa.

Los dispositivos de transferencia de cargas, interacción de agregados, y la presencia de bermas de hormigón vinculadas tienen un efecto en este valor. Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, se debe usar coeficientes mayores para valores bajos de K, altos coeficientes termales y mayores variaciones de temperatura. El pavimento es altamente sensible al valor J y se presentan dos posibilidades: con bermas vinculadas o sobreecho de hormigón, o bien con berma de asfalto. La siguiente tabla provee recomendaciones para la selección del coeficiente de transferencia de carga:

**Coeficientes de Transferencia de Carga**

Tipo de Pavimento	Berma de Asfalto		Berma de Ho. Vinculada	
	Dispositivo de Transferencia		Dispositivo de Transferencia	
	Sí	No	Sí	No
Junta Sencilla y Junta reforzada	3.2	3.8 – 4.4	2.5 – 3.1	3.6 – 4.2
Continuamente Reforzada	2.9 – 3.2	N/D	2.3 – 2.9	N/D

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto:

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor que se utilizara en el diseño es de 3.2 ya que se considera que si tendrá dispositivos de transferencia de carga y una berma de asfalto.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor que se utilizara en el diseño es de 3.2 ya que se considera que si tendrá dispositivos de transferencia de carga y una berma de asfalto.

**Proyecto 2.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 3.2 ya que se ha realizado el diseño considerando una berma de asfalto.

**Proyecto 3.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 3.2 ya que se ha realizado el diseño considerando una berma de asfalto.

**i.- Coeficiente Global de Drenaje ( $C_d$ ).**

El coeficiente de drenaje incorpora el efecto del drenaje en la vida de los pavimentos rígidos. El efecto del drenaje en el desempeño de los pavimentos es una función de la calidad del drenaje (tiempo requerido para que el agua escurra) y la cantidad de tiempo durante el año en que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.

La norma AASTHO sugiere una calificación para la calidad del drenaje de acuerdo al tiempo en que las aguas son drenadas, tanto de la losa como de la capa sub base y subrasante. Esta calificación puede ser apreciada en la siguiente tabla.

### Niveles de calidad de Drenaje

Calidad de Drenaje	Agua Removida Dentro de:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Agua no drena

Para la selección del coeficiente de drenaje, AASHTO provee la siguiente tabla, donde la calificación dada al drenaje se relaciona con el tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación:

### Coefficientes de Drenaje

Calidad de Drenaje	Menos de 1 %	1 - 5%	5 - 25%	Más de 25 %
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

A continuación se muestra el valor que se adopta para el diseño de cada proyecto, como estos proyectos son en zonas con precipitaciones similares se considera que entre un 5% a 25% el pavimento se encontrará en niveles cercanos a la saturación por lo tanto el coeficiente global de drenaje será el mismo para todos los proyectos:

#### Proyecto 1.-

**Área de acceso de taxis:** El valor del coeficiente global de drenaje que se adoptará es de 1.10.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor del coeficiente global de drenaje que se adoptará es de 1.10.

**Proyecto 2.-** El valor del coeficiente global de drenaje que se adoptará es de 1.10.

**Proyecto 3.-** El valor del coeficiente global de drenaje que se adoptará es de 1.10.

**i.- Información adicional para el diseño de barras de amarre y reservorio de juntas.**

Esta información adicional será tomada como datos de entrada para el diseño de barras de amarre y reservorio de juntas, en el capítulo tres se realizó una descripción detallada de cada uno de estos parámetros de entrada.

Como el único proyecto que cuenta con estos parámetros es el proyecto 3, solo para este proyecto se realizara estos diseños, a continuación se muestra los valores de estos parámetros los cuales se utilizaran para la aplicación del programa DIPAV 2.0:

<b>Parámetro de entrada</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Espesor de capa base.	150	mm
Diámetro de barras Pasajuntas.	254	mm
Longitud de barras pasajuntas.	45	cm
Separación entre barras pasajuntas.	30	cm
Revestimiento de barras pasajuntas.	grasa	Adimensional
Separación entre juntas transversales.	4.5	m
Coeficiente de Fricción / Losa-Base.	1.5	Adimensional
Calidad del acero.	420	MPa
Diámetro de la barra.	12	mm
Distancia al borde libre.	3.5	m

Parámetro de entrada	Valor	Unidades
Porcentaje de resistencia a tracción.	70	%
Coefficiente de expansión térmica.	10.8	$10^{-6}$ mm/mm/°C
Rango de temperatura.	20	°C
Coefficiente de retracción por secado.	0.00045	mm/mm
Coefficiente de ajuste por fricción Losa/Base.	0.80	Adimensional
Tipo de sellador.	Silicona	Adimensional
Deformación admisible del sellador.	0.5	mm/mm
Factor de forma del sellador.	0.5	1:2

#### 4.3.2.2. Procedimiento.

Este programa realiza el cálculo del espesor del pavimento rígido a través de la fórmula desarrollada por la AASHTO, a continuación se muestra la fórmula realizada por AASHTO:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left( D^{0.75} - 18.42 \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Para encontrar el valor del espesor se debe iterar esta fórmula introduciendo todos los datos de entrada, desarrollados anteriormente, y así encontrar el valor de D, el cual es el valor del espesor del pavimento buscado, también este programa nos permite simular y calcular cuántos ejes equivalentes soporta un determinado valor de espesor de pavimento, para esto se debe introducir todos los valores anteriormente mencionados excepto el valor de  $W_{18}$ , en lugar de ese valor se debe introducir un

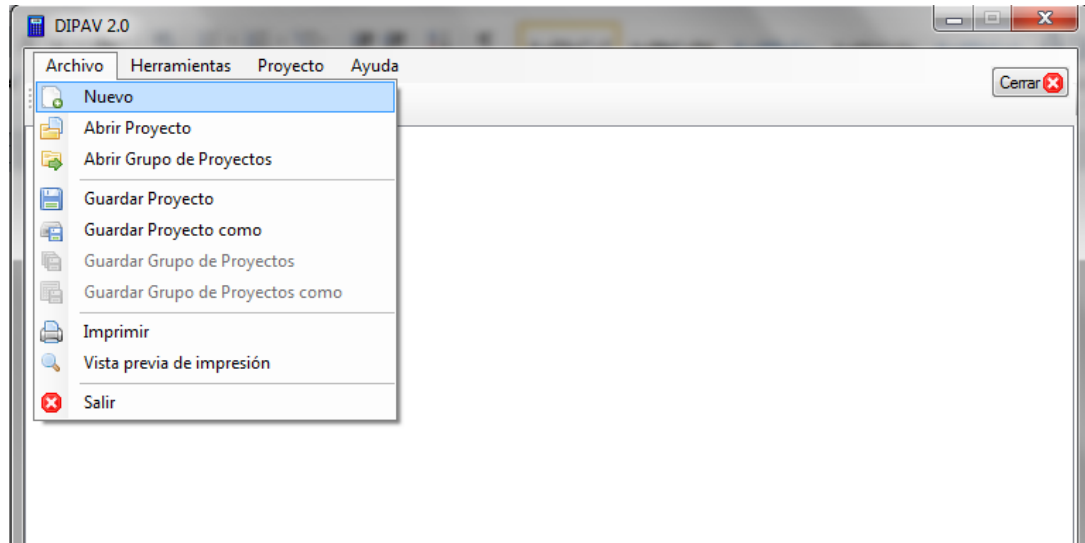
espesor de pavimento, y así se obtiene una cantidad de ejes equivalentes que soportara dicho diseño para las mismas condiciones de diseño.

#### a.- Procedimiento proyecto 1.-

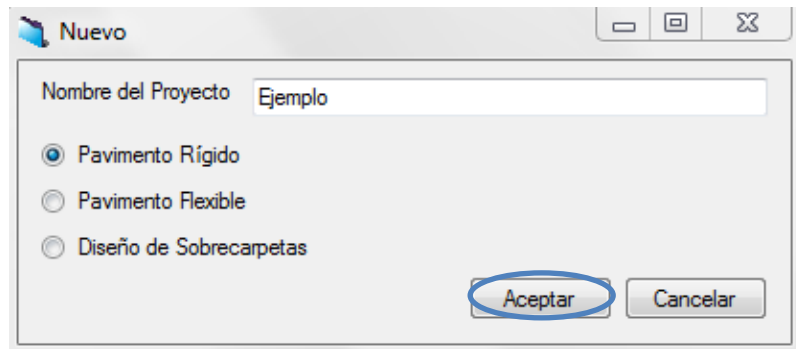
**Pavimento rígido del Acceso de Taxis:** El procedimiento que sigue el programa es, primeramente se debe ingresar al programa haciendo doble click en el icono del DIPAV 2.0, claro que primero se lo debe instalar para poder utilizarlo.



Al hacer esto nos aparece una ventana en la cual debemos seleccionar la pestaña archivo y en esta seleccionar nuevo, como se muestra a continuación:



Luego de hacer esto nos muestra una ventana en la cual debemos seleccionar entre pavimento rígido, pavimento flexible o diseño de sobrecarpetas; como esta aplicación es sobre pavimento rígido se debe seleccionar pavimento rígido, darle nombre a nuestro proyecto y presionar aceptar, como se muestra a continuación:



Luego de realizar todos estos pasos nos aparece una ventana en la cual debemos introducir todos los datos necesarios para diseñar el pavimento rígido:

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Ejemplo

Rígido Módulo ESALs Información Adicional Barras de Amarre Reservorio de Juntas Gráfico

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ )

Serviciabilidad Final ( $P_t$ )

Módulo de Rotura del Hormigón ( $S_c$ )(MPa) - (psi) MPa ===> psi

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ )(MPa) - (psi) MPa ===> psi

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ )

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $J$ )

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ )(kPa/mm) - (pci) kPa/mm ===> pci ...

Confianza ( $R$ )(%)

Desviación Estándar ( $S_o$ )

Número de Ejes Equivalentes ESALs

Calcular ESALs

Espesor de Losa (mm)

Espesor Calcular

ESALs Borrar todo

El paso siguiente es introducir todos los datos necesarios para poder resolver la ecuación que nos calcula el espesor del pavimento rígido, a continuación se muestra la pantalla con todos los datos introducidos:

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". There is a "Cerrar" button in the top right corner. Below the menu bar is a toolbar with various icons. The main area is titled "Acceso de Taxis" and contains several tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amarre", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Rígido" tab is selected. The interface contains the following input fields and buttons:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5		
Serviciabilidad Final (Pt)	2.6		
Módulo de Rotura del Homigón (S <sub>c</sub> )(MPa) - (psi)	4.5	MPa	652.67 psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	28,000	MPa	4,061,056.66 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10		
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2		
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	48	kPa/mm	176.95 pci
Confiabilidad (R)(%)	95		
Desviación Estándar (So)	0.35		
Número de Ejes Equivalentes ESALs	500,000		
Espesor de Losa (mm)			

At the bottom left, there are two radio buttons: "Espesor" (selected) and "ESALs". To the right of the "Espesor" radio button is a blue circle around the "Calcular" button. Below the "Calcular" button is a "Borrar todo" button. To the right of the "Número de Ejes Equivalentes ESALs" field is a "Calcular ESALs" button.

Con todos estos datos el programa itera la ecuación hasta encontrar el valor del espesor del pavimento para estas condiciones de diseño, para que el programa realice esta operación se debe presionar el botón calcular mostrado en esta pantalla.

**Pavimento rígido del Calles adyacentes:** El procedimiento es el mismo que se siguió anteriormente, solo que este proyecto cuenta con otros datos de entrada, a continuación se muestra la pantalla con todos los datos introducidos:

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 'Calles adyacentes' and has several tabs: 'Rígido', 'Módulo', 'ESALs', 'Información Adicional', 'Barras de Amarre', 'Reservorio de Juntas', and 'Gráfico'. The 'Rígido' tab is active. The interface contains the following input fields and values:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5		
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5		
Módulo de Rotura del Homigón (S <sub>c</sub> )(MPa) - (psi)	4.5	MPa	652.67 psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	26,000	MPa	3,770,981.18 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10		
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2		
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	51	kPa/mm	188.01 pci
Confiabilidad (R)(%)	80		
Desviación Estándar (So)	0.35		
Número de Ejes Equivalentes ESALs	3,081,612		
Esesor de Losa (mm)			

At the bottom of the window, there are two radio buttons: 'Espesor' (selected) and 'ESALs'. Below 'Espesor' is a 'Calcular' button, which is circled in blue. Below 'ESALs' is a 'Borrar todo' button. A 'Calcular ESALs' button is also present on the right side of the input area.

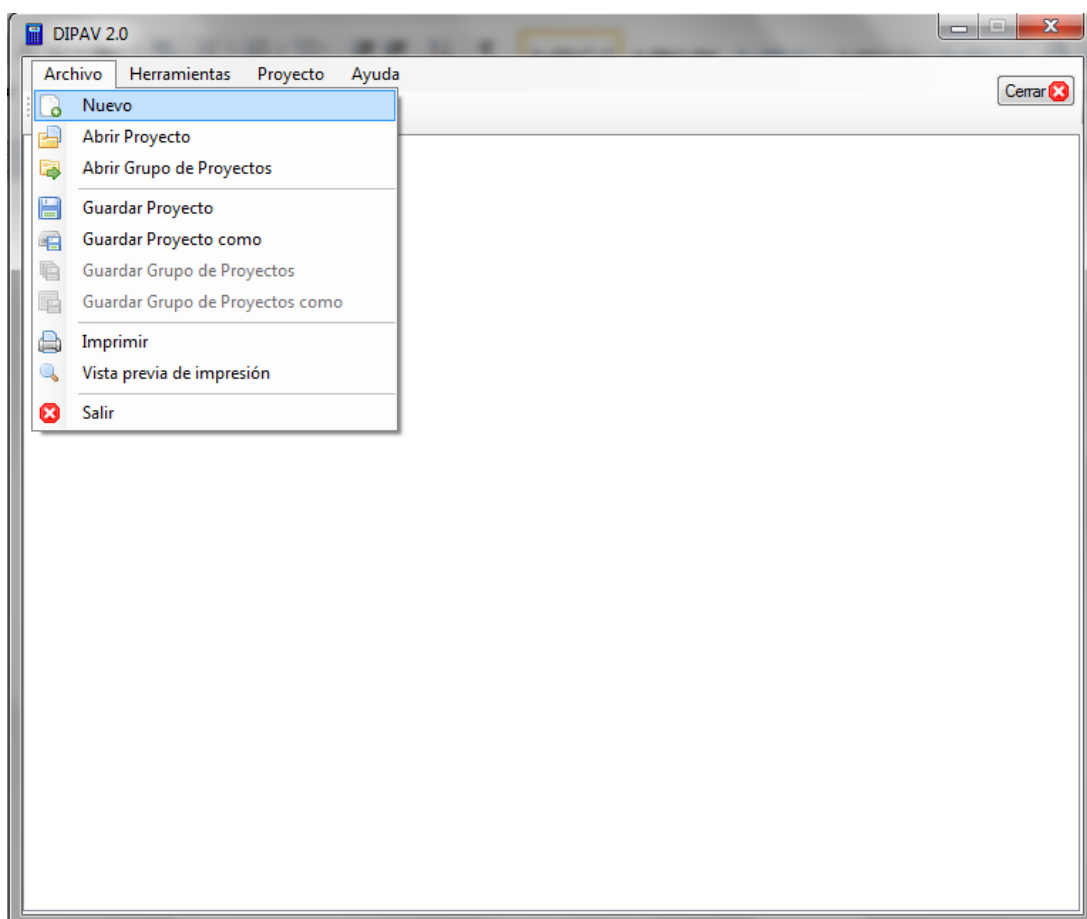
Con todos estos datos el programa itera la ecuación hasta encontrar el valor del espesor del pavimento para estas condiciones de diseño, para que el programa realice esta operación se debe presionar el botón calcular mostrado en esta pantalla.

### **b.- Procedimiento proyecto 2.-**

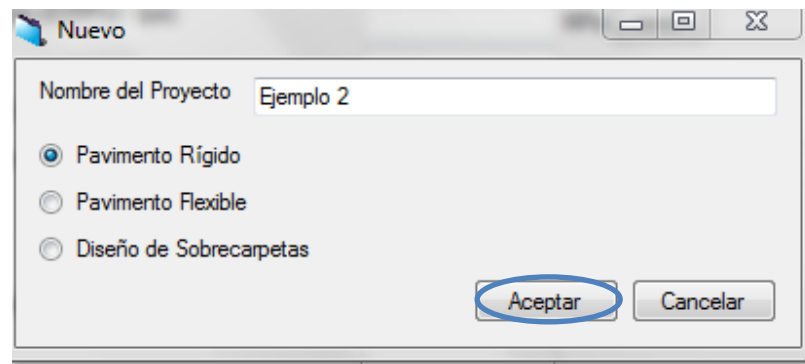
El procedimiento que se sigue es el mismo que el anterior proyecto, primeramente se debe ingresar al programa haciendo doble click en el icono del DIPAV 2.0.



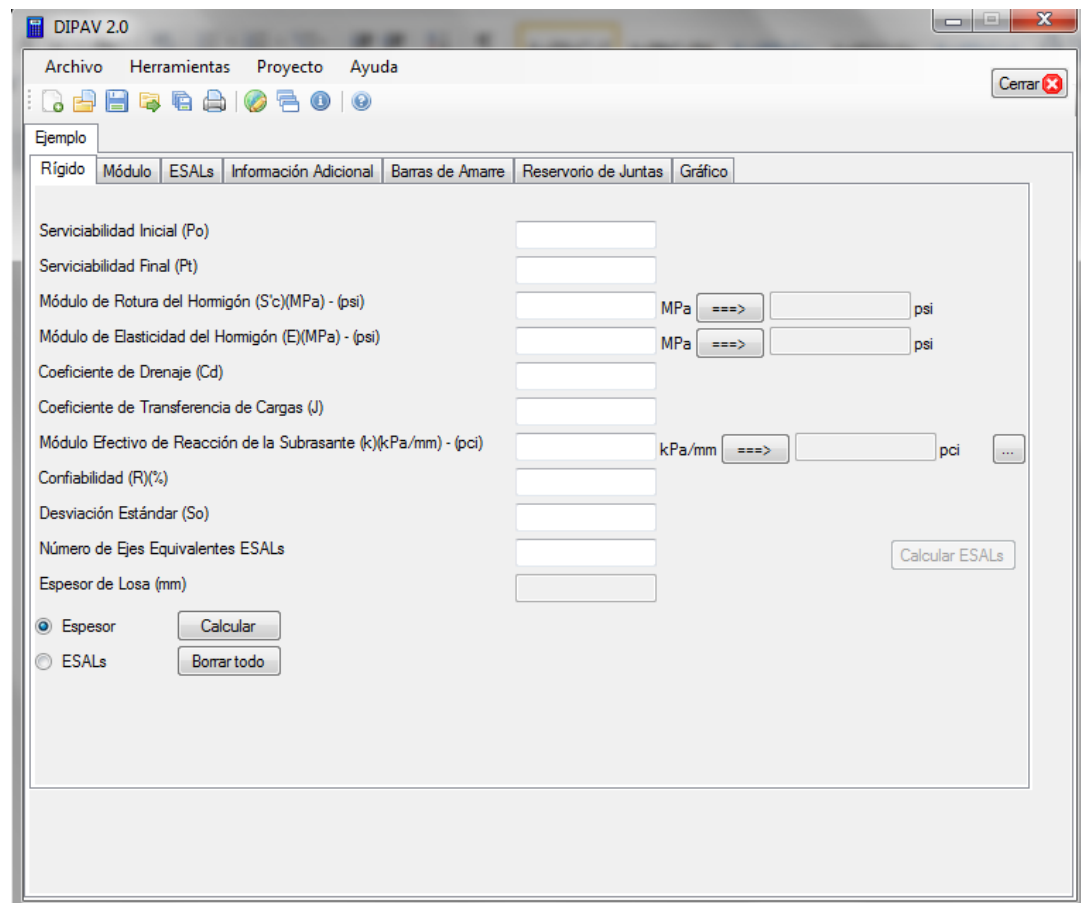
Al hacer esto nos aparece una ventana en la cual debemos seleccionar la pestaña archivo y en esta seleccionar nuevo, como se muestra a continuación:



Luego de hacer esto nos muestra una ventana en la cual debemos seleccionar entre pavimento rígido, pavimento flexible o diseño de sobrecarpetas; como esta aplicación es sobre pavimento rígido se debe seleccionar pavimento rígido, darle nombre a nuestro proyecto y presionar aceptar, como se muestra a continuación:



Luego de realizar todos estos pasos nos aparece una ventana en la cual debemos introducir todos los datos necesarios para diseñar el pavimento rígido:



El paso siguiente es introducir todos los datos necesarios para poder resolver la ecuación que nos calcula el espesor del pavimento rígido, a continuación se muestra la pantalla con todos los datos introducidos:

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

Parámetro	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.6	
Módulo de Rotura del Hormigón (S <sub>c</sub> )(MPa) - (psi)	4.5	MPa / psi
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	26,000	MPa / psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.15	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	35	kPa/mm / pci
Confianza (R)(%)	95	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	5,000,000	
Espesor de Losa (mm)		

Buttons: **Calcular** (highlighted), **Borrar todo**, **Calcular ESALs**.

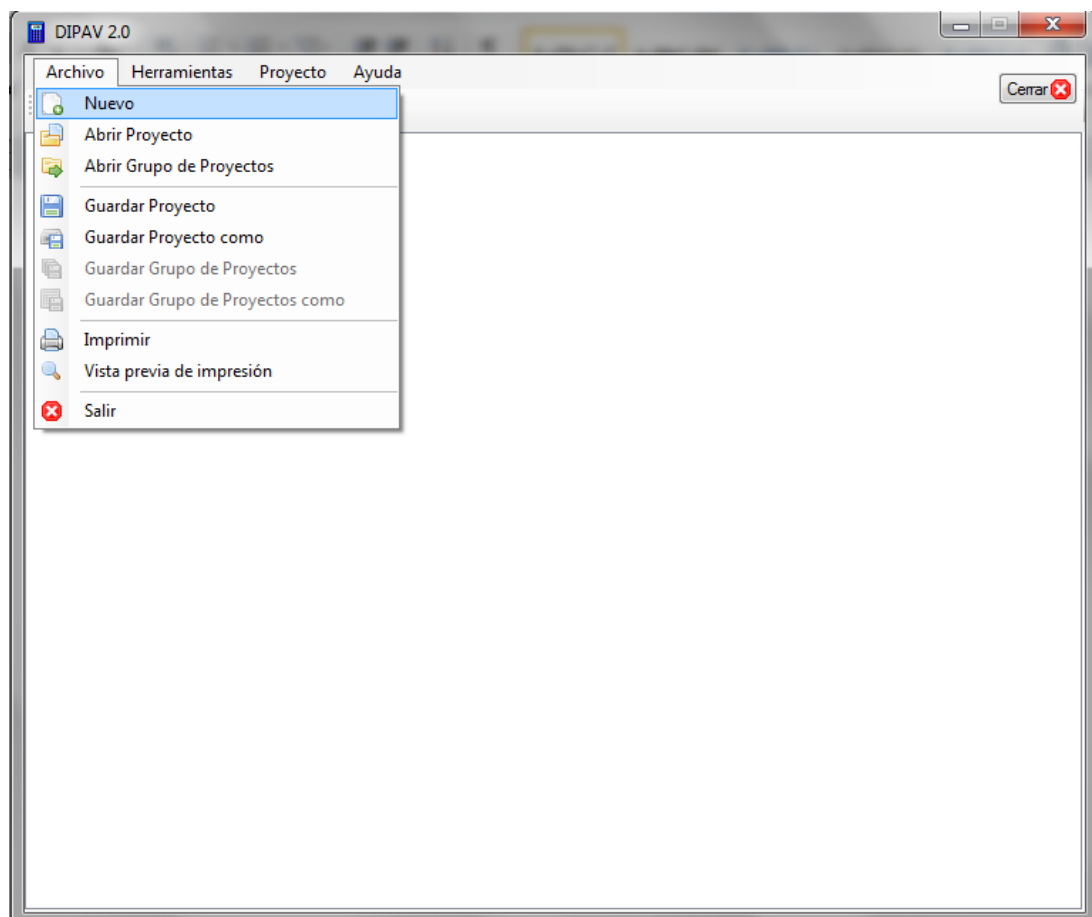
Con todos estos datos el programa itera la ecuación hasta encontrar el valor del espesor del pavimento para estas condiciones de diseño, para que el programa realice esta operación se debe presionar el botón calcular mostrado en esta pantalla.

### c.- Procedimiento proyecto 3.-

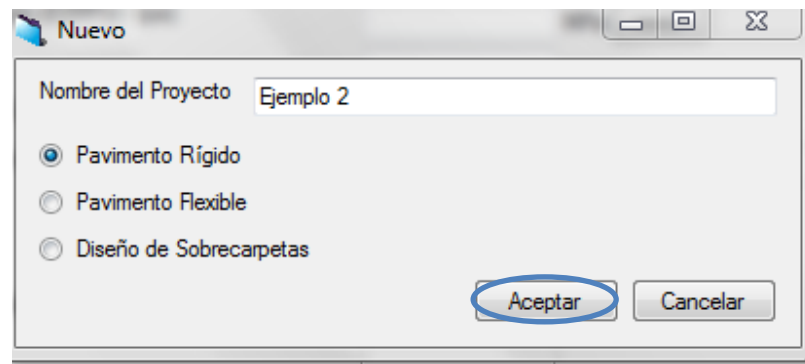
El procedimiento es el mismo que sigue los anteriores proyectos, primeramente se debe ingresar al programa haciendo doble click en el icono del DIPAV 2.0.



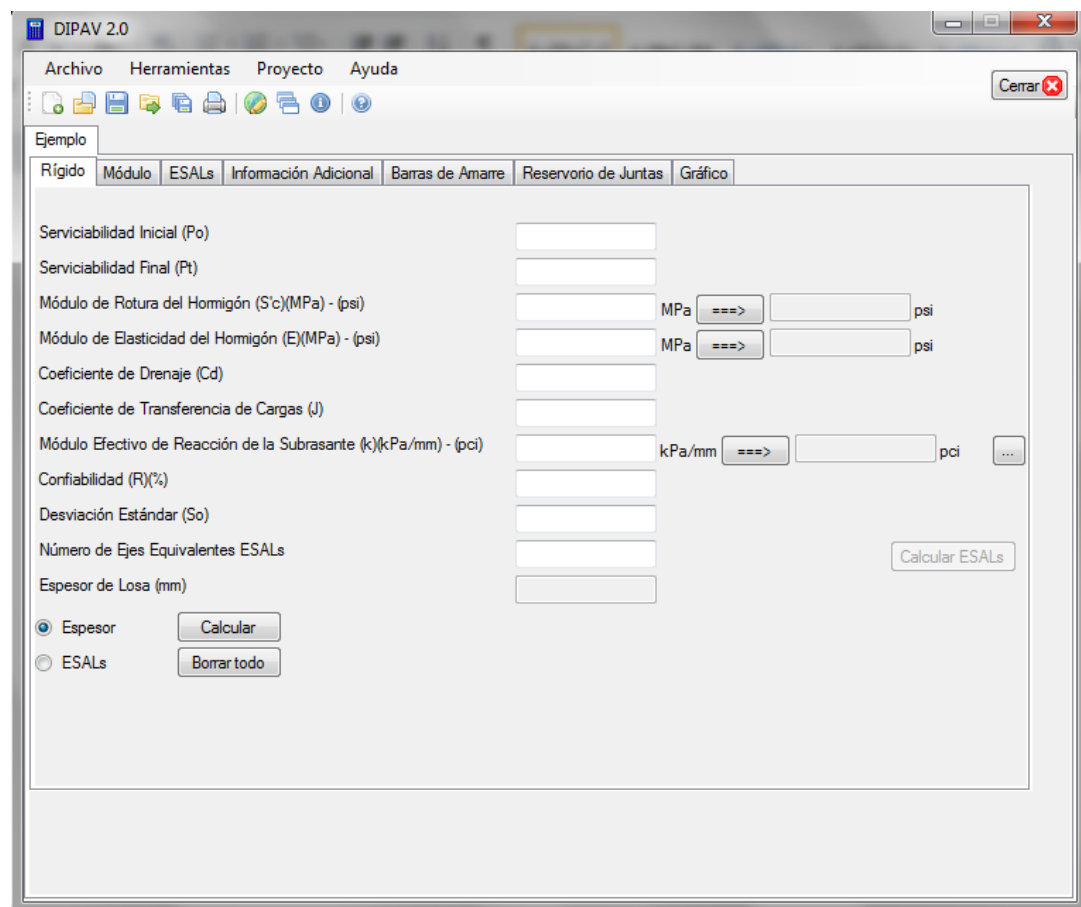
Al hacer esto nos aparece una ventana en la cual debemos seleccionar la pestaña archivo y en esta seleccionar nuevo, como se muestra a continuación:



Luego de hacer esto nos muestra una ventana en la cual debemos seleccionar entre pavimento rígido, pavimento flexible o diseño de sobrecarpetas; como esta aplicación es sobre pavimento rígido se debe seleccionar pavimento rígido, darle nombre a nuestro proyecto y presionar aceptar, como se muestra a continuación:



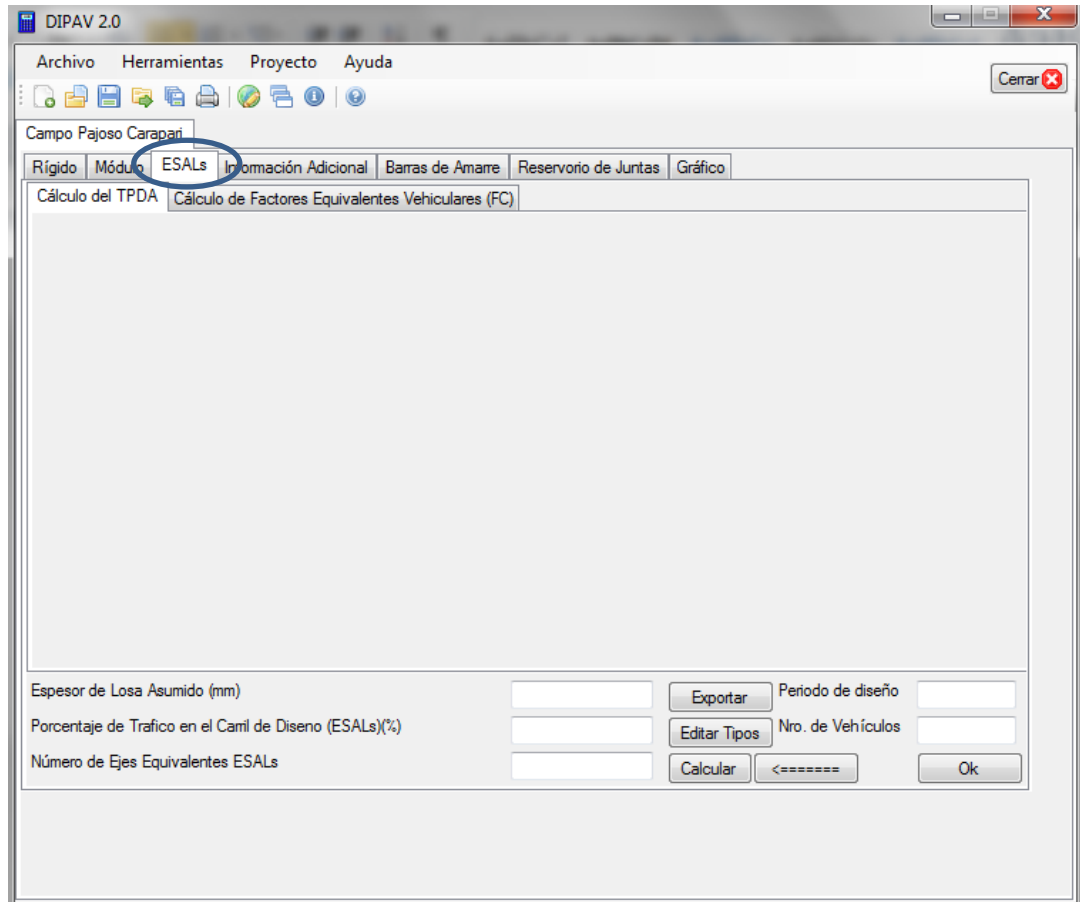
Luego de realizar todos estos pasos nos aparece una ventana en la cual debemos introducir todos los datos necesarios para diseñar el pavimento rígido:



El paso siguiente es introducir todos los datos necesarios para poder resolver la ecuación que nos calcula el espesor del pavimento rígido, como este proyecto no

cuenta con el dato de ESALs, se utilizara el programa para calcular este valor con los datos de la tabla de estudio de tráfico y la tabla de peso por eje, a continuación se muestra el procedimiento que se realiza para calcular los ESALs:

- ✓ Primeramente se debe seleccionar la pestaña de ESALs, como se muestra a continuación:



- ✓ Esta pestaña cuenta con dos subpestañas en las cuales se deben introducir los datos necesarios para el cálculo de ESALs, a continuación se muestran las ventanas de cada pestaña con todos los datos introducidos:

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Campo Pajoso Carapani

Rígido Módulo **ESALs** Información Adicional Barras de Amarre Reservorio de Juntas Gráfico

Cálculo del TPDA Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)

Año	Automoviles	Camionetas	ros hasta 21 p	ros 22-36 pa	ros mayor a 36	ños Ejes Sim	nos Ejes sim	Ejes Tandem	Ejes
2008	143	181	11	28	136	88	114	181	
2009	174	176	14	35	162	54	83	213	
2010	205	175	4	23	159	51	110	216	
2011	153	183	34	15	133	102	147	226	

Espesor de Losa Asumido (mm)  Exportar Período de diseño   
 Porcentaje de Trafico en el Camil de Diseño (ESALs)(%)  Editar Tipos Nro. de Vehículos   
 Número de Ejes Equivalentes ESALs  Calcular <===== Ok

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Campo Pajoso Carapani

Rígido Módulo **ESALs** Información Adicional Barras de Amarre Reservorio de Juntas Gráfico

Cálculo del TPDA Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)

		Automoviles	Camionetas	s hasta 21	os 22-36 p	mayor a 36	ños Ejes S	nos Ejes si	jes Tander	jes Trider	Linaria
Nomenclatura	Eje Delantero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1er Eje Trasero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	2do Eje Trasero										
	3er Eje Trasero										
Carga por Eje (ton)	Eje Delantero	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	1er Eje Trasero	7	7	7	11	11	11	11	18	23	
	2do Eje Trasero										
	3er Eje Trasero										
Factor Camión	Eje Delantero										
	1er Eje Trasero										
	2do Eje Trasero										
	3er Eje Trasero										
Total Ejes Equivalentes											
Total Número de Vehículos											
ESAL's											

Espesor de Losa Asumido (mm)  Exportar Período de diseño   
 Porcentaje de Trafico en el Camil de Diseño (ESALs)(%)  Editar Tipos Nro. de Vehículos   
 Número de Ejes Equivalentes ESALs  Calcular <===== Ok

En estas pestañas se introducen los datos de tráfico, peso por eje, espesor de losa asumida, periodo de diseño, porcentaje de tráfico por carril, numero de tipo de vehículos.

- ✓ Luego de tener todos los datos introducidos se presiona el botón calcular y se obtiene el valor de ESALs, a continuación se muestra esta pantalla con el valor de ESALs calculado:

The screenshot shows the 'Cálculo de Factores Equivalentes Vehiculares (FC)' window in DIPAV 2.0. The window title is 'DIPAV 2.0' and the menu bar includes 'Archivo', 'Herramientas', 'Proyecto', and 'Ayuda'. The main area contains a table with the following data:

	Automoviles	Camionetas	hasta 2100 kg	22-3600 kg	mayor a 3600 kg	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	5 Ejes	6 Ejes	7 Ejes
Nomendatura	Eje Delantero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1er Eje Trasero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2do Eje Trasero										
	3er Eje Trasero										
Carga por Eje (ton)	Eje Delantero	7	7	7	7	7	7	7	7	18	23
	1er Eje Trasero	7	7	7	11	11	11	11	18	23	
	2do Eje Trasero										
	3er Eje Trasero										
Factor Camión	Eje Delantero	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676	0.51676
	1er Eje Trasero	0.51676	0.51676	0.51676	3.51614	3.51614	3.51614	3.51614	25.51032	72.09552	
	2do Eje Trasero										
	3er Eje Trasero										
Total Ejes Equivalentes		1.03352	1.03352	1.03352	4.0329	4.0329	4.0329	4.0329	26.02708	72.61228	
Total Número de Vehículos		248375	248375	22995	36885	215350	107675	165710	305140	101835	
ESAL's		254833	254833	23766	148873	868485	434243	668292	7941903	7394472	0

Below the table, there are input fields and buttons:

- Espesor de Losa Asumido (mm): 230
- Porcentaje de Trafico en el Camil de Diseño (ESALs)(%): 50
- Número de Ejes Equivalentes ESALs: 8,994,550
- Buttons: Exportar, Editar Tipos, Calcular, Ok
- Periodo de diseño: 20
- Nro. de Vehiculos: 10

- ✓ Por último se presiona el botón que tiene una flecha ( ) y esto hace que el valor sea copiado en la pantalla principal llenando la casilla de Numero de Ejes Equivalentes ESALs, a continuación se muestra la pantalla principal con todos los datos de entrada:

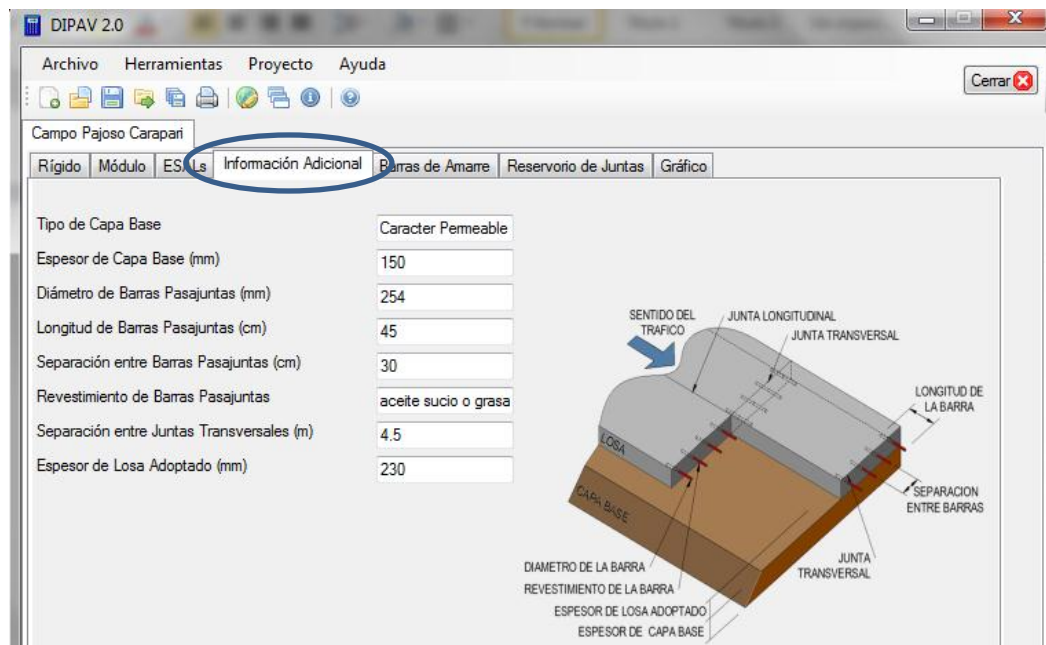
The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface with the following data:

Parámetro	Valor	Unidad
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)	1.10	
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
Confianza (R)(%)	80	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	8,994,550	
Esesor de Losa (mm)		

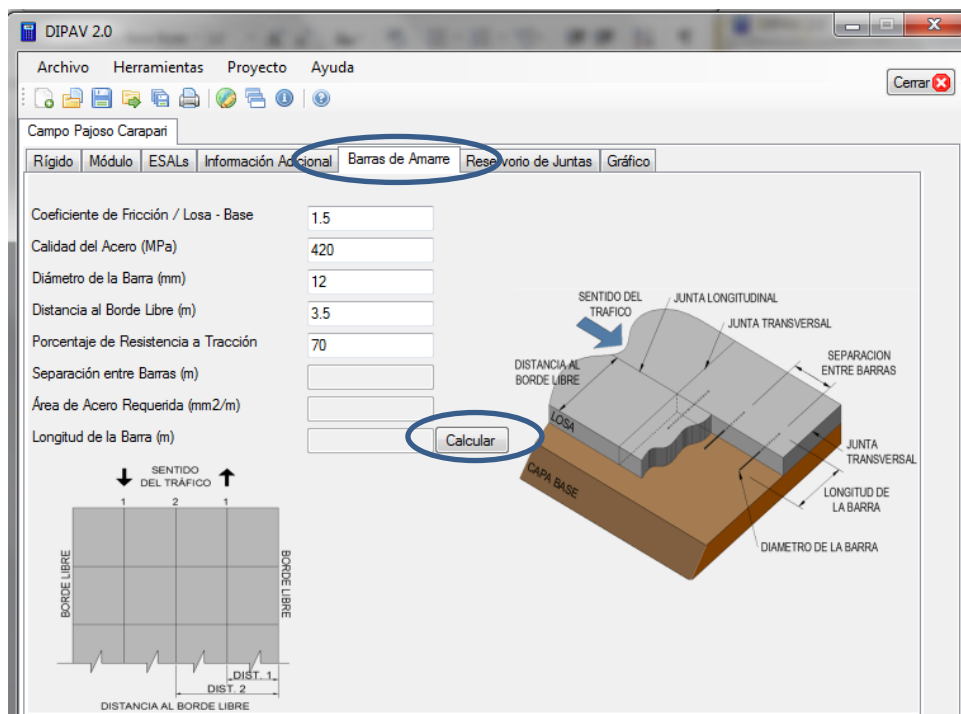
Buttons: **Calcular** (circled in blue), **Borrar todo**, **Calcular ESALs**.

Con todos estos datos el programa itera la ecuación hasta encontrar el valor del espesor del pavimento para estas condiciones de diseño, para que el programa realice esta operación se debe presionar el botón calcular mostrado en esta pantalla.

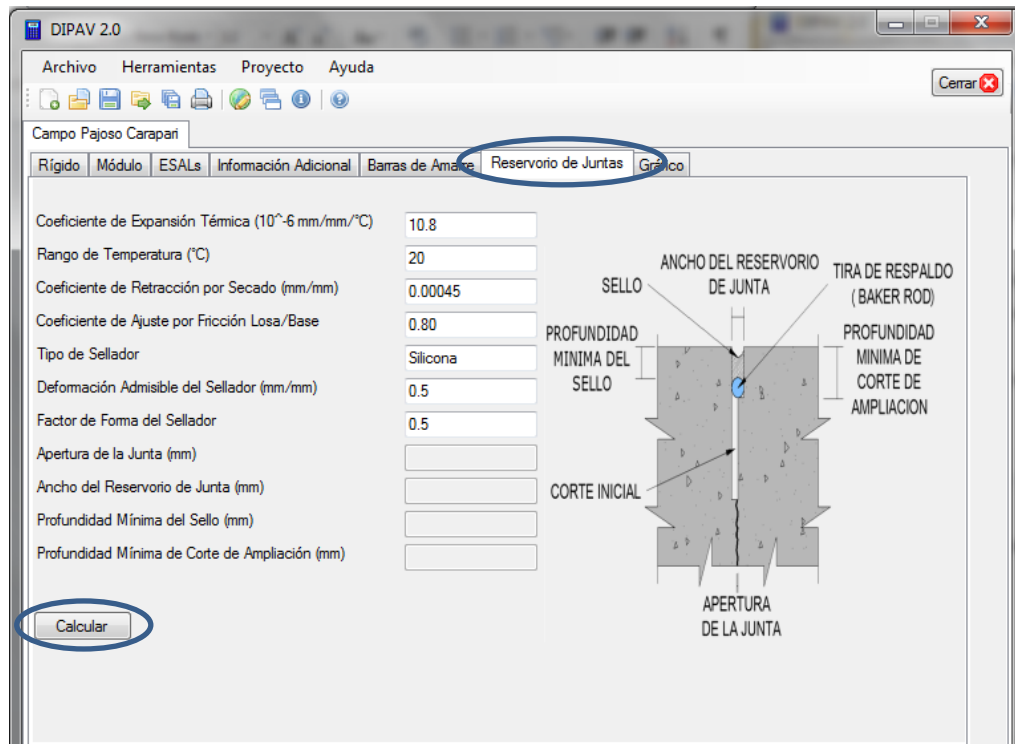
Con el espesor de losa podemos diseñar las barras de amarre para las juntas transversales y el reservorio de juntas, para esto debemos llenar los parámetros de entrada necesarios en las pestañas Información Adicional, Barras de Amarre y Reservorio de Juntas; a continuación se muestra las ventanas con todos estos parámetros de entrada ya introducidos:



En esta ventana no se calcula nada solo se introduce información que será utilizada en las otras dos pestañas, se adoptó el valor calculado de 230 mm de espesor de losa.



Luego de introducir todos los parámetros de entrada en esta pestaña se debe presionar el botón calcular y el programa realiza el diseño de las barras de amarre necesarios para el proyecto.



Al igual que la pestaña anterior, luego de introducir todos los parámetros de entrada se debe presionar el botón calcular y el programa realiza el diseño del reservorio de juntas para el proyecto.

#### 4.3.2.3. Resultados.

El resultado que nos ofrece este programa, como ya antes lo mencionamos, es el espesor del pavimento rígido para las condiciones de diseño que queremos, además podemos obtener el número de ejes equivalentes par un determinado espesor de pavimento.

Para encontrar el valor de diseño de cada proyecto solo se debe presionar el botón calcular de la ventana principal donde se encuentran introducidos todos los datos necesarios para el diseño y el resultado se muestra en la casilla de Espesor de losa en mm, también se puede generar un reporte en el cual se muestra todos los valores de

los parámetros de entrada y los resultados obtenidos por el programa, a continuación se muestran los resultados de cada proyecto estudiado en esta aplicación, primero el resultado obtenido en la ventana principal de diseño de pavimento rígido, seguido del reporte que genera el programa:

**Resultado proyecto 1.-** Proyecto “Diseño de pavimento rígido en plataforma de Buses, calles adyacentes y accesos de taxis” en la terminal de Buses de Entre.

### Pavimento rígido del Acceso de Taxis

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 "Acceso de Taxis" and has several tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amare", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Rígido" tab is active. The interface contains the following input fields and values:

Parameter	Value	Unit
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.6	
Módulo de Rotura del Homigón (S <sub>c</sub> )(MPa) - (psi)	4.5	MPa
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	28,000	MPa
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	48	kPa/mm
Confiabilidad (R)(%)	95	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	500,000	
Espesor de Losa (mm)	148	

At the bottom, there are radio buttons for "Espesor" (selected) and "ESALs". A "Calcular" button is highlighted with a blue circle, and a "Borrar todo" button is also visible.

Luego se presionar el botón calcular el programa muestra el resultado en la casilla Espesor de losa, el resultado obtenido es de 148 mm de espesor de losa.

# Software de Diseño de Pavimentos

## Guía de Diseño AASHTO - 1993

Nombre: Acceso de Taxis  
 Empresa: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
 Proyecto: Diseño de pavimento rígido en la plataforma de Buses, calles adyacentes y

### Pavimento Rígido

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pt)	2.6
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c) (MPa) - (psi)	4.5
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E) (MPa) - (psi)	28,000
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k) (KPa/mm) - (pci)	48
Confiabilidad (R) (%)	95
Desviación Estándar (So)	0.35
Número de Ejes Equivalentes ESALs	500,000
<b>Espesor de Losa (mm)</b>	<b>148</b>

### Información Adicional

Tipo de Capa Base  
 Espesor de Capa Base (mm)  
 Diámetro de Barras Pasajuntas (mm)  
 Longitud de Barras Pasajuntas (cm)  
 Separación entre Barras Pasajuntas (cm)  
 Revestimiento de Barras Pasajuntas  
 Separación entre Juntas Transversales (m)  
**espesor de losa adoptado (mm)**

### Barras de Amarre

Coefficiente de Fricción / Losa - Base  
 Calidad del Acero (MPa)  
 Diámetro de la Barra (mm)  
 Distancia al Borde Libre (m)  
 Porcentaje de Resistencia a Tracción  
**Separación entre Barras (m)**  
**Área de Acero Requerida (mm<sup>2</sup>/m)**  
**Longitud de la Barra (m)**

### Reservorio de Juntas y Diseño del Sellador

Coefficiente de Expansión Térmica ( $10^{-6}$  mm/mm/°C)  
 Rango de Temperatura (°C)  
 Coeficiente de Retracción por Secado (mm/mm)  
 Coeficiente de Ajuste por Fricción Losa/Base  
 Tipo de Sellador  
 Deformación Admisible del Sellador (mm/mm)  
 Factor de Forma del Sellador  
**Apertura de la Junta (mm)**  
**Ancho del Reservorio de Junta (mm)**  
**Profundidad Mínima del Sello (mm)**  
**Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm)**

## Pavimento rígido calles adyacentes

DIPAV 2.0

Archivo Herramientas Proyecto Ayuda

Calles adyacentes

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 ==> 652.67 psi

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ )(MPa) - (psi) 26,000 MPa ==> 3,770,981.18 psi

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ ) 1.10

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $l$ ) 3.2

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ )(kPa/mm) - (pci) 51 kPa/mm ==> 188.01 pci ...

Confianza ( $R$ )(%) 80

Desviación Estándar ( $S_o$ ) 0.35

Número de Ejes Equivalentes ESALs 3.081.612

Calcular ESALs

Espesor de Losa (mm) 183

Espesor  ESALs

Calcular

Borrar todo

Luego se presionar el botón calcular el programa muestra el resultado en la casilla Espesor de losa, el resultado obtenido es de 183 mm de espesor de losa.

# DIPAV

## Software de Diseño de Pavimentos

### Guía de Diseño AASHTO - 1993

Nombre: Calles adyacentes  
 Empresa: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
 Proyecto: Diseño de pavimento rígido en la plataforma de Buses, calles adyacentes y

<b>Pavimento Rígido</b>	
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c) (MPa) - (psi)	4.5
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E) (MPa) - (psi)	26,000
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k) (KPa/mm) - (pci)	51
Confiabilidad (R)(%)	80
Desviación Estándar (So)	0.35
Número de Ejes Equivalentes ESALS	3,081,612
<b>Espesor de Losa (mm)</b>	<b>183</b>

<b>Información Adicional</b>	
Tipo de Capa Base	
Espesor de Capa Base (mm)	
Diámetro de Barras Pasajuntas (mm)	
Longitud de Barras Pasajuntas (cm)	
Separación entre Barras Pasajuntas (cm)	
Revestimiento de Barras Pasajuntas	
Separación entre Juntas Transversales (m)	
<b>espesor de losa adoptado (mm)</b>	

<b>Barras de Amarre</b>	
Coefficiente de Fricción / Losa - Base	
Calidad del Acero (MPa)	
Diámetro de la Barra (mm)	
Distancia al Borde Libre (m)	
Porcentaje de Resistencia a Tracción	
<b>Separación entre Barras (m)</b>	
<b>Área de Acero Requerida (mm<sup>2</sup>/m)</b>	
<b>Longitud de la Barra (m)</b>	

<b>Reservorio de Juntas y Diseño del Sellador</b>	
Coefficiente de Expansión Térmica ( $10^{-6}$ mm/mm/°C)	
Rango de Temperatura (°C)	
Coefficiente de Retracción por Secado (mm/mm)	
Coefficiente de Ajuste por Fricción Losa/Base	
Tipo de Sellador	
Deformación Admisible del Sellador (mm/mm)	
Factor de Forma del Sellador	
<b>Apertura de la Junta (mm)</b>	
<b>Ancho del Reservorio de Junta (mm)</b>	
<b>Profundidad Mínima del Sello (mm)</b>	
<b>Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm)</b>	

**Resultado proyecto 2.-****Proyecto “Pavimento rígido Entre Ríos”**

The screenshot shows the DIPAV 2.0 software interface for the project "Entre Ríos". The "Rígido" tab is selected, and the "Espesor" radio button is chosen. The "Calcular" button is highlighted with a blue circle, and the "Espesor de Losa (mm)" field displays the result "224".

Parameter	Value	Unit
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.6	
Módulo de Rotura del Hormigón (S <sub>c</sub> )	4.5	MPa
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)	26,000	MPa
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.15	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)	35	kPa/mm
Confiability (R)	95	%
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	5,000,000	
Calculated Thickness	224	mm

Luego se presionar el botón calcular el programa muestra el resultado en la casilla Espesor de losa, el resultado obtenido es de 224 mm de espesor de losa.

# DIPAV

## Software de Diseño de Pavimentos

### Guía de Diseño AASHTO - 1993

Nombre: Entre Ríos  
 Empresa: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
 Proyecto: Proyecto pavimento rígido Entre Ríos.

<b>Pavimento Rígido</b>	
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pt)	2.6
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c) (MPa) - (psi)	4.5
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E) (MPa) - (psi)	26,000
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.15
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	35
Confiabilidad (R) (%)	95
Desviación Estándar (So)	0.35
Número de Ejes Equivalentes ESALs	5,000,000
<b>Espesor de Losa (mm)</b>	<b>224</b>

<b>Información Adicional</b>	
Tipo de Capa Base	
Espesor de Capa Base (mm)	
Diámetro de Barras Pasajuntas (mm)	
Longitud de Barras Pasajuntas (cm)	
Separación entre Barras Pasajuntas (cm)	
Revestimiento de Barras Pasajuntas	
Separación entre Juntas Transversales (m)	
<b>espesor de losa adoptado (mm)</b>	

<b>Barras de Amarre</b>	
Coefficiente de Fricción / Losa - Base	
Calidad del Acero (MPa)	
Diámetro de la Barra (mm)	
Distancia al Borde Libre (m)	
Porcentaje de Resistencia a Tracción	
<b>Separación entre Barras (m)</b>	
<b>Área de Acero Requerida (mm<sup>2</sup>/m)</b>	
<b>Longitud de la Barra (m)</b>	

<b>Reservorio de Juntas y Diseño del Sellador</b>	
Coefficiente de Expansión Térmica ( $10^{-6}$ mm/mm/°C)	
Rango de Temperatura (°C)	
Coefficiente de Retracción por Secado (mm/mm)	
Coefficiente de Ajuste por Fricción Losa/Base	
Tipo de Sellador	
Deformación Admisible del Sellador (mm/mm)	
Factor de Forma del Sellador	
<b>Apertura de la Junta (mm)</b>	
<b>Ancho del Reservorio de Junta (mm)</b>	
<b>Profundidad Mínima del Sello (mm)</b>	
<b>Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm)</b>	

### Resultado proyecto 3.-

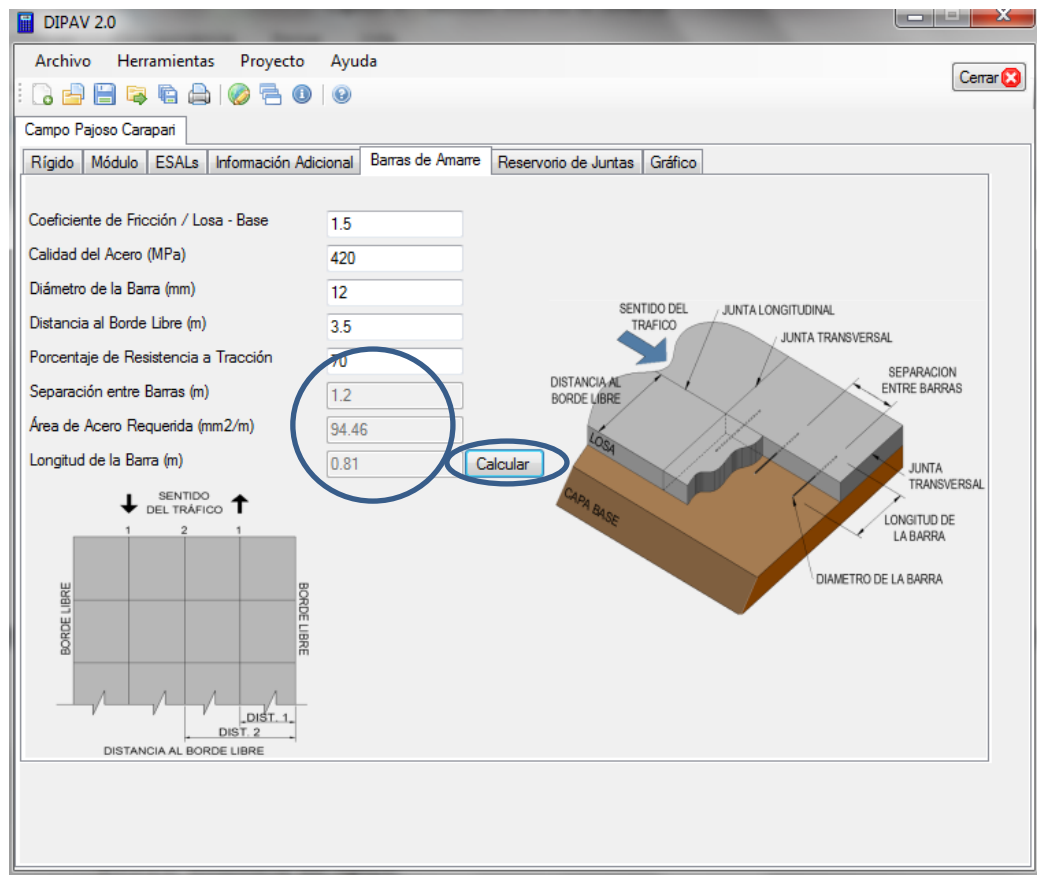
#### Proyecto “Campo Pajoso – Caraparí – Palos Blancos”.

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

Parameter	Value	Unit
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c)(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)	1.10	
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
Confianza (R)(%)	80	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	8,994,550	
ESALs Result	224	mm

Luego se presionar el botón calcular el programa muestra el resultado en la casilla Espesor de losa, el resultado obtenido es de 224 mm de espesor de losa.

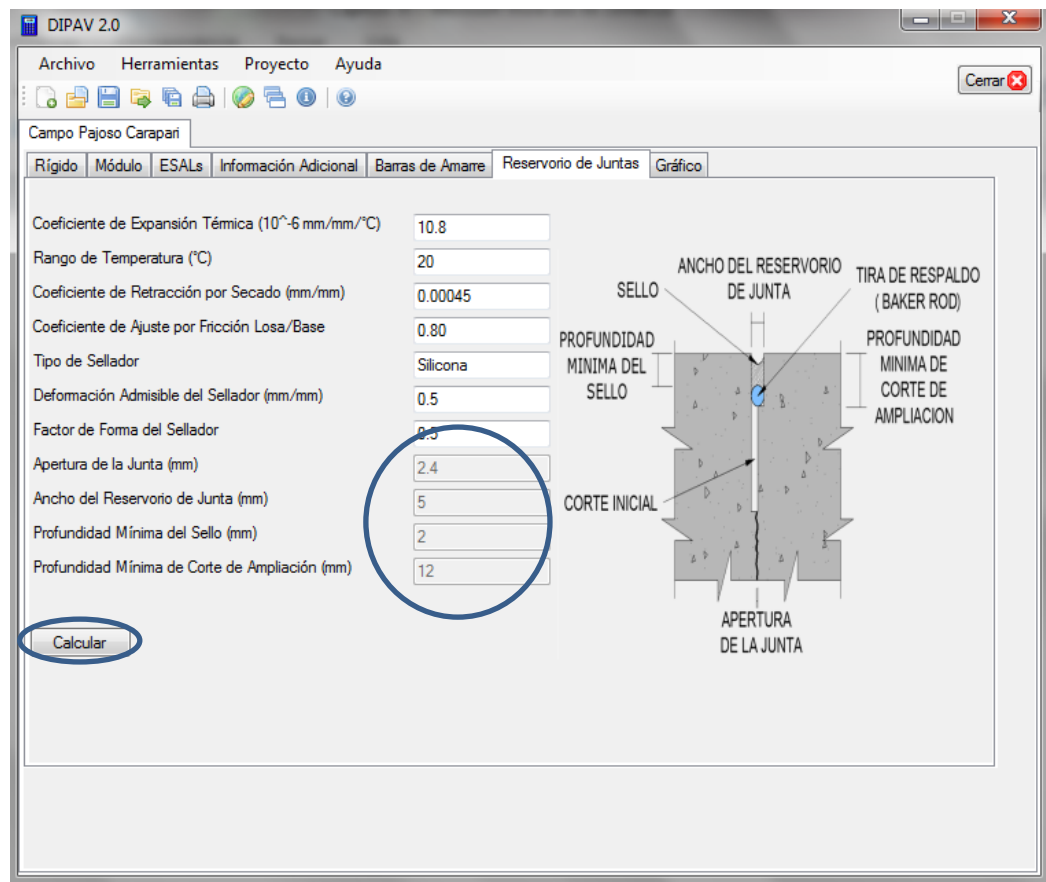
Además del espesor de losa en este proyecto se realizó el diseño de barras de amarre y reservorio de juntas, a continuación se muestran las ventanas en las cuales se muestran los resultados de estos diseños:



Luego de presionar el botón calcular de esta pestaña el programa realiza el diseño de barras de amarre, como se muestra en la pestaña los resultados del diseño de barras de amarre es el siguiente:

Separación entre barras: 1.2 m  
 Área de acero requerida: 94.46 mm<sup>2</sup>/m  
 Longitud de la barra: 0.81 m

Además de dar los resultados del diseño el programa en el lado derecho de la ventana nos muestra un gráfico donde nos enseña cómo se debe colocar estas barras de amarre en las juntas longitudinales de las losas.



Luego de presionar el botón calcular de esta pestaña el programa realiza el diseño del reservorio de juntas, como se muestra en la pestaña los resultados del diseño de reservorio de juntas es el siguiente:

Apertura de la junta: 2.4 mm  
 Ancho del reservorio de junta: 5 mm  
 Profundidad mínima del sello: 2 mm  
 Profundidad mínima del corte de aplicación: 12 mm

Como en la anterior ventana, esta también nos muestra al lado derecho un gráfico que nos indica las partes de un reservorio de juntas.

# DIPAV

## Software de Diseño de Pavimentos

### Guía de Diseño AASHTO - 1993

Nombre: Campo Pajoso Carapari  
 Empresa: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho  
 Proyecto: Proyecto pavimento rígido "Campo pajoso - Carapari - Palos Blancos".

#### Pavimento Rígido

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c) (MPa) - (psi)	4.5
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E) (MPa) - (psi)	26,000
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.10
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	3.2
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k) (KPa/mm) - (pci)	38
Confiabilidad (R)(%)	80
Desviación Estándar (So)	0.35
Número de Ejes Equivalentes ESALs	8, 994,550

**Espesor de Losa (mm) 224**

#### Información Adicional

Tipo de Capa Base	Carácter Permeable
Espesor de Capa Base (mm)	150
Diámetro de Barras Pasajuntas (mm)	254
Longitud de Barras Pasajuntas (cm)	45
Separación entre Barras Pasajuntas (cm)	30
Revestimiento de Barras Pasajuntas	Aceite sucio o grasa
Separación entre Juntas Transversales (m)	4.5

**Espesor de losa adoptado (mm) 230**

#### Barras de Amarre

Coefficiente de Fricción / Losa - Base	1.5
Calidad del Acero (MPa)	420
Diámetro de la Barra (mm)	12
Distancia al Borde Libre (m)	3.5
Porcentaje de Resistencia a Tracción	70
<b>Separación entre Barras (m)</b>	<b>1.2</b>
<b>Área de Acero Requerida (mm<sup>2</sup>/m)</b>	<b>94.46</b>
<b>Longitud de la Barra (m)</b>	<b>0.81</b>

#### Reservorio de Juntas y Diseño del Sellador

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	0.80
Tipo de Sellador	Silicona
Deformación Admisible del Sellador (mm/mm)	0.5
Factor de Forma del Sellador	0.5
<b>Apertura de la Junta (mm)</b>	<b>2.4</b>
<b>Ancho del Reservorio de Junta (mm)</b>	<b>5</b>
<b>Profundidad Mínima del Sello (mm)</b>	<b>2</b>
<b>Profundidad Mínima de Corte de Ampliación (mm)</b>	<b>12</b>

#### 4.3.2.4. Validación de los resultados de espesores obtenidos por el DIPAV 2.0

Para realizar la validación de los espesores de pavimento rígido obtenidos con el programa DIPAV 2.0 se procederá a su cálculo analíticamente, con la ecuación general del método AASHTO.

##### Proyecto 1.-

##### Acceso de Taxis

Parámetros de entrada:

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) = **4.5**

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) = **2.6**

Módulo de Rotura del Hormigón ( $S'_c$ ) (MPa) = 4.5 = **652.67 psi**

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ ) (MPa) = 26000 = **46061056.66 psi**

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ ) = **1.10**

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $J$ ) = **3.2**

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ ) (KPa/mm) = 48 = **176.95 pci**

Confiabilidad ( $R$ ) (%) = 95 = **-1.645**

Desviación Estándar ( $S_o$ ) = **0.35**

Número de Ejes Equivalentes ESALs = **500000**

Con los parámetros de entrada se procede a iterar la ecuación para encontrar el espesor de losa de diseño:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left( D^{0.75} - 18.42 \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Al introducir todos los valores de los parámetros de entrada se realiza la iteración de la ecuación y se encuentra el valor de espesor de losa  $D$  que da como resultado 5.72 pulgadas que es igual a 145.30 mm.

### Calles Adyacentes

Parámetros de entrada:

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) = **4.5**

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) = **2.5**

Módulo de Rotura del Hormigón ( $S'_c$ ) (MPa) = 4.5 = **652.67 psi**

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ ) (MPa) = 26000 = **3770981.18 psi**

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ ) = **1.10**

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $J$ ) = **3.2**

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ ) (KPa/mm) = 51 = **188.01 pci**

Confiabilidad ( $R$ ) (%) = 80 = **-0.841**

Desviación Estándar ( $S_o$ ) = **0.35**

Número de Ejes Equivalentes ESALs = **3081612**

Con los parámetros de entrada se procede a iterar la ecuación para encontrar el espesor de losa de diseño:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left( D^{0.75} - 18.42 \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Al introducir todos los valores de los parámetros de entrada se realiza la iteración de la ecuación y se encuentra el valor de espesor de losa  $D$  que da como resultado 7.10 pulgadas que es igual a 180.34 mm.

**Proyecto 2.-****Entre Ríos – Primera fase**

Parámetros de entrada:

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) = **4.5**

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) = **2.6**

Módulo de Rotura del Hormigón ( $S'_c$ ) (MPa) = 4.5 = **652.67 psi**

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ ) (MPa) = 26000 = **3770981.18 psi**

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ ) = **1.15**

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $J$ ) = **3.2**

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ ) (KPa/mm) = 35 = **129.03 pci**

Confiabilidad ( $R$ ) (%) = 95 = **-1.645**

Desviación Estándar ( $S_o$ ) = **0.35**

Número de Ejes Equivalentes ESALs = **5000000**

Con los parámetros de entrada se procede a iterar la ecuación para encontrar el espesor de losa de diseño:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left( D^{0.75} - 18.42 \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Al introducir todos los valores de los parámetros de entrada se realiza la iteración de la ecuación y se encuentra el valor de espesor de losa  $D$  que da como resultado 8.67 pulgadas que es igual a 220.22 mm.

**Proyecto 3.-****Campo Pajoso – Carapari – Palos Blancos**

Parámetros de entrada:

Serviciabilidad Inicial ( $P_o$ ) = **4.5**

Serviciabilidad Final ( $P_t$ ) = **2.5**

Módulo de Rotura del Hormigón ( $S'_c$ ) (MPa) 4.5 = **652.67 psi**

Módulo de Elasticidad del Hormigón ( $E$ ) (MPa) = 26000 = **3770981.18 psi**

Coefficiente de Drenaje ( $C_d$ ) = **1.10**

Coefficiente de Transferencia de Cargas ( $J$ ) = **3.2**

Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante ( $k$ ) (KPa/mm) = 38= **140.09 pci**

Confiabilidad ( $R$ ) (%) = 80 = **-0.841**

Desviación Estándar ( $S_o$ ) = **0.35**

Número de Ejes Equivalentes ESALs = **8994550**

Con los parámetros de entrada se procede a iterar la ecuación para encontrar el espesor de losa de diseño:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_t) \log \left[ \frac{S'_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left( D^{0.75} - 18.42 \left( \frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Al introducir todos los valores de los parámetros de entrada se realiza la iteración de la ecuación y se encuentra el valor de espesor de losa  $D$  que da como resultado 8.75 pulgadas que es igual a 222.25 mm.

### **4.3.3. Programa BS – PCA.**

#### **4.3.3.1. Parámetros de entrada.**

##### **a.- Resistencia del Apoyo.**

Este valor es el módulo efectivo de reacción de la subrasante ( $k$ ), es la medida del soporte provisto para la losa de hormigón por las capas inferiores. Este es el valor  $K$  corresponde a la resistencia de la capa subrasante o subbase, se puede introducir en cualquiera de las siguientes unidades: MPa/m, Tn/m<sup>3</sup>, PCI.

##### **Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor que se utilizara en el diseño es de 48 MPa/m para un CBR de 6 %.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor que se utilizara en el diseño es de 51 MPa/m para un CBR de 6 %.

**Proyecto 2.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 35 MPa/m para un CBR de 6 %.

**Proyecto 3.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 38 MPa/m para un CBR de 4.5 %.

##### **b.- Espesor de la Losa.**

Es el espesor de la losa propuesta la cual se analizara para ver si cumple las condiciones de diseño, el espesor propuesto se podrá introducir en milímetros o pulgadas.

Para todos los proyectos se adoptara como valor propuesto de 200 mm de espesor de losa para comenzar el diseño.

##### **c.- Módulo de Rotura de la Losa.**

El Módulo de rotura o resistencia a tracción del hormigón por flexión, es el esfuerzo

de tensión en la fibra extrema bajo la carga de rotura. Para determinar este módulo se usa el ensayo de carga del tercio central (AASHTO T97, ASTM C78), este valor puede estar dado en las siguientes unidades: MPa, Kg/cm<sup>2</sup>, PSI.

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor que se utilizara en el diseño es de 4.5 MPa.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** Se adoptara el valor promedio de 4.50 MPa.

**Proyecto 2.-** El valor que se utilizara en el diseño es de 4.50 MPa.

**Proyecto 3.-** Se adoptara el valor promedio de 4.50 MPa.

**d.- Tránsito.**

Este dato es uno de los más importantes, este programa permite seleccionar las unidades en las cuales se introducirá las cargas de tránsito, estas pueden ser KN, Tn o KIPS. Además de seleccionar las unidades de las cargas se deben introducir por separado cargas y repeticiones de ejes sencillos, tándem y tridem; ya que este programa toma en cuenta estos tipos de ejes.

El tránsito introducido podrá ser modificado por dos factores que permiten mayorar las cargas o las repeticiones.

**Proyecto 1.-**

**Área de acceso de taxis:** El valor de  $W_{18}=5 \times 10^5$  para un vehículo tipo 8.2 Tn para 30 años de vida útil y un TPD = 50 veh/ día, ya que se trata de un pavimento para un área urbana.

**Área calles adyacentes a la terminal de buses:** El valor de  $W_{18}=3.081.612$  para un vehículo tipo 8.2 Tn para 20 años de vida útil.

**Proyecto 2.-**

Para este proyecto el valor del  $W_{18} = 5 \times 10^6$  Para un vehículo tipo 8.2 Tn para 25 años de vida útil y un TPD = 50 veh/ día.

### Proyecto 3.-

Como este proyecto cuenta con un estudio de tráfico más detallado, a continuación se muestra la tabla del estudio realizado con los datos de tráfico:

#### Determinación de Ejes Equivalentes Tramo Campo Pajoso-Caraparí Pavimento de Hormigón

Composición de tráfico vehicular	Livianos		Buses			Camiones				Otros	Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Distribución	Composición Vehicular (%)										
	28.81%	23.88%	2.92%	1.82%	10.15%	5.89%	7.18%	14.78%	4.52%	0.05%	100.00%
	52.69%									4.57%	
<b>Pavimento Rígido</b>	<b>Pf = 2.5</b>		<b>e = 20 cm (8")</b>			<b>Total vehículos = 9,978,005</b>				<b>Período de diseño (años) = 20</b>	
Factores Equivalentes Vehiculares	No se considera		0.0007672	0.0072	3.1387	0.5298	4.4894	4.3383	7.5807		Total
Total Vehículos			291,358	181,600	1,012,768	587,704	716,421	1,474,749	455,995		
Ejes Acumulados			224	1,308	3,178,773	311,366	3,216,299	6,397,904	3,456,760		<b>16,562,634</b>
										<b>Total (un carril)</b>	<b>8,281,317</b>

En esta tabla se muestra que los ejes de los vehículos livianos no son tomados en cuenta en el diseño, para introducir estos datos de tráfico en el programa se considerara que los vehículos de tipo 3 hasta el 8 serán tomados como ejes sencillos, los tipos 9 y 10 serán tomados como ejes tandem; por lo tanto a continuación se muestra los valores que serán tomados como datos para su aplicación:

**Ejes sencillos:**  $224 + 1.308 + 3.178.773 + 311.366 + 3.216.299 + 6.397.904 = 13105874$

**Ejes tandem:** 3.456.760

Estos valores son el 100 % de tráfico que circulara por la vía, como la distribución por carril es de 50 % solo se tomara este porcentaje como datos de entrada para el programa:

**Ejes sencillos:**  $13.105.874 / 2 = 6.552.937$

**Ejes tandem:**  $3.456.760 / 2 = 1.728.380$

Además de estos datos de entrada el programa permite seleccionar dos opciones más, las cuales son con berma o sin berma, con pasadores o sin pasadores, esto nos permite diseñar pavimentos que tendrán bermas y contarán con pasadores o no.

#### **4.3.3.2.Procedimiento.**

Para validar o aceptar el espesor de pavimentos propuesto este programa diseña la estructura del pavimento rígido basado en dos criterios:

**Análisis de fatiga:** en el que se controlan los esfuerzos máximos a los que puede estar sometida cada losa, en el que se tiene en cuenta el deterioro de la resistencia a causa de las repeticiones de las cargas.

El procedimiento que sigue el programa para encontrar el consumo por fatiga es el siguiente:

- a. Mayora las cargas según el factor de mayoración introducida.
- b. Calcula el número de repeticiones esperadas.
- c. Según el modelo de diseño de la losa (con o sin apoyo lateral, según el tipo de eje), calcula el esfuerzo admisible.
- d. Con el esfuerzo admisible y el módulo de rotura de la losa calcula el número de repeticiones admisibles.
- e. Con el número de repeticiones esperadas y número de repeticiones admisibles calcula el consumo por fatiga, esto realiza para cada carga.
- f. Por ultimo realiza una sumatoria de todos los consumos por fatiga de cada carga y calcula un consumo total por fatiga.

**Análisis de erosión:** en el que se controlan las deformaciones máximas adoptando un modelo que mida el trabajo que realiza la esquina de la losa cuando es deformada por la acción de las cargas.

El procedimiento que sigue el programa para encontrar el consumo por erosión es el siguiente:

- a. Mayora las cargas según el factor de mayoración introducida.
- b. Calcula el número de repeticiones esperadas.
- c. Con los datos de entra calcula el radio de rigidez relativa utilizando la fórmula que se encuentra en el Capítulo III.
- d. Según el modelo de diseño de la losa (con o sin apoyo lateral, con o sin pasadores y según el tipo de eje), calcula la deflexión en la esquina de la losa.
- e. Con la deflexión obtenida calcula el trabajo que realiza la esquina de la losa con una carga de transito aplicada.
- f. Luego calcula el coeficiente  $C_1$ , el cual está en función del tipo de material de apoyo de la losa y el espesor de losa propuesto.
- g. Con el valor del trabajo y el coeficiente  $C_1$  obtiene el número de repeticiones admisibles.
- h. Con el número de repeticiones esperadas y número de repeticiones admisibles calcula el consumo por erosión, esto realiza para cada carga de tránsito.
- i. Por ultimo realiza una sumatoria de todos los consumos por erosión de cada carga de tránsito y calcula un consumo total por erosión.

#### **a.- Procedimiento proyecto 1.-**

**Pavimento rígido del Acceso de Taxis:** El procedimiento que se sigue para el diseño de pavimento rígido este programa es, primeramente se debe ingresar al programa haciendo doble click en el icono del programa BS PCA, claro que primero se lo debe instalar para poder utilizarlo.

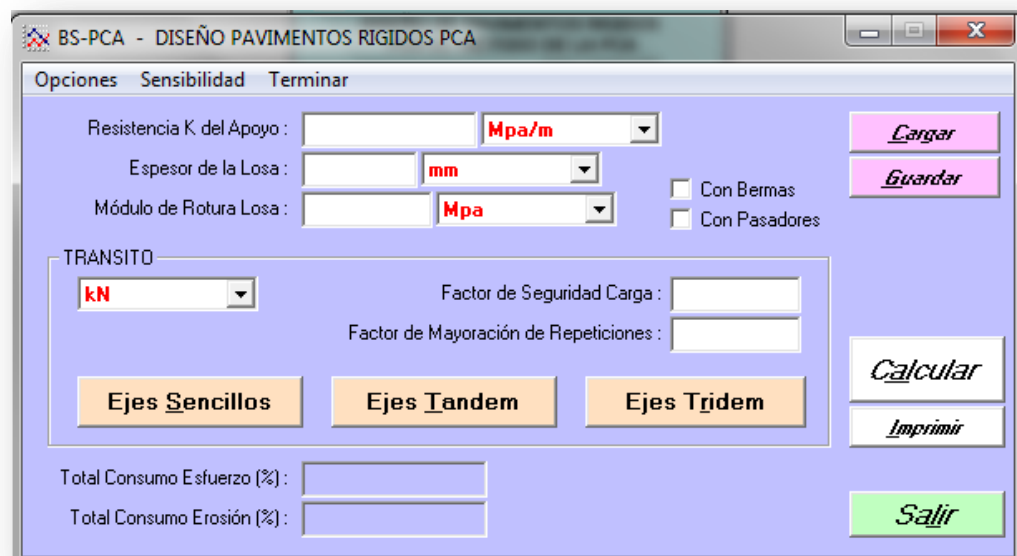


Al realizar esto nos aparece una ventana de presentación en la cual debemos presionar el botón aceptar o esperar unos segundos para ingresar a la ventana principal del programa y en esta nueva ventana se realiza el diseño, como se muestra a continuación:

### Ventana de presentación



### Ventana Principal



Luego se procede a introducir los datos de diseño en sus casillas correspondientes tomando en cuenta las unidades de cada dato, para introducir el dato de tráfico se selecciona los botones de Ejes, para este proyecto solo contamos con Ejes sencillos así que solo trabajaremos con esa tabla, como se muestra a continuación:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 48 Mpa/m

Espesor de la Losa : 200 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

**Ejes Sencillos** Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%):

Total Consumo Erosión (%):

Calcular

Imprimir

Salir

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1.748

Factor de Esfuerzo : 0.3884

Factor de Erosión : 2.826

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	80	500000
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar Salir

Luego de realizar todos estos pasos, procedemos a realizar el diseño, presionando el botón calcular y modificando el valor de la casilla de espesor de Losa hasta encontrar el espesor que cumpla con las siguientes condiciones de diseño:

**Total Consumo Esfuerzo (%) < 100 %**

**Total Consumo Erosión (%) < 100 %**

Como se muestra a continuación:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 48 Mpa/m

Espesor de la Losa : 200 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 8.063

Total Consumo Erosión (%) : 7.2964

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Total de Consumo de Erosión está muy por debajo del 100%.

Se debe reducir el espesor de la losa

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 48 Mpa/m

Espesor de la Losa: 190 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 75.2631

Total Consumo Erosión (%): 12.1749

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Consumo por Erosión cumplen con las condiciones de diseño.

**Pavimento rígido del Calles adyacentes:** El procedimiento es el mismo que se siguió anteriormente, solo que este proyecto cuenta con otros datos de entrada, a continuación se muestra las ventanas con todos los datos introducidos:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 51 Mpa/m

Espesor de la Losa: 200 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%):

Total Consumo Erosión (%):

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1.7285

Factor de Esfuerzo : 0.3841      Factor de Erosión : 2.8245

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	80	3081612
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar    Salir

Luego de realizar este paso, nuevamente procedemos a realizar el diseño, presionando el botón calcular y modificando el valor de la casilla de espesor de Losa hasta encontrar el espesor que cumpla con las siguientes condiciones de diseño:

**Total Consumo Esfuerzo (%) < 100 %**

**Total Consumo Erosión (%) < 100 %**

Como se muestra a continuación:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones    Sensibilidad    Terminar

Resistencia K del Apoyo : 51    Mpa/m

Esesor de la Losa : 200    mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5    Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos    Ejes Tandem    Ejes Tridem

Calcular

Imprimir

Total Consumo Esfuerzo (%) : 29.82

Total Consumo Erosión (%) : 44.3095

Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Total de Consumo de Erosión está muy por debajo del 100%.

Se debe reducir el espesor de la losa

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 51 Mpa/m

Espesor de la Losa : 190 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bemas

Con Pasadores

TRANSITO

**kN**

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 354.6862

Total Consumo Erosión (%) : 74.0363

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo no cumple con las condiciones de diseño.

Se debe aumentar el espesor de la losa.

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 51 Mpa/m

Espesor de la Losa : 196 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bemas

Con Pasadores

TRANSITO

**kN**

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 97.4901

Total Consumo Erosión (%) : 54.4377

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Consumo por Erosión cumplen con las condiciones de diseño.

## b.- Procedimiento proyecto 2.-

El procedimiento que se sigue para el diseño de pavimento rígido este programa es, primeramente se debe ingresar al programa haciendo doble click en el icono del programa BS PCA, claro que primero se lo debe instalar para poder utilizarlo.



Al realizar esto nos aparece una ventana de presentación en la cual debemos presionar el botón aceptar o esperar unos segundos para ingresar a la ventana principal del programa y en esta nueva ventana se realiza el diseño, como se muestra a continuación:

### Ventana de presentación



## Ventana Principal

The screenshot shows the 'BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA' window. It features a menu bar with 'Opciones', 'Sensibilidad', and 'Terminar'. The main area contains several input fields and buttons:

- Resistencia K del Apoyo:** Input field with a dropdown menu set to 'Mpa/m'.
- Espeor de la Losa:** Input field with a dropdown menu set to 'mm'.
- Módulo de Rotura Losa:** Input field with a dropdown menu set to 'Mpa'.
- TRANSITO:** A dropdown menu set to 'kN'.
- Factor de Seguridad Carga:** Input field.
- Factor de Mayoración de Repeticiones:** Input field.
- Buttons:** 'Cargar', 'Guardar', 'Calcular', 'Imprimir', and 'Salir'.
- Options:** 'Con Bermas' (unchecked) and 'Con Pasadores' (unchecked).
- Row Labels:** 'Ejes Sencillos', 'Ejes Tandem', and 'Ejes Tridem'.
- Bottom Labels:** 'Total Consumo Esfuerzo (%)' and 'Total Consumo Erosión (%)'.

Luego se procede a introducir los datos de diseño en sus casillas correspondientes tomando en cuenta las unidades de cada dato, para introducir el dato de tráfico se selecciona los botones de Ejes, para este proyecto solo contamos con Ejes sencillos así que solo trabajaremos con esa tabla, como se muestra a continuación:

This screenshot shows the same software window with data entered into the fields. The 'Ejes Sencillos' button is circled in red, indicating it is the selected option for this project.

- Resistencia K del Apoyo:** 35 Mpa/m
- Espeor de la Losa:** 200 mm
- Módulo de Rotura Losa:** 4.5 Mpa
- TRANSITO:** kN
- Factor de Seguridad Carga:** 1.2
- Factor de Mayoración de Repeticiones:** 0
- Options:** 'Con Bermas' (unchecked), 'Con Pasadores' (checked)
- Buttons:** 'Cargar', 'Guardar', 'Calcular', 'Imprimir', 'Salir'
- Row Labels:** 'Ejes Sencillos' (circled), 'Ejes Tandem', 'Ejes Tridem'
- Bottom Labels:** 'Total Consumo Esfuerzo (%)', 'Total Consumo Erosión (%)'

TRANSITO EJES SIMPLES

Esfuerzo Equivalente : 1.86

Factor de Esfuerzo : 0.4133      Factor de Erosión : 2.835

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	80	500000
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Aceptar    Salir

Luego de realizar todos estos pasos, procedemos a realizar el diseño, presionando el botón calcular y modificando el valor de la casilla de espesor de Losa hasta encontrar el espesor que cumpla con las siguientes condiciones de diseño:

$$\text{Total Consumo Esfuerzo (\%)} < 100 \%$$

$$\text{Total Consumo Erosión (\%)} < 100 \%$$

Como se muestra a continuación:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones    Sensibilidad    Terminar

Resistencia K del Apoyo : 35    Mpa/m

Espesor de la Losa : 200    mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5    Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos    Ejes Tandem    Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 527.0415

Total Consumo Erosión (%): 78.9323

Calcular

Imprimir

Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo no cumple con las condiciones de diseño.

Se debe aumentar el espesor de la losa

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 35 Mpa/m

Espesor de la Losa: 205 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO: kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 190.2192

Total Consumo Erosión (%): 61.1934

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo no cumple con las condiciones de diseño.

Se debe aumentar el espesor de la losa

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 35 Mpa/m

Espesor de la Losa: 208 mm

Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO: kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 88.2209

Total Consumo Erosión (%): 52.4548

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Consumo por Erosión cumplen con las condiciones de diseño.

### c.- Procedimiento proyecto 3.-

El procedimiento que se sigue para el diseño de pavimento rígido este programa es el mismo que se realizó en los anteriores proyectos, primeramente se debe ingresar al programa haciendo doble click en el icono del programa BS PCA, claro que primero se lo debe instalar para poder utilizarlo.



Al realizar esto nos aparece una ventana de presentación en la cual debemos presionar el botón aceptar o esperar unos segundos para ingresar a la ventana principal del programa y en esta nueva ventana se realiza el diseño, como se muestra a continuación:

#### Ventana de presentación



## Ventana Principal

The screenshot shows the 'BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA' window. It features a menu bar with 'Opciones', 'Sensibilidad', and 'Terminar'. The main area contains several input fields and buttons:

- Resistencia K del Apoyo:** Input field with a dropdown menu set to 'Mpa/m'.
- Espesor de la Losa:** Input field with a dropdown menu set to 'mm'.
- Módulo de Rotura Losa:** Input field with a dropdown menu set to 'Mpa'.
- TRANSITO:** A dropdown menu set to 'kN'.
- Factor de Seguridad Carga:** Input field.
- Factor de Mayoración de Repeticiones:** Input field.
- Buttons:** 'Cargar', 'Guardar', 'Calcular', 'Imprimir', and 'Salir'.
- Options:** 'Con Bermas' (unchecked) and 'Con Pasadores' (unchecked).
- Axis Selection:** Three buttons: 'Ejes Sencillos', 'Ejes Tandem', and 'Ejes Tridem'.
- Consumption:** Two input fields for 'Total Consumo Esfuerzo (%)' and 'Total Consumo Erosión (%)'.

Luego se procede a introducir los datos de diseño en sus casillas correspondientes tomando en cuenta las unidades de cada dato, para introducir el dato de tráfico se selecciona los botones de Ejes, como en este proyecto tenemos datos tanto para ejes sencillos como para ejes tandem, se debe introducir estos valores en las diferentes tablas seleccionando el botón correspondiente a cada eje, como se muestra a continuación:

This screenshot shows the same software window with data entered into the fields. The 'Ejes Sencillos' and 'Ejes Tandem' buttons are circled in red, indicating they are the selected options for this project.

- Resistencia K del Apoyo:** 38
- Espesor de la Losa:** 200
- Módulo de Rotura Losa:** 4.5
- TRANSITO:** kN
- Factor de Seguridad Carga:** 1.2
- Factor de Mayoración de Repeticiones:** 0
- Options:** 'Con Bermas' (unchecked), 'Con Pasadores' (checked).
- Axis Selection:** 'Ejes Sencillos' and 'Ejes Tandem' are circled in red.
- Consumption:** Input fields for 'Total Consumo Esfuerzo (%)' and 'Total Consumo Erosión (%)' are empty.

**TRANSITO EJES SIMPLES**

Esfuerzo Equivalente : **1.824**

Factor de Esfuerzo : **0.4053**      Factor de Erosión : **2.832**

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	80	6552937
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

*Aceptar*    *Salir*

---

**TRANSITO EJES TANDEM**

Esfuerzo Equivalente : **1.612**

Factor de Esfuerzo : **0.3582**      Factor de Erosión : **2.978**

#	Carga Eje (kN)	Repeticiones Esperadas
1	80	1728380
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

*Aceptar*    *Salir*

Luego de realizar todos estos pasos, procedemos a realizar el diseño, presionando el botón calcular y modificando el valor de la casilla de espesor de Losa hasta encontrar el espesor que cumpla con las siguientes condiciones de diseño:

$$\text{Total Consumo Esfuerzo (\%)} < 100 \%$$

$$\text{Total Consumo Erosión (\%)} < 100 \%$$

Como se muestra a continuación:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 38 Mpa/m

Espesor de la Losa : 200 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 461.8602

Total Consumo Erosión (%): 101.3238

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

No cumple con ninguna de las condiciones de diseño.

Se debe aumentar el espesor de la losa

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 38 Mpa/m

Espesor de la Losa : 210 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 27.1531

Total Consumo Erosión (%): 60.582

Cargar Guardar Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Total de Consumo de Erosión está muy por debajo del

Se debe reducir el espesor de la losa

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 38 Mpa/m

Espesor de la Losa : 207 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 81.0349

Total Consumo Erosión (%) : 70.7883

Calcular Imprimir Salir

El Total de Consumo de Esfuerzo y Consumo por Erosión cumplen con las condiciones de diseño.

#### 4.3.3.3.Resultados.

Este programa da como resultados el consumo por fatiga y el consumo por erosión, estos consumos no deben pasar del 100% de consumo, ya que si sucede esto la losa fallaría por fatiga o por erosión según cual sobrepase el 100% de consumo.

Si el consumo por fatiga o erosión sobrepasa el 100 % de consumo se debe mejorar el diseño del pavimento rígido propuesto.

Primeramente se mostrara el resultado obtenido en la ventana principal del programa BS PCA y seguidamente se mostrara un reporte que genera el programa:

**Resultado proyecto 1.-** Proyecto “Diseño de pavimento rígido en plataforma de Buses, calles adyacentes y accesos de taxis” en la terminal de Buses de Entre.

### Pavimento rígido del Acceso de Taxis

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo : 48 Mpa/m

Espesor de la Losa : 190 mm

Módulo de Rotura Losa : 4.5 Mpa

Con Bermas

Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga : 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones : 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%) : 75.2631

Total Consumo Erosión (%) : 12.1749

Cargar

Guardar

Calcular

Imprimir

Salir

El resultado para el diseño de pavimento rígido para el acceso de taxis es de 190 mm de espesor de losa, ya que con este espesor y las demás condiciones de diseño no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Esfuerzo por Fatiga, así como no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Erosión.

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA  
 UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
 Software : BS-PCA

Datos :

Resistencia K del Apoyo : 48 Mpa/m  
 Espesor Losa : 190 mm  
 Modulo de Rotura : 4.5 Mpa  
 Bermas : NO  
 Pasadores : SI  
 Factor de seguridad Cargas : 1.2  
 Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga KN	Carga FS KN	Repeticiones Esperadas	Repeticiones Admisib_Fatiga	Consumo Fatiga %	Repeticiones Admisi_Erosion	Consumo Erosion %
<b>EJES SIMPLES</b>						
Esfuerzo Equivalente: 1.9 Factor Esfuerzo: 0.4187 Factor Erosion: 2.8920						
80.00	96.00	500,000	664,336	75.26	4,106,821	12.17
<b>EJES TANDEM</b>						
Esfuerzo Equivalente: 1.6 Factor Esfuerzo: 0.3569 Factor Erosion: 3.0140						
<b>EJES TRIDEM</b>						
Esfuerzo Equivalente: 1.2 Factor Esfuerzo: 0.2684 Factor Erosion: 3.1160						
				Total : 75.26	12.17	

### Pavimento rígido calles adyacentes

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 51 Mpa/m  
 Espesor de la Losa: 196 mm  
 Módulo de Rotura Losa: 4.5 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO: kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2  
 Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 97.4901  
 Total Consumo Erosión (%): 54.4377

Botones: Cargar, Guardar, Calcular, Imprimir, Salir

El resultado para el diseño de pavimento rígido es de 196 mm de espesor de losa, ya que con este espesor y las demás condiciones de diseño no sobrepasa el 100 % de

Total de Consumo de Esfuerzo por Fatiga, así como no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Erosión.

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
    Resistencia K del Apoyo : 51 Mpa/m
    Espesor Losa : 196 mm
    Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
    Bermas : NO
    Pasadores : SI
    Factor de Seguridad Cargas : 1.2
    Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga      Carga  Repeticiones  Repeticiones  Consumo  Repeticiones  Consumo
  KN       FS      Esperadas     Admisib_Fatiga Fatiga    Admisi_Erosion Erosion
                                     %
EJES SIMPLES
Esfuerzo Equivalente: 1.8  Factor Esfuerzo: 0.3961  Factor Erosion: 2.8503
80.00  96.00    3,081,612    3,160,948    97.49    5,660,804    54.44

EJES TANDEM
Esfuerzo Equivalente: 1.5  Factor Esfuerzo: 0.3396  Factor Erosion: 2.9753

EJES TRIDEM
Esfuerzo Equivalente: 1.1  Factor Esfuerzo: 0.2555  Factor Erosion: 3.0770

Total : -----
          97.49          54.44
  
```

## Resultado proyecto 2.- Proyecto “Pavimento rígido Entre Ríos”.

The screenshot shows the BS-PCA software interface for rigid pavement design. The window title is "BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA". The interface includes several input fields and buttons:

- Resistencia K del Apoyo:** 35 Mpa/m
- Espesor de la Losa:** 208 mm (circled in blue)
- Módulo de Rotura Losa:** 4.5 Mpa
- Con Bermas:**
- Con Pasadores:**
- TRANSITO:** kN
- Factor de Seguridad Carga:** 1.2
- Factor de Mayoración de Repeticiones:** 0
- Ejes:** Ejes Sencillos, Ejes Tandem, Ejes Tridem
- Total Consumo Esfuerzo (%):** 88.2209 (circled in blue)
- Total Consumo Erosión (%):** 52.4548 (circled in blue)

Buttons include "Cargar", "Guardar", "Calcular", "Imprimir", and "Salir".

El resultado para el diseño de pavimento rígido es de 208 mm de espesor de losa, ya que con este espesor y las demás condiciones de diseño no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Esfuerzo por Fatiga, así como no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Erosión.

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
      Resistencia K del Apoyo : 35 Mpa/m
      Espesor Losa : 208 mm
      Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
      Bermas : NO
      Pasadores : SI
      Factor de Seguridad Cargas : 1.2
      Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga      Carga  Repeticiones  Repeticiones  Consumo  Repeticiones  Consumo
KN         FS      Esperadas     Admisib_Fatiga Fatiga     Admisi_Erosion Erosion
           KN                                     %          %

EJES SIMPLES
Esfuerzo Equivalente: 1.8  Factor Esfuerzo: 0.3916  Factor Erosion: 2.7870
80.00  96.00    5,000,000    5,667,591    88.22    9,532,017    52.45

EJES TANDEM
Esfuerzo Equivalente: 1.6  Factor Esfuerzo: 0.3520  Factor Erosion: 2.9480

EJES TRIDEM
Esfuerzo Equivalente: 1.2  Factor Esfuerzo: 0.2673  Factor Erosion: 3.0860

Total : -----
           88.22                -----
           52.45

```

### Resultado proyecto 3.- Proyecto “Campo Pajoso – Caraparí – Palos Blancos”.

The screenshot shows the BS-PCA software interface with the following data:

Parameter	Value	Unit
Resistencia K del Apoyo	38	Mpa/m
Espesor de la Losa	207	mm
Módulo de Rotura Losa	4.5	Mpa
Factor de Seguridad Carga	1.2	
Factor de Mayoración de Repeticiones	0	
Total Consumo Esfuerzo (%)	81.0349	
Total Consumo Erosión (%)	70.7883	

The interface also includes buttons for 'Cargar', 'Guardar', 'Calcular', 'Imprimir', and 'Salir', along with checkboxes for 'Con Bermas' and 'Con Pasadores'.

El resultado para el diseño de pavimento rígido es de 207 mm de espesor de losa, ya que con este espesor y las demás condiciones de diseño no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Esfuerzo por Fatiga, así como no sobrepasa el 100 % de Total de Consumo de Erosión.

```

DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS - METODO PCA
UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
Software : BS-PCA

Datos :
    Resistencia K del Apoyo : 38 Mpa/m
    Espesor Losa : 207 mm
    Modulo de Rotura : 4.5 Mpa
    Bermas : NO
    Pasadores : SI
    Factor de Seguridad Cargas : 1.2
    Factor de Mayoración Repeticiones : 1

Resultados :

Carga      Carga  Repeticiones  Repeticiones  Consumo  Repeticiones  Consumo
KN         FS      Esperadas    Admisib_Fatiga  Fatiga    Admisi_Erosion  Erosion
           KN
EJES SIMPLES
Esfuerzo Equivalente: 1.7  Factor Esfuerzo: 0.3865  Factor Erosion: 2.7900
80.00  96.00    6,552,937    8,086,564    81.03    9,257,093    70.79
EJES TANDEM
Esfuerzo Equivalente: 1.5  Factor Esfuerzo: 0.3439  Factor Erosion: 2.9423
80.00  96.00    1,728,380    Inf    0.00    Inf    0.00
EJES TRIDEM
Esfuerzo Equivalente: 1.2  Factor Esfuerzo: 0.2606  Factor Erosion: 3.0733

Total : -----
           81.03           70.79

```

#### 4.3.3.4. Validación de los resultados de espesores obtenidos por el BS PCA.

Para realizar la validación de los espesores de pavimento rígido obtenidos con el programa BS PCA se procederá a su cálculo analíticamente.

**Proyecto 1.-****Acceso de Taxis****Parámetros de entrada.-**

Características de los materiales:

Resistencia K del apoyo = 48 MPa/m

Espesor de losa = 200 mm

Módulo de rotura = 4.5 MPa

Condiciones de apoyo lateral:

Bermas = No

Pasadores = Si

Características del tránsito:

Factor de seguridad de carga = 1.2

Carga por Eje simple = 80 KN

Repeticiones Esperadas =  $N_e = 500000$

**Procedimiento.-****Análisis de Fatiga:**

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 \cdot 1.2 = 96$  KN

Segundo seleccionar el sistema de ecuaciones de análisis por fatiga para ejes simples.

**Sistema de ecuaciones para el realizar el análisis de fatiga para ejes simples sin  
apoyo lateral - Calculo del esfuerzo  $\delta_x$**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$0.0095 * l^3 - 1.3469 * l^2 + 130.82 * l + 134.41$	
<b>Radio de rigidez relativa</b> <b>I (pulg)</b>	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.06} * \left(\frac{PS}{18}\right)$ Si $P > 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.08} * \left(\frac{PS}{18}\right)$	$PS = \text{Peso del eje simple (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b>f4</b>	0.9526	

<b>Esfuerzo <math>\delta_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * 3189.22454455}{\left(\frac{200}{25.4}\right)^2} 1.2103748 * 0.894 * 0.9632 * 0.9526$ $\delta_x = 306.427849 \text{ psi} = 2.11 \text{ MPa}$
<b>Momento Flector M</b> (lb*pulg)	$0.0095 * 31.144048606^3 - 1.3469 * 31.144048606^2 + 130.82 * 31.144048606 + 134.41$ $M = 3189.22454455 \text{ lb-pulg}$
<b>Radio de rigidez Relativa I (pulg)</b>	$\sqrt[4]{\frac{4000000 * (200/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 48 * 3.686458124}}$ $I = 31.144048606 \text{ pulg}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{25}{96 * 0.224961477}\right)^{0.06} * \left(96 * \frac{0.224961477}{18}\right)$ $f1 = 1.2103748$
<b>f2</b>	0.894
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{\left(\frac{200}{25.4}\right)}{85.71} - \frac{\left(\frac{200}{25.4}\right)^2}{3000}$ $f3 = 0.9632$
<b>f4</b>	0.9526

Para la relación  $\delta_x / MR = 2.11 / 4.5 = 0.4688889$  por lo tanto las repeticiones admisibles según la ley de fatiga es:

$N = (4.2577 / (0.46888889 - 0.4325))^{3.268}$  resolviendo la ecuación se tiene

**$N = 5739811.54$**  (N: número de repeticiones admisibles)

De la relación  $Ne * 100 / N$  se obtiene el consumo por fatiga:

**Consumo por fatiga** =  $Ne * 100 / N = 500000 * 100 / 5739811.54 = 8.711 \%$

### **Análisis de Erosión:**

Primero se debe mayorar la carga por  $1.2 = 80 * 1.2 = 96 \text{ KN}$

Seguidamente se debe calcular el radio de rigidez relativa con los datos de entrada:

$$I = \sqrt[4]{\frac{4000000 * (200/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 48 * 3.686458124}} = 31.1440486061$$

Luego según las características de diseño se seleccionan la ecuación que se necesite, para nuestro caso se trata de un análisis de Erosión para pavimentos rígidos – sin apoyo lateral y con pasadores – Eje Simple:

$$w = \left( -0.3019 + \frac{128.85}{31.144048606} + \frac{1105.8}{31.144048606^2} + \frac{3269.1}{31.144048606^3} \right) * \left( \frac{96 * 0.224961477}{18} \right) * \left( \frac{0.896 * 1.0}{48 * 3.6864581} \right)$$

$w = 0.0308841706495$

Luego se reemplaza ese valor en la ecuación del trabajo:

$$U = 268.7 * \frac{(48 * 3.686458124 * 0.0308841706495)^2}{\left(\frac{200}{25.4}\right) * (48 * 3.686458124)^{0.73}} = 23.2977222318$$

Luego se calcula el coeficiente  $C_1$  que está en función de las características de la subrasante:

$$C_1 = 1 - \left[ \frac{48 * 3.686458124}{500 * \frac{200}{25.4}} \right]^2 = 0.997979920237$$

Con estos datos se procede al cálculo de las repeticiones máximas admisibles para un nivel de serviciabilidad de 3.0 exigido por la PCA con la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(C_1 * U - 9)^{0.103}$$

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(0.997979920237 * 23.2977222318 - 9)^{0.103}$$

Por lo tanto N es igual a: 411056.87

Con el número de repeticiones admisibles y el número de repeticiones esperadas se calculó el consumo total por Erosión:

$$\text{Consumo por Erosión} = 0.06 * N_e * 100 / N = 0.06 * 500000 * 100 / 411056.87 = 7.2982 \%$$

Los resultados de consumo total por fatiga y erosión son similares al programa BS PCA ahora se realizara el procedimiento análisis por fatiga y erosión con el espesor encontrado con el programa de 190 mm para terminar con la validación el programa para este proyecto:

## Segundo análisis por fatiga y erosión.

Se reducirá el espesor de losa a 190 mm ya que los valores de consumo por fatiga y por erosión están muy por debajo del 100 % esto quiere decir que esta sobre dimensionado.

### Análisis de Fatiga:

#### Sistema de ecuaciones para el realizar el análisis de fatiga para ejes simples sin apoyo lateral - Calculo del esfuerzo $\delta_x$

<b>Esfuerzo <math>\delta_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * 3100.93079665}{\left(\frac{190}{25.4}\right)^2} * 1.2103748 * 0.894 * 0.96062 * 0.9526$ $\delta_x = 328.24 \text{ psi} = 2.2632 \text{ MPa}$
<b>Momento Flector</b> <b>M</b> (lb*pulg)	$0.0095 * 29.9686909053^3 - 1.3469 * 29.9686909053^2 + 130.82 * 29.9686909053 + 134.41$ $M = 3100.93079665 \text{ lb-pulg}$
<b>Radio de rigidez</b> <b>Relativa I (pulg)</b>	$\sqrt[4]{\frac{4000000 * (190/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 48 * 3.686458124}}$ $I = 29.9686909053 \text{ pulg}$
<b>f1</b>	<p>Si P &lt; 25 Kips</p> $\left(\frac{25}{96 * 0.224961477}\right)^{0.06} * \left(96 * \frac{0.224961477}{18}\right)$ $f1 = 1.2103748$
<b>f2</b>	0.894
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{\left(\frac{190}{25.4}\right)}{85.71} - \frac{\left(\frac{190}{25.4}\right)^2}{3000}$ $f3 = 0.96062$
<b>f4</b>	0.9526

Para la relación  $\delta_x / MR = 2.2632 / 4.5 = 0.5029333$  por lo tanto las repeticiones admisibles según la ley de fatiga es:

$N=(4.2577/(0.5029333-0.4325))^{3.268}$  resolviendo la ecuación se tiene

$N = 663140.365$  (N: número de repeticiones admisibles)

De la relación  $N_e*100/N$  se obtiene el consumo por fatiga:

**Consumo por fatiga** =  $N_e*100/N = 500000*100/663140.365 = 75.3988 \%$

### Análisis de Erosión:

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80*1.2 = 96$  KN

Seguidamente se debe calcular el radio de rigidez relativa con los datos de entrada:

$$I = \sqrt[4]{\frac{4000000 * (190/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 48 * 3.686458124}} = 29.9686909053$$

Luego según las características de diseño se seleccionan la ecuación que se necesite, para nuestro caso se trata de un análisis de Erosión para pavimentos rígidos – sin apoyo lateral y con pasadores – Eje Simple:

$$w = \left( -0.3019 + \frac{128.85}{29.96869090} + \frac{1105.8}{29.96869090^2} + \frac{3269.1}{29.96869090^3} \right) * \left( \frac{96 * 0.224961477}{18} \right) * \left( \frac{0.896 * 1.0}{48 * 3.6864581} \right)$$

$$w = 0.0325043032657$$

Luego se reemplaza ese valor en la ecuación del trabajo:

$$U = 268.7 * \frac{(48 * 3.686458124 * 0.0308841706495)^2}{\left(\frac{190}{25.4}\right) * (48 * 3.686458124)^{0.73}} = 27.1643735149$$

Luego se calcula el coeficiente  $C_1$  que está en función de las características de la subrasante:

$$C_1 = 1 - \left[ \frac{48 * 3.686458124}{500 * \frac{190}{25.4}} \right]^2 = 0.997761684474$$

Con estos datos se procede al cálculo de las repeticiones máximas admisibles para un nivel de serviciabilidad de 3.0 exigido por la PCA con la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(C_1 * U - 9)^{0.103}$$

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(0.997761684474 * 27.1643735149 - 9)^{0.103}$$

Por lo tanto N es igual a: 246349.732

Con el número de repeticiones admisibles y el número de repeticiones esperadas se calculó el consumo total por Erosión:

$$\text{Consumo por Erosión} = 0.06 * N_e * 100 / N = 0.06 * 500000 * 100 / 246349.732$$

$$\text{Consumo por Erosión} = 12.1778 \%$$

**Por lo tanto el resultado para los siguientes parámetros de entrada es:**

Características de los materiales:

Resistencia K del apoyo = 48 MPa/m

Espesor de losa = 190 mm

Módulo de rotura = 4.5 MPa

Condiciones de apoyo lateral:

Bermas = No

Pasadores = Si

Características del tránsito:

Factor de seguridad de carga = 1.2

Carga por Eje simple = 80 KN  
 Repeticiones Esperadas =  $N_e = 500000$

Se obtuvo un total de consumo por fatiga de **75.3988 %** y total de consumo por erosión de **12.1778 %** similares a los valores obtenidos por el programa BS PCA.

### **Calles Adyacentes**

#### **Parámetros de entrada.-**

Características de los materiales:

Resistencia K del apoyo = 51 MPa/m

Espesor de losa = 196 mm

(Se realizara el análisis con el resultado obtenido con el programa BS PCA)

Módulo de rotura = 4.5 MPa

Condiciones de apoyo lateral:

Bermas = No

Pasadores = Si

Características del tránsito:

Factor de seguridad de carga = 1.2

Carga por Eje simple = 80 KN

Repeticiones Esperadas =  $N_e = 3081612$

#### **Procedimiento.-**

##### **Análisis de Fatiga:**

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 \cdot 1.2 = 96$  KN

Segundo seleccionar el sistema de ecuaciones de análisis por fatiga para ejes simples.

**Sistema de ecuaciones para el realizar el análisis de fatiga para ejes simples sin apoyo lateral - Calculo del esfuerzo  $\delta_x$**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$0.0095 * l^3 - 1.3469 * l^2 + 130.82 * l + 134.41$	
<b>Radio de rigidez relativa I</b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.06} * \left(\frac{PS}{18}\right)$ Si $P > 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.08} * \left(\frac{PS}{18}\right)$	$PS = \text{Peso del eje simple (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b>f4</b>	0.9526	

<b>Esfuerzo <math>\delta_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * 3189.22454455}{\left(\frac{196}{25.4}\right)^2} 1.2103748 * 0.894 * 0.9621824 * 0.9526$ $\delta_x = 311.756 \text{ psi} = 2.14 \text{ MPa}$
<b>Momento Flector M</b> (lb*pulg)	$0.0095 * 30.214289812^3 - 1.3469 * 30.214289812^2 + 130.82 * 30.214289812 + 134.41$ $M = 3119.4898154 \text{ lb-pulg}$
<b>Radio de rigidez Relativa I</b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{4000000 * \left(\frac{196}{25.4}\right)^3}{12(1 - 0.15^2) * 51 * 3.686458124}}$ $I = 30.214289812 \text{ pulg}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{25}{96 * 0.224961477}\right)^{0.06} * \left(96 * \frac{0.224961477}{18}\right)$ $f1 = 1.2103748$
<b>f2</b>	0.894
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{\left(\frac{196}{25.4}\right)}{85.71} - \frac{\left(\frac{196}{25.4}\right)^2}{3000}$ $f3 = 0.9621824$
<b>f4</b>	0.9526

Para la relación  $\delta_x / MR = 2.14 / 4.5 = 0.4755556$  por lo tanto las repeticiones admisibles según la ley de fatiga es:

$$N = (4.2577 / (0.4755556 - 0.4325))^{3.268} \text{ resolviendo la ecuación se tiene}$$

$$N = 3312353.436 \text{ (N: número de repeticiones admisibles)}$$

De la relación  $Ne * 100 / N$  se obtiene el consumo por fatiga:

$$\text{Consumo por fatiga} = Ne * 100 / N = 3081612 * 100 / 3312353.436 = 93.034 \%$$

### Análisis de Erosión:

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 * 1.2 = 96$  KN

Seguidamente se debe calcular el radio de rigidez relativa con los datos de entrada:

$$I = \sqrt[4]{\frac{4000000 * (196/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 51 * 3.686458124}} = 30.214289812$$

Luego según las características de diseño se seleccionan la ecuación que se necesite, para nuestro caso se trata de un análisis de Erosión para pavimentos rígidos – sin apoyo lateral y con pasadores – Eje Simple:

$$w = \left( -0.3019 + \frac{128.85}{30.214289812} + \frac{1105.8}{30.214289812^2} + \frac{3269.1}{30.214289812^3} \right) * \left( \frac{96 * 0.224961477}{18} \right) * \left( \frac{0.896 * 1.0}{51 * 3.6864581} \right)$$

$$w = 0.0302616689424$$

Luego se reemplaza ese valor en la ecuación del trabajo:

$$U = 268.7 * \frac{(51 * 3.686458124 * 0.0308841706495)^2}{\left(\frac{196}{25.4}\right) * (51 * 3.686458124)^{0.73}} = 24.6512533042$$

Luego se calcula el coeficiente  $C_1$  que está en función de las características de la subrasante:

$$C_1 = 1 - \left[ \frac{51 * 3.686458124}{500 * \frac{196}{25.4}} \right]^2 = 0.997625488682$$

Con estos datos se procede al cálculo de las repeticiones máximas admisibles para un nivel de serviciabilidad de 3.0 exigido por la PCA con la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(C_1 * U - 9)^{0.103}$$

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(0.997979920237 * 23.2977222318 - 9)^{0.103}$$

Por lo tanto N es igual a: 339563.064

Con el número de repeticiones admisibles y el número de repeticiones esperadas se calculó el consumo total por Erosión:

$$\text{Consumo por Erosión} = 0.06 * N_e * 100 / N = 0.06 * 3081612 * 100 / 339563.034$$

$$\text{Consumo por Erosión} = 54.4512 \%$$

**Por lo tanto el resultado obtenido de total de consumo por fatiga y erosión para los valores de los parámetros de entrada es:**

Se obtuvo un total de consumo por fatiga de **93.034 %** y total de consumo por erosión de **54.4512 %** similares a los valores obtenidos por el programa BS PCA.

**Proyecto 2.-****Entre Ríos – Primera fase****Parámetros de entrada.-**

Características de los materiales:

Resistencia K del apoyo = 35 MPa/m

Espesor de losa = 208 mm

(Se realizara el análisis con el resultado obtenido con el programa BS PCA)

Módulo de rotura = 4.5 MPa

Condiciones de apoyo lateral:

Bermas = No

Pasadores = Si

Características del tránsito:

Factor de seguridad de carga = 1.2

Carga por Eje simple = 80 KN

Repeticiones Esperadas = Ne = 5000000

**Procedimiento.-****Análisis de Fatiga:**

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 \cdot 1.2 = 96$  KN

Segundo seleccionar el sistema de ecuaciones de análisis por fatiga para ejes simples.

**Sistema de ecuaciones para el realizar el análisis de fatiga para ejes simples sin apoyo lateral - Calculo del esfuerzo  $\delta_x$**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$0.0095 * l^3 - 1.3469 * l^2 + 130.82 * l + 134.41$	
<b>Radio de rigidez relativa I</b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.06} * \left(\frac{PS}{18}\right)$ Si $P > 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.08} * \left(\frac{PS}{18}\right)$	$PS = \text{Peso del eje simple (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b>f4</b>	0.9526	

<b>Esfuerzo <math>\delta_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * 3189.22454455}{\left(\frac{208}{25.4}\right)^2} 1.2103748 * 0.894 * 0.96518972 * 0.9526$ $\delta_x = 306.07 \text{ psi} = 2.11 \text{ MPa}$
<b>Momento Flector M</b> (lb*pulg)	$0.0095 * 34.7091304651^3 - 1.3469 * 34.7091304651^2 + 130.82 * 34.7091304651 + 134.41$ $M = 3449.65772236 \text{ lb-pulg}$
<b>Radio de rigidez Relativa I</b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{4000000 * (208/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 35 * 3.686458124}}$ $I = 34.7091304651 \text{ pulg}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{25}{96 * 0.224961477}\right)^{0.06} * \left(96 * \frac{0.224961477}{18}\right)$ $f1 = 1.2103748$
<b>f2</b>	0.894
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{\left(\frac{208}{25.4}\right)}{85.71} - \frac{\left(\frac{208}{25.4}\right)^2}{3000}$ $f3 = 0.96518972$
<b>f4</b>	0.9526

Para la relación  $\delta_x / \mathbf{MR} = 2.11 / 4.5 = 0.468888$  por lo tanto las repeticiones admisibles según la ley de fatiga es:

$$N = (4.2577 / (0.468888 - 0.4325))^{3.268}$$
 resolviendo la ecuación se tiene

$$N = \mathbf{5739817.266}$$
 (N: número de repeticiones admisibles)

De la relación  $Ne * 100 / N$  se obtiene el consumo por fatiga:

$$\mathbf{Consumo por fatiga} = Ne * 100 / N = 5000000 * 100 / 5739817.266 = 87.11 \%$$

### **Análisis de Erosión:**

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 * 1.2 = 96$  KN

Seguidamente se debe calcular el radio de rigidez relativa con los datos de entrada:

$$I = \sqrt[4]{\frac{4000000 * (208/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 35 * 3.686458124}} = 34.7091304651$$

Luego según las características de diseño se seleccionan la ecuación que se necesite, para nuestro caso se trata de un análisis de Erosión para pavimentos rígidos – sin apoyo lateral y con pasadores – Eje Simple:

$$w = \left( -0.3019 + \frac{128.85}{34.709130465} + \frac{1105.8}{34.709130465^2} + \frac{3269.1}{34.709130465^3} \right) * \left( \frac{96 * 0.224961477}{18} \right) * \left( \frac{0.896 * 1.0}{35 * 3.6864581} \right)$$

$$w = 0.0367135236415$$

Luego se reemplaza ese valor en la ecuación del trabajo:

$$U = 268.7 * \frac{(35 * 3.686458124 * 0.0308841706495)^2}{\left(\frac{208}{25.4}\right) * (35 * 3.686458124)^{0.73}} = 21.1958295775$$

Luego se calcula el coeficiente  $C_1$  que está en función de las características de la subrasante:

$$C_1 = 1 - \left[ \frac{35 * 3.686458124}{500 * \frac{208}{25.4}} \right]^2 = 0.999006985813$$

Con estos datos se procede al cálculo de las repeticiones máximas admisibles para un nivel de serviciabilidad de 3.0 exigido por la PCA con la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(C_1 * U - 9)^{0.103}$$

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(0.999006985813 * 21.1958295775 - 9)^{0.103}$$

Por lo tanto N es igual a: 571771.40

Con el número de repeticiones admisibles y el número de repeticiones esperadas se calculó el consumo total por Erosión:

$$\text{Consumo por Erosión} = 0.06 * N_e * 100 / N = 0.06 * 5000000 * 100 / 571771.40$$

$$\text{Consumo por Erosión} = 52.4685 \%$$

**Por lo tanto el resultado obtenido de total de consumo por fatiga y erosión para los valores de los parámetros de entrada es:**

Se obtuvo un total de consumo por fatiga de **87.11 %** y total de consumo por erosión de **52.4685 %** similares a los valores obtenidos por el programa BS PCA.

**Proyecto 3.-****Campo Pajoso – Carapari – Palos Blancos****Parámetros de entrada.-**

Características de los materiales:

Resistencia K del apoyo = 38 MPa/m

Espesor de losa = 207 mm

(Se realizara el análisis con el resultado obtenido con el programa BS PCA)

Módulo de rotura = 4.5 MPa

Condiciones de apoyo lateral:

Bermas = No

Pasadores = Si

Características del tránsito:

Factor de seguridad de carga = 1.2

Carga por Eje simple = 80 KN

Repeticiones Esperadas = Ne = 6552937

Carga por Eje Tandem = 80 KN

Repeticiones Esperadas = Ne = 1728380

**Procedimiento.-****Análisis de Fatiga:**

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 \cdot 1.2 = 96$  KN

Segundo seleccionar el sistema de ecuaciones de análisis por fatiga para ejes simples.

**Sistema de ecuaciones para el realizar el análisis de fatiga para ejes simples sin apoyo lateral - Calculo del esfuerzo  $\delta_x$**

<b>Esfuerzo <math>\sigma_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * M}{h^2} f1 * f2 * f3 * f4$	
<b>Momento flector M</b> (lb-pulg)	$0.0095 * l^3 - 1.3469 * l^2 + 130.82 * l + 134.41$	
<b>Radio de rigidez relativa I</b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{E * h^3}{12(1 - \mu^2) * k}}$	$E = 4'000.000 \text{ psi} \quad \mu = 0.15$ $h = \text{Espesor de la losa de concreto (pulg)}$ $k = \text{Módulo de reacción (pci)}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.06} * \left(\frac{PS}{18}\right)$ Si $P > 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{24}{PS}\right)^{0.08} * \left(\frac{PS}{18}\right)$	$PS = \text{Peso del eje simple (Kips)}$
<b>f2</b>	0.894	
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{h}{85.71} - \frac{h^2}{3000}$	
<b>f4</b>	0.9526	

<b>Esfuerzo <math>\delta_x</math></b> (psi)	$\frac{6 * 3390.002477}{\left(\frac{207}{25.4}\right)^2} 1.2103748 * 0.894 * 0.9649448 * 0.9526$ $\delta_x = 304.613 \text{ psi} = 2.093 \text{ MPa}$
<b>Momento Flector M</b> (lb*pulg)	$0.0095 * 33.8801044876^3 - 1.3469 * 33.8801044876^2 + 130.82 * 33.8801044876 + 134.41$ $M = 3390.002477 \text{ lb-pulg}$
<b>Radio de rigidez Relativa I</b> (pulg)	$\sqrt[4]{\frac{4000000 * \left(\frac{207}{25.4}\right)^3}{12(1 - 0.15^2) * 38 * 3.686458124}}$ $I = 33.8801044876 \text{ pulg}$
<b>f1</b>	Si $P < 25 \text{ Kips}$ $\left(\frac{25}{96 * 0.224961477}\right)^{0.06} * \left(96 * \frac{0.224961477}{18}\right)$ $f1 = 1.2103748$
<b>f2</b>	0.894
<b>f3</b>	$0.892 + \frac{\left(\frac{207}{25.4}\right)}{85.71} - \frac{\left(\frac{207}{25.4}\right)^2}{3000}$ $f3 = 0.9649448$
<b>f4</b>	0.9526

Para la relación  $\delta_x / MR = 2.10 / 4.5 = 0.4651111$  por lo tanto las repeticiones admisibles según la ley de fatiga es:

$N = (4.2577 / (0.4666667 - 0.4325))^{3.268}$  resolviendo la ecuación se tiene

**N = 8212309.716** (N: número de repeticiones admisibles)

De la relación  $Ne * 100 / N$  se obtiene el consumo por fatiga:

**Consumo por fatiga** =  $Ne * 100 / N = 6552937 * 100 / 8212309.716 = 79.794 \%$

Se realizó el mismo procedimiento para ejes tandem y el resultado por fatiga fue = 0.00 %

**Total de consumo por fatiga** =  $79.794 + 0.00 = 79.794 \%$

#### **Análisis de Erosión:**

Primero se debe mayorar la carga por 1.2 =  $80 * 1.2 = 96$  KN

Seguidamente se debe calcular el radio de rigidez relativa con los datos de entrada:

$$I = \sqrt[4]{\frac{4000000 * (207/25.4)^3}{12(1 - 0.15^2) * 38 * 3.686458124}} = 33.8801044876$$

Luego según las características de diseño se seleccionan la ecuación que se necesite, para nuestro caso se trata de un análisis de Erosión para pavimentos rígidos – sin apoyo lateral y con pasadores – Eje Simple:

$$w = \left( -0.3019 + \frac{128.85}{33.880104487} + \frac{1105.8}{33.880104487^2} + \frac{3269.1}{33.880104487^3} \right) * \left( \frac{96 * 0.224961477}{18} \right) * \left( \frac{0.896 * 1.0}{38 * 3.6864581} \right)$$

$$w = 0.0349062371951$$

Luego se reemplaza ese valor en la ecuación del trabajo:

$$U = 268.7 * \frac{(38 * 3.686458124 * 0.0349062371951)^2}{\left(\frac{207}{25.4}\right) * (38 * 3.686458124)^{0.73}} = 21.3725377839$$

Luego se calcula el coeficiente  $C_1$  que está en función de las características de la subrasante:

$$C_1 = 1 - \left[ \frac{38 * 3.686458124}{500 * \frac{207}{25.4}} \right]^2 = 0.998818122304$$

Con estos datos se procede al cálculo de las repeticiones máximas admisibles para un nivel de serviciabilidad de 3.0 exigido por la PCA con la siguiente ecuación:

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(C_1 * U - 9)^{0.103}$$

$$\text{Log}(N) = 14.524 - 6.777(0.998818122304 * 21.3725377839 - 9)^{0.103}$$

Por lo tanto N es igual a: 555276.5324

Con el número de repeticiones admisibles y el número de repeticiones esperadas se calculó el consumo total por Erosión:

$$\text{Consumo por Erosión} = 0.06 * N_e * 100 / N = 0.06 * 6552937 * 100 / 555276.53$$

$$\text{Consumo por Erosión} = 70.8073 \%$$

Se realizó el mismo procedimiento para ejes tandem y el resultado fue= 0.00 %

$$\text{Total de consumo por erosión} = 70.8073 + 0.00 = 70.8073 \%$$

**Por lo tanto el resultado obtenido de total de consumo por fatiga y erosión para los valores de los parámetros de entrada es:**

Se obtuvo un total de consumo por fatiga de **79.794 %** y total de consumo por erosión de **70.8073 %** similares a los valores obtenidos por el programa BS PCA.

#### 4.4. Análisis de los programas.

##### 4.4.1. Programa DIPAV 2.0

##### 4.4.1.1. Datos de entrada.

###### a. Cuantos.-

En este punto se mencionará con cuantos datos se cuenta para realizar el diseño del pavimento rígido de cada proyecto estudiado en la aplicación del programa DIPAV 2.0, a continuación se muestra una tabla:

Nombre del Proyecto	Tramos Analizados	Numero de datos
Proyecto 1 = Diseño de pavimento en plataforma de buses, calles adyacentes y acceso de taxis en la terminal de Entre Ríos.	Acceso de Taxis	10
	Calles Adyacentes	10
Proyecto 2 = Pavimento Rígido Entre Ríos.	Primera Fase	10
Proyecto 3 = Diseño Pavimento Rígido Campo Pajoso - Carapari - Palos Blancos	Campo Pajoso - Carapari	28

Los dos primeros proyectos cuentan con diez datos de entrada ya que para estos proyectos solo se dimensionara el espesor del pavimento rígido, porque no se cuenta con más información para realizar el diseño de barras de amarre ni reservorio de juntas.

El último proyecto estudiado cuenta con veintinueve datos de entrada porque en este proyecto además de realizar el diseño del espesor del pavimento rígido se diseñaran las barras de amarre que estarán en las juntas longitudinales, como también el reservorio de juntas tanto longitudinales como transversales, ya que esto programa cuenta con esta aplicación en el diseño de pavimento rígido.

###### b. Cuales.-

A continuación se mencionarán cuáles fueron los datos de entrada que se utilizaron en la aplicación del programa DIPAV 2.0:

Proyecto	Tramos Analizados	Datos de entrada
Proyecto 1	Acceso de Taxis	$W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Serviciabilidad Inicial ( $p_0$ ). Serviciabilidad Final ( $p_t$ ). Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). Nivel de Confianza (R). Desviación Estándar Global ( $S_o$ ). Coeficiente de Transferencia de Carga (J) Coeficiente Global de Drenaje ( $C_d$ ).
	Calles Adyacentes	$W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Serviciabilidad Inicial ( $p_0$ ). Serviciabilidad Final ( $p_t$ ). Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). Nivel de Confianza (R). Desviación Estándar Global ( $S_o$ ). Coeficiente de Transferencia de Carga (J) Coeficiente Global de Drenaje ( $C_d$ ).
Proyecto 2	Primera Fase	$W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Serviciabilidad Inicial ( $p_0$ ). Serviciabilidad Final ( $p_t$ ). Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). Nivel de Confianza (R). Desviación Estándar Global ( $S_o$ ). Coeficiente de Transferencia de Carga (J) Coeficiente Global de Drenaje ( $C_d$ ).

Proyecto	Tramos Analizados	Datos de entrada
Proyecto 3	Campo Pajoso - Carapari	<p> <math>W_{18}</math>= Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S).            Serviciabilidad Inicial (<math>p_0</math>).            Serviciabilidad Final (<math>p_t</math>).            Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días (<math>S'_c</math>).            Módulo de Elasticidad (<math>E_c</math>).            Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K).            Nivel de Confianza (R).            Desviación Estándar Global (<math>S_o</math>).            Coeficiente de Transferencia de Carga (J)            Coeficiente Global de Drenaje (<math>C_d</math>).  <b>Información Adicional:</b>            Espesor de capa base.            Diámetro de barras Pasajuntas.            Longitud de barras pasajuntas.            Separación entre barras pasajuntas.            Revestimiento de barras pasajuntas.            Separación entre juntas transversales.            Coeficiente de Fricción / Losa-Base.            Calidad del acero.            Diámetro de la barra.            Distancia al borde libre.            Porcentaje de resistencia a tracción.            Coeficiente de expansión térmica.            Rango de temperatura.            Coeficiente de retracción por secado.            Coeficiente de ajuste por fricción Losa/Base.            Tipo de sellador.            Deformación admisible del sellador.            Factor de forma del sellador.         </p>

**c. Confiabilidad.-**

Solo se realizara el análisis de confiabilidad de los parámetros de entrada que se necesitan para el diseño del espesor de pavimento rígido.

**$W_{18}$  = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S).**- La confiabilidad de este parámetro está en función de la obtención del tráfico que se tomara en cuenta en cada proyecto, ya que estos datos de tráfico se los puede conseguir de diferentes formas, por ejemplo a través de aforos si ya existe la carretera, pero si está aún no existe se debe relacionar factores sociales, geográficos, etc. de carreteras que se consideran similares a la que se va a construir, por esto si el estudio de tráfico está bien realizado tomando en cuenta todas variables necesarias, se puede decir que este dato es confiable ya que se realiza un estudio para su obtención.

**Serviciabilidad Inicial ( $p_0$ ) y Final ( $p_f$ ).**- Estos parámetros difieren según el proyecto, son parámetros confiables porque se realizaron varios ensayos para obtener rangos de valores tanto de serviciabilidad inicial como final, estos son valores subjetivos que miden el confort del pavimento mientras en mejores condiciones se encuentra el pavimento estos valores son mayor, estos parámetros también se pueden medir a través de dos métodos el PCI y PSI, estos métodos miden la serviciabilidad del pavimento cuando uno quiere realizar un mantenimiento para saber su estado, para realizar el diseño de pavimentos nuevos este parámetro cuenta con rangos según el uso que se le dará a la nueva vía.

**Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ).**- Este parámetro es un dato confiable ya que para obtenerlo se realiza un ensayo el cual nos da como resultado este parámetro, también se lo puede correlacionar con la resistencia a compresión del hormigón, para esto se debe tener mucho cuidado ya que este valor difiere según los agregados que se utilizan en el hormigón, por lo tanto se puede realizar probetas para verificar el valor que se utilizara en el diseño.

**Módulo de Elasticidad ( $E_c$ ).**- Como el diseño no es muy sensible a este parámetro se lo puede obtener a partir de la correlación con la resistencia a compresión o flexotracción del hormigón, por lo tanto su confiabilidad estará en función a los ensayos que se realicen para obtener las resistencia del hormigón.

**Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K).**- Este parámetro tiene una confiabilidad aceptable ya que en la mayoría de los proyectos es correlacionado con el valor de C.B.R. de la subrasante, para que este valor se más confiable se debería realizar el ensayo de placa el cual nos da como resultado el valor de K, como este ensayo es muy costoso, se trabaja con el valor obtenido de la correlación con el C.B.R., pero como es un ensayo que es obtenido con el suelo de la subrasante es un valor confiable.

**Nivel de Confianza (R).**- Este parámetro es confiable porque según el tipo de carretera el proyectista elige un valor que se encuentra dentro de rangos, mientras más alto el porcentaje de este parámetro se debe realizar un mayor control en la ejecución del proyecto.

**Desviación Estándar Global ( $S_o$ ).**- Este parámetro necesita que se realice un estudio de diferentes variables que intervienen en el diseño como calidad de materiales de construcción, condiciones climáticas, estimaciones de tráfico, etc. como estos estudio no siempre son realizados la guía AASHTO nos da rangos de valores que se pueden utilizar, estos rangos están entre 0.3 y 0.4, si el proyectista cuenta con datos confiables puede utilizar valores cercanos a 0.4 caso contrario no; como no siempre todos los datos son el 100% confiables en el diseño de pavimentos rígidos se aconseja utilizar 0.35.

**Coficiente de Transferencia de Carga (J).**- Este es un parámetro confiable porque se adopta un valor de una tabla según las condiciones de transferencia de cargas del diseño de las losa, estas tablas de donde se adopta el valor de este parámetro fue

realizada a través de un estudio sobre transferencia de cargas entre losa longitudinales lo cual hace que este parámetro sea confiable.

**Coefficiente Global de Drenaje ( $C_d$ ).**- Este es un parámetro confiable ya que se realizaron varios estudios para obtener las tablas de donde se selecciona este valor, para seleccionar de forma óptima este valor se debe realizar un buen estudio de suelos, con el cual se obtendrán todas sus características principales, con las que se realizara una buena elección del valor de este parámetro.

#### **d. Dificultad.-**

Los parámetros de entrada en su gran mayoría son datos que no tienen una gran dificultad para conseguirlos, ya que la mayoría de los datos utilizados en el diseño de pavimento rígido son adoptados o seleccionados de tablas de la guía AASHTO, los parámetros que tiene mayor dificultad de conseguir son el  $W_{18}$  (número de ejes equivalentes) y el coeficiente K, para encontrar el valor de estos parámetros se debe realizar diferentes estudios.

Para encontrar el valor de  $W_{18}$  se debe realizar un estudio de tráfico actual y proyectarlo hacia el futuro, para que este estudio tenga mayor confiabilidad se lo debería realizar las 24 horas del día por lo menos durante un año, pero como esto no es posible se lo realiza en horas picos y seleccionando dos días hábiles y un día no hábil, durante tres meses para tener una representación del tráfico diario anual, por esto se puede decir que este parámetro tiene un grado de dificultad mayor que los demás.

El coeficiente K (valor de soporte de la subrasante) es otro de los parámetros que tiene un mayor grado de dificultad, ya que para obtenerlo se debe realizar un estudio de suelos y encontrar el valor de C.B.R. para luego correlacionarlo a través de un gráfico y así encontrar el valor del coeficiente K, aunque existe un estudio de placa que nos da como resultado el valor de este coeficiente, pero como el costo del equipo necesario para realizar este estudio es muy alto, los proyectos de pavimentos rígidos son realizados con valores del coeficiente K correlacionado con el C.B.R.

#### **4.4.1.2.Procedimiento.**

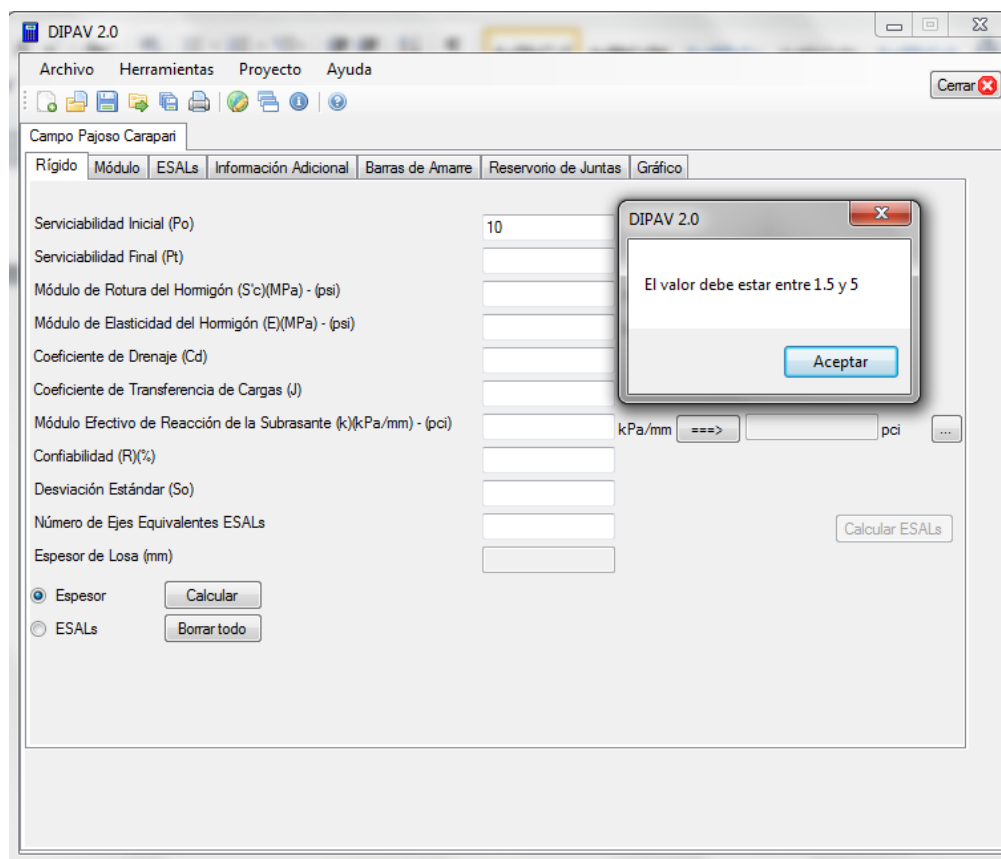
##### **a. Proceso del programa.-**

El proceso que realiza el programa DIPAV 2.0 para realizar el diseño del espesor de losa está basado en el método AASHTO, este método al igual que el programa realiza el diseño de espesor utilizando la ecuación general de este método, lo que realiza en su proceso es primeramente se debe introducir todos los datos necesarios para resolver la ecuación que nos da como resultado el espesor de la losa, para encontrar este valor lo que hace el programa es iterar la ecuación hasta encontrar el valor del espesor buscado, además del espesor de la losa el programa nos da la opción de calcular el número de ejes equivalentes que soportara un espesor dado, para esto el programa realiza la misma operación que en el cálculo del espesor de la losa con la única diferencia que para esto se debe introducir como dato el espesor de la losa y el programa itera la misma ecuación para encontrar el número de ejes equivalentes buscados.

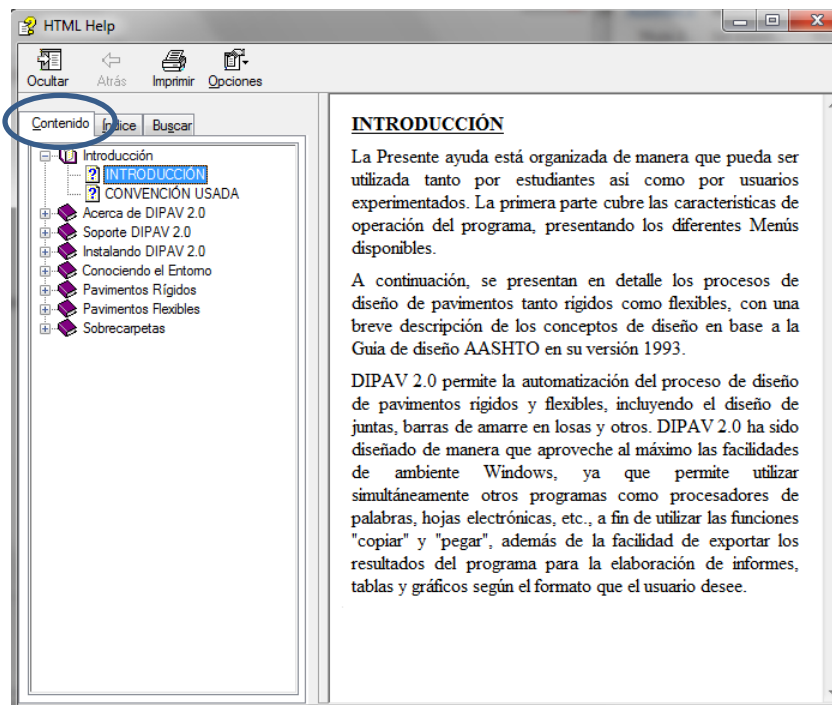
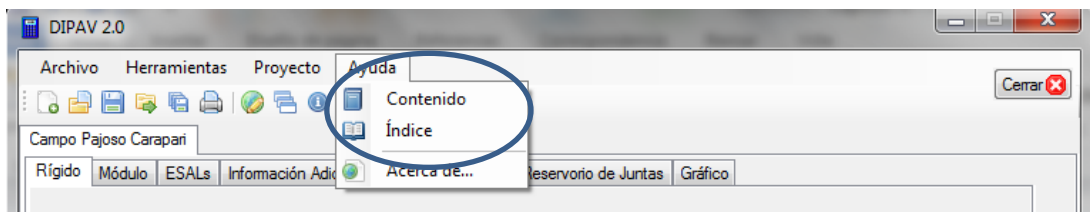
El programa DIPAV 2.0 también nos permite realizar el diseño de barras de amarre que lleven las juntas longitudinales, para esto el programa nos pide otros datos adicionales para realizar el diseño, como por ejemplo las propiedades del acero, con estos datos lo que hace el programa es calcular el área de acero requerido, la longitud y separación de las barras, además nos muestra un gráfico, en la misma ventana, en el cual nos indica cada elemento que calculado para tener una mejor apreciación de lo que estamos haciendo. Así como realiza este diseño de barras de amarre realiza el diseño de reservorio de juntas, para esto, el programa necesita otros datos, como por ejemplo las propiedades y características del material con el que se va a sellar las juntas; además de las propiedades del hormigón, con estos datos el programa diseña el reservorio de juntas y nos muestra en una gráfica cada elemento calculado para poder entender mejor los resultados obtenidos.

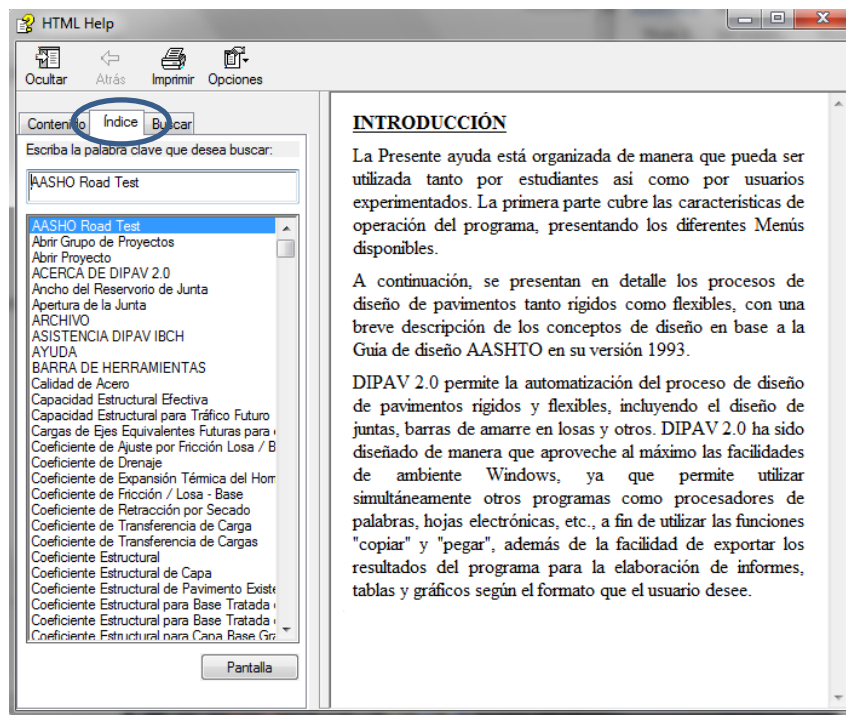
### b. Confiabilidad.-

Se puede definir al programa DIPAV 2.0 como un programa confiable, ya que controla que los valores de los parámetros de entrada para el diseño de pavimento rígido estén dentro de rangos definidos para cada uno de ellos, esto hace que no se pueda introducir cualquier valor en las casillas de los parámetros; este programa para realizar este control de valores de los parámetros de entrada nos muestra una ventana de advertencia en la cual muestra un mensaje con los rangos en los cuales se encuentra el valor de dicho parámetro, a continuación se muestra una de las ventanas de advertencia que muestra el programa DIPAV 2.0, este ejemplo fue realizado con el parámetro de entrada serviciabilidad inicial, se trató de introducir un valor de serviciabilidad inicial de 10 y el programa mostro la ventana de advertencia:



Este programa además de realizar el control de los valores introducidos de cada parámetro cuenta con una pestaña denominada ayuda, al hacer click en esta pestaña el programa nos muestra una subpestañas en las cuales podemos seleccionar entre ver el contenido, en el cual nos muestra una nueva ventana que nos ofrece la opción de buscar un tema en particular sobre características del programa, o ver el índice, en el cual podemos buscar información sobre todos los parámetros necesarios para el diseño de pavimentos rígidos, diseño de barras de amarre o reservorio de juntas; esta ayuda que nos da el programa es muy importante ya que si no conocemos el valor de algún parámetro o no sabemos que es lo que nos pide la casilla de algún parámetro, solo lo buscamos y la ayuda del programa nos da toda la información del parámetro, como también el rango de sus valores, a continuación se muestra estas ventanas:





### c. Capacidad de alternativas.-

El DIPAV 2.0 es un programa que nos permite simular lo que pasa si cambiamos el valor de algún parámetro de entrada, esto quiere decir que es un programa que tiene la capacidad de darnos distintas alternativas de diseño, con el solo hecho de cambiar algún valor obtenemos un valor diferente de losa, al tener la alternativa de cambiar los valores de los parámetros de diseño podemos saber que parámetro es que más influye en el cálculo del espesor de la losa, con esto podemos saber que parámetro necesita tener mayor grado de estudio para su adopción o calculo, ya que si obtenemos datos erróneos de un parámetro que tenga mayor influencia en el diseño esto hará que el espesor que calcule el programa no será el adecuado para su ejecución, por todo esto podemos decir que el programa DIPAV 2.0 tiene la capacidad de ofrecer alternativas en el diseño de pavimentos rígidos.

#### **4.4.1.3.Resultados.**

##### **a. Confiabilidad.-**

La confiabilidad de los resultados está en función de la confiabilidad de los parámetros de entrada, y como el programa DIPAV 2.0 controla a través de ventanas de advertencia que los valores de los parámetros de entrada estén dentro de rangos definidos para cada uno de ellos, esto hace que los valores introducidos sean confiables para realizar el procedimiento de cálculo del espesor de la losa, por todo esto el DIPAV 2.0 podemos decir que ofrece resultados confiables en el diseño de pavimentos rígidos.

##### **b. Seguridad.-**

La seguridad de los resultados del programa DIPAV 2.0 está en función de la confiabilidad y la seguridad de los parámetros de entrada, se podría decir que como este programa cuenta con varios parámetros de entrada para realizar el diseño de pavimento rígido, esto hace que sus resultados sean más seguros y confiables; pero para esto siempre se debe verificar la confiabilidad y seguridad de estos parámetros de entrada, la AASHTO realizó un estudio de cada parámetro de entrada y nos da rangos de valores para cada uno de ellos, esto hace que para adoptar o calcular cualquier parámetro tengamos una base en la cual guiarnos para no tropezar con datos erróneos y así tener valores más confiables, por todo esto se puede decir que los resultados obtenidos por el programa son seguros, ya que su procedimiento está en función del método de diseño AASTHO.

##### **c. Variabilidad.-**

La variabilidad de los resultados del programa DIPAV 2.0 en relación con el programa BS-PCA después de realizada la aplicación de los programas con los proyectos estudiados es de 20 a 40 mm, cuando los resultados de espesores se encuentran por debajo de los 200 mm el programa DIPAV 2.0 arroja resultados menores que el programa BS-PCA y pasa lo contrario cuando los resultados de

espesores están por encima de los 200 mm, el programa DIPAV 2.0 arroja resultados mayores que el programa BS-PCA, además de esto el programa DIPAV 2.0 cuenta con el diseño de barras de amarre y diseño de reservorio de juntas lo cual no realiza programa BS-PCA.

#### **4.4.2 Programa BS PCA.**

##### **4.4.2.1 Datos de entrada.**

###### **a. Cuantos.-**

En este punto se mencionará con cuantos datos se cuenta para realizar el diseño del pavimento rígido de cada proyecto estudiado en la aplicación del programa BS-PCA, a continuación se muestra una tabla:

<b>Nombre del Proyecto</b>	<b>Tramos Analizados</b>	<b>Numero de datos</b>
Proyecto 1 = Diseño de pavimento en plataforma de buses, calles adyacentes y acceso de taxis en la terminal de Entre Ríos.	Acceso de Taxis	5
	Calles Adyacentes	5
Proyecto 2 = Pavimento Rígido Entre Ríos.	Primera Fase	5
Proyecto 3 = Diseño Pavimento Rígido Campo Pajoso - Carapari - Palos Blancos	Campo Pajoso - Carapari	5

El número total de parámetros de entrada que necesita el programa BS-PCA para realizar el diseño de pavimento rígido es seis, ya que además de estos se debe adoptar un espesor de losa para empezar el proceso de diseño, el cual ira variando hasta encontrar el espesor que cumpla con las condiciones de diseño..

###### **b. Cuales.-**

A continuación se mencionarán cuáles fueron los datos de entrada que se utilizaron en la aplicación del programa BS-PCA:

Proyecto	Tramos Analizados	Datos de entrada
Proyecto 1	Acceso de Taxis	Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). $W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Con o sin Pasadores. Con o sin berma.
	Calles Adyacentes	Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). $W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Con o sin Pasadores. Con o sin berma.
Proyecto 2	Primera Fase	Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). $W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Con o sin Pasadores. Con o sin berma.
Proyecto 3	Campo Pajoso - Carapari	Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ). Módulo Efectivo de Reacción de la Sub rasante (K). $W_{18}$ = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S). Con o sin Pasadores. Con o sin berma.

### c. Confiabilidad.-

Solo se realizara el análisis de confiabilidad de los tres primeros parámetros de entrada ya que la selección de los otros dos parámetros están en fusión de la ejecución del proyecto, esto quiere decir si en el proyecto está contemplado que se realizar una vía con berma de hormigón se selecciona esta opción, por lo tanto no se puede hacer un análisis de confiabilidad de este parámetro, el otro parámetro a analizar es si tiene pasadores o no, este también está en función al diseño que se va realizar, si el proyecto contempla realizar losas con pasajuntas se selecciona esta opción para su diseño, para que en el proceso de cálculo se contemple estas opciones de diseño.

**Módulo Promedio de Ruptura del Hormigón a los 28 días ( $S'_c$ ).**- Este parámetro es el mismo que se utiliza el programa anterior, por lo tanto podemos decir lo siguiente, es un dato confiable porque para obtener el valor de este parámetro se realiza un ensayo, también se lo puede correlacionar con la resistencia a compresión del hormigón, para esto se debe tener mucho cuidado ya que este valor difiere según los agregados que se utilizan para obtener el hormigón, por eso cuando se está realizando la ejecución del proyecto se debe verificar el valor adoptado en el diseño a través de probetas.

**Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (K).**- Este parámetro tiene una confiabilidad aceptable ya que en la mayoría de los proyectos es correlacionado con el valor de C.B.R. de la subrasante, para que este valor sea más confiable se debería realizar el ensayo de placa el cual nos da como resultado el valor de K, como este ensayo es muy costoso, se trabaja con el valor obtenido de la correlación con el C.B.R., pero como es un ensayo que es obtenido con el suelo de la subrasante es un valor confiable.

**$W_{18}$  = Número Equivalente de Ejes de 80kN (ESAL'S).**- Este es un parámetro que está en función al estudio de tráfico de cada proyecto, por lo tanto si el estudio de tráfico es confiable se puede decir que el valor del parámetro de tránsito es confiable, estos datos de tráfico se los puede conseguir de diferentes formas, por ejemplo a través de aforos si ya existe la carretera, pero si aún no existe se debe relacionar factores sociales, geográficos, etc. de carreteras que se consideran similares a la que se va a construir, por esto si el estudio de tráfico está bien realizado tomando en cuenta todas variables necesarias se llega a la conclusión de un tráfico confiable.

#### **d. Dificultad.-**

En este programa los parámetros que tiene mayor dificultad de conseguir son el tránsito y el coeficiente K, para encontrar el valor de estos parámetros se debe realizar diferentes estudios.

Para encontrar el valor del tráfico que se utilizara en el diseño de pavimento rígido se debe realizar un estudio de tráfico actual y proyectarlo hacia el futuro, para que este

estudio tenga mayor confiabilidad se lo debería realizar las 24 horas del día por lo menos durante un año, pero como esto no es posible se lo realiza en horas picos y seleccionando dos días hábiles y un día no hábil, durante tres meses para tener una representación del tráfico diario anual, por esto se puede decir que este parámetro tiene un grado de dificultad mayor que los demás.

El coeficiente K (valor de soporte de la subrasante) es otro de los parámetros que tiene un mayor grado de dificultad, ya que para obtenerlo se debe realizar un estudio de suelos para poder encontrar el valor de C.B.R.; luego correlacionarlo a través de un gráfico y así encontrar el valor del coeficiente K, aunque existe un estudio de placa que nos da como resultado el valor de este coeficiente, pero como el costo del equipo necesario para realizar este estudio es muy alto, los proyectos de pavimentos rígidos son realizados con valores del coeficiente K correlacionado con el C.B.R.; por lo tanto si para obtener el valor del coeficiente K tenemos que encontrar el valor de C.B.R. el grado de dificultad baja porque este ensayo se lo puede realizar en cualquier laboratorio de suelos del país.

#### **4.4.2.2 Procedimiento.**

##### **a. Proceso del programa.-**

El proceso que realiza el programa BS-PCA para realizar el diseño de pavimento rígido es un análisis de fatiga y de erosión, lo que hace es el programa es encontrar en espesor de losa que no falle por fatiga ni erosión, el proceso que realiza en el análisis de fatiga, en el que se controlan los esfuerzos máximos a los que puede estar sometida cada losa, además de tomar en cuenta el deterioro de la resistencia a causa de las repeticiones de las cargas es el siguiente:

- ✓ Mayora las cargas según el factor de mayoración introducida.
- ✓ Calcula el número de repeticiones esperadas.
- ✓ Según el modelo de diseño de la losa (con o sin apoyo lateral, según el tipo de eje), calcula el esfuerzo admisible.

- ✓ Con el esfuerzo admisible y el módulo de rotura de la losa calcula el número de repeticiones admisibles.
- ✓ Con el número de repeticiones esperadas y número de repeticiones admisibles calcula el consumo por fatiga, esto realiza para cada carga.
- ✓ Por ultimo realiza una sumatoria de todos los consumos por fatiga de cada carga y calcula un consumo total por fatiga.

Además de esto realiza un análisis de erosión en el que se controlan las deformaciones máximas adoptando un modelo que mida el trabajo que realiza la esquina de la losa cuando es deformada por la acción de las cargas, el proceso que realiza es el siguiente:

- ✓ Mayora las cargas según el factor de mayoración introducida.
- ✓ Calcula el número de repeticiones esperadas.
- ✓ Con los datos de entrada calcula el radio de rigidez relativa utilizando la fórmula que se encuentra en el Capítulo III.
- ✓ Según el modelo de diseño de la losa (con o sin apoyo lateral, con o sin pasadores y según el tipo de eje), calcula la deflexión en la esquina de la losa.
- ✓ Con la deflexión obtenida calcula el trabajo que realiza la esquina de la losa con una carga de tránsito aplicada.
- ✓ Luego calcula el coeficiente  $C_1$ , el cual está en función del tipo de material de apoyo de la losa y el espesor de losa propuesto.
- ✓ Con el valor del trabajo y el coeficiente  $C_1$  obtiene el número de repeticiones admisibles.
- ✓ Con el número de repeticiones esperadas y número de repeticiones admisibles calcula el consumo por erosión, esto realiza para cada carga de tránsito.
- ✓ Por ultimo realiza una sumatoria de todos los consumos por erosión de cada carga de tránsito y calcula un consumo total por erosión.

El programa con los parámetros de entrada realiza el procedimiento de encontrar el consumo de fatiga y erosión como se explicó anteriormente, si con los parámetros iniciales los valores de consumo tanto de erosión y fatiga se encuentran por encima del 100 % de consumo total el valor de losa adoptado no se acepta se debe aumentar el valor de losa hasta que los dos consumos tanto de erosión y fatiga estén por debajo del 100 %, si se llega a encontrar un valor que cumpla estas condiciones podemos decir que se encontró el valor de espesor de losa que no fallara por fatiga ni erosión; además de esto se debe verificar que el valor de losa adoptado no de valores de consumo de erosión y fatiga muy por debajo del 100 %, si esto llegaría a pasar se debe tratar de encontrar un valor más óptimo subiendo de a poco el valor de espesor de losa sin que el consumo pase del 100 %, siempre se debe verificar que ninguno de los dos consumos pasen del 100 %, ya que si uno pasa la losa fallara por lo tanto ese no es el valor de losa buscado, el valor de losa de diseño será aquel que realizando el proceso de cálculo esté más cerca del 100 % de consumo de erosión y fatiga sin sobrepasar este valor.

Para realizar este proceso solo se debe introducir los parámetros de entrada adoptando un espesor de losa de inicio, luego de esto se debe presionar el botón calcular y verificar que los valores de consumo de erosión y fatiga no pasen del 100 % si esto llegaría a pasar se debe aumentar el espesor de losa luego presionar el botón calcular y verificar de nuevo, esto se realiza hasta encontrar el valor que cumpla con las condiciones de diseño, cuando sucede esto llegamos al valor buscado y ahí termina el diseño de espesor de losa.

#### **b. Confiabilidad.-**

El programa BS-PCA no cuenta con ventanas de advertencia para los parámetros de entrada así que se puede introducir el valor que uno desee y el programa igual realiza el diseño, aunque este programa no tiene ventanas de advertencia es programa que ofrece una confiabilidad media, ya que si uno introduce valores que no están dentro del rango de los parámetros los resultados de análisis de consumo y erosión toman el valor de 1000 o 0 por lo tanto uno viendo estos resultados verifica los parámetros de

entrada y si cometió un error lo modifica, por lo tanto no se puede decir que el programa BS-PCA no es confiable porque acepta cualquier valor de entrada, pero para que este programa sea más confiable se debería aumentar ventanas de advertencia cuando se introduzcan valores fuera del rango de los parámetros de entrada.

A continuación se muestra un ejemplo de cada caso primeramente se muestra una ventana en la cual los parámetros de entrada están por debajo del rango y los resultados de consumo de erosión y fatiga nos dan como resultado 1000, luego se muestra una ventana cuando los parámetros de entrada están por encima de sus rangos y el valor de consumo de erosión y fatiga nos da un resultado de 0:

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 1 Mpa/m

Espesor de la Losa: 100 mm

Módulo de Rotura Losa: 0.5 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 1000

Total Consumo Erosión (%): 1000

Calcular Imprimir Salir

BS-PCA - DISEÑO PAVIMENTOS RIGIDOS PCA

Opciones Sensibilidad Terminar

Resistencia K del Apoyo: 9999999 Mpa/m

Espesor de la Losa: 100 mm

Módulo de Rotura Losa: 9999999 Mpa

Con Bermas  
 Con Pasadores

TRANSITO

kN

Factor de Seguridad Carga: 1.2

Factor de Mayoración de Repeticiones: 0

Ejes Sencillos Ejes Tandem Ejes Tridem

Total Consumo Esfuerzo (%): 0

Total Consumo Erosión (%): 0

Calcular Imprimir Salir

**c. Capacidad de alternativas.-**

El programa BS-PCA nos permite simular lo que pasa si cambiamos el valor de algún parámetro de entrada, lo cual hace que se pueda definir que el programa BS-PCA tiene la capacidad de darnos distintas alternativas de diseño, con el solo hecho de cambiar algún valor de los parámetros de entrada se debe realizar todo el procedimiento de nuevo, o sea se debe encontrar el valor de espesor de losa que cumpla con las condiciones de diseño, este programa al tener la capacidad de darnos diferentes alternativas de solución, nos permite poder saber cuál de los parámetros de entrada tiene mayor influencia en el diseño.

**4.4.2.3 Resultados.****a. Confiabilidad.-**

Los resultados que ofrece el programa BS-PCA están en función de del análisis de fatiga y erosión por lo tanto se realiza un proceso tomando en cuenta varios parámetros que el programa no nos piden, por esto se podría pensar que no se toman en cuenta en el proceso de diseño pero al realizar el análisis de fatiga y erosión están incluidos estos como por ejemplo la serviciabilidad final, el proceso toma como valor de serviciabilidad final 3 y con este se realiza el diseño, por lo tanto el resultado que nos ofrece este programa es confiable.

**b. Seguridad.-**

La seguridad del resultado obtenido por el programa BS-PCA está en función de tres parámetros de entrada como son el coeficiente K, módulo de rotura de la losa y el tránsito; si la obtención de estos parámetros es segura y confiable esto dará como consecuencia un resultado seguro y confiable, si la obtención de alguno de estos parámetros es errónea esto hará que la seguridad del resultado baje; en conclusión para obtener un resultado seguro se debe de tener cuidado en obtener valores óptimos de los parámetros de entrada para el diseño de pavimento rígido en especial el

parámetro tránsito, ya que este es que tiene mayor grado de dificultad para su obtención.

### **c. Variabilidad.-**

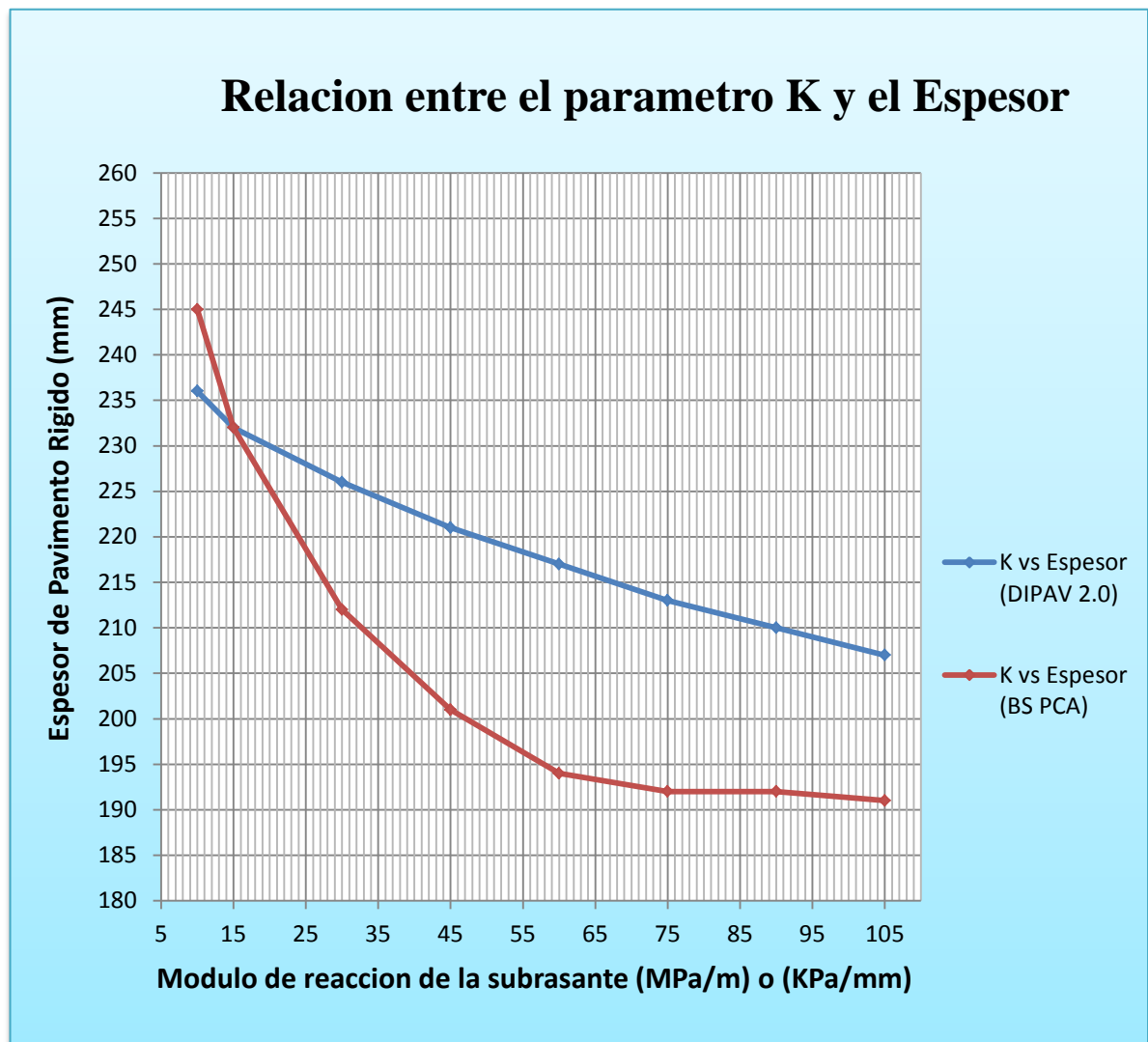
La variabilidad de los resultados del programa BS-PCA en relación con el programa DIPAV 2.0 después de realizada la aplicación de los programas con los proyectos estudiados es de 20 a 40 mm, cuando los resultados de espesores se encuentran por debajo de los 200 mm el programa BS-PCA arroja resultados mayores que el programa DIPAV 2.0 y pasa lo contrario cuando los resultados de espesores están por encima de los 200 mm, el programa BS-PCA arroja resultados mayores que el programa DIPAV 2.0, el programa BS-PCA no realiza el diseño de barras de amarre ni reservorio de juntas, este programa tiene una aplicación que se llama análisis de sensibilidad el cual nos da como resultado un espesor de losa más óptimo variando los parámetros de entrada dentro de un rango de análisis.

#### **4.4.3 Análisis de los programas con valores extremos de los parámetros.**

Para realizar el análisis de resultados de los programas con valores extremos, se analizaran los tres parámetros de entrada más importantes de cada programa estudiado, se trabajara con los parámetros de entrada Modulo de reacción de la subrasante (K), el módulo de rotura del hormigón a los veintiocho días (MR) y el número de ejes equivalentes (ESALs), se realizara una tabla que contenga los valores de los parámetros y el resultado obtenido con cada programa para realizar un gráfico que muestre la relación entre cada parámetro y el espesor.

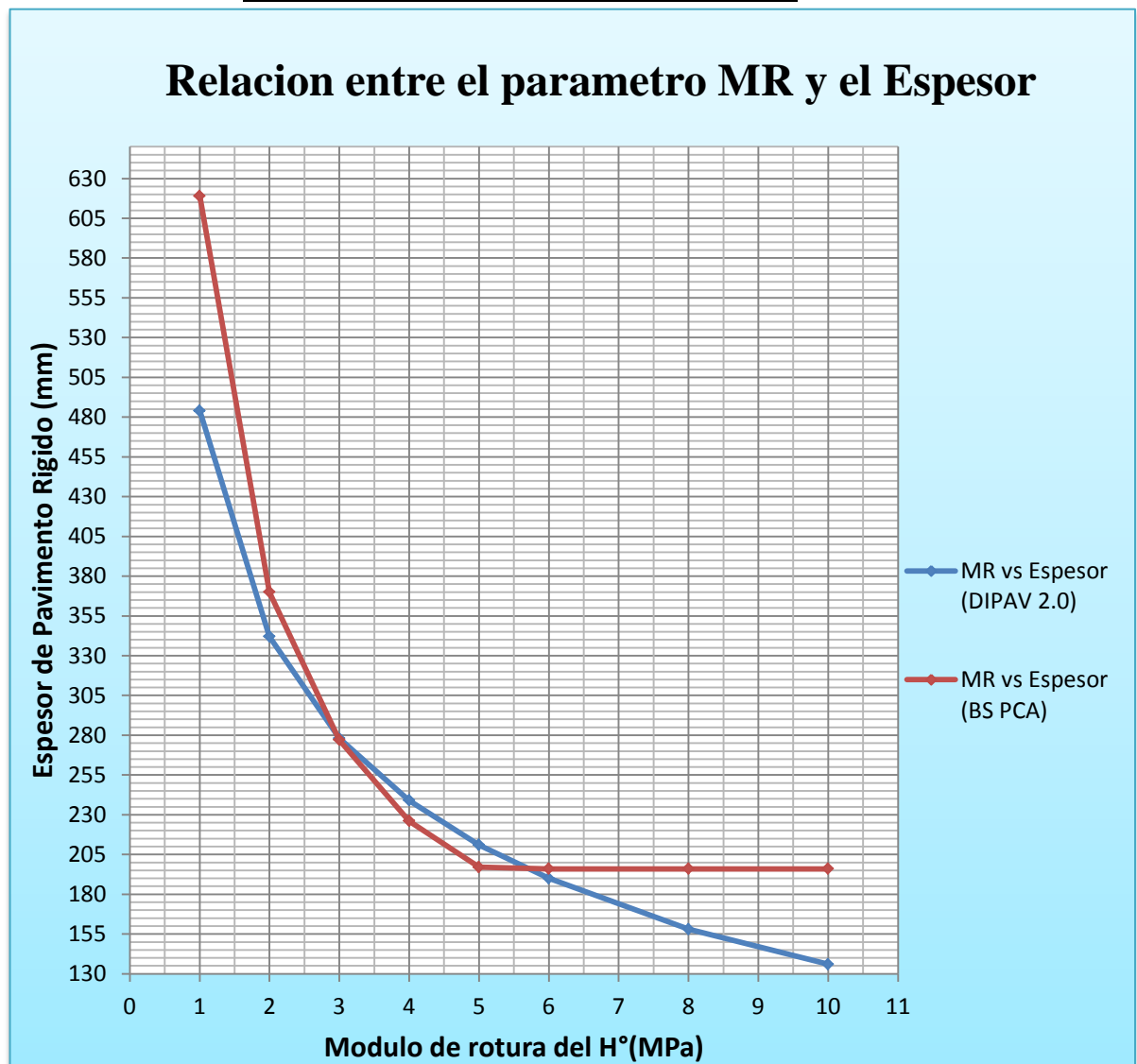
a. Análisis del parámetro de entrada Modulo de reacción de la subrasante (K).

<i>Módulo de reacción de la subrasante</i>			
<i>K</i>		<i>Espesor (mm)</i>	
<i>(MPa/m)</i>	<i>(KPa/mm)</i>	<i>DIPAV 2.0</i>	<i>BS PCA</i>
10	10	236	245
15	15	232	232
30	30	226	212
45	45	221	201
60	60	217	194
75	75	213	192
90	90	210	192
105	105	207	191



b. Módulo de rotura del hormigón a los veintiocho días (MR).

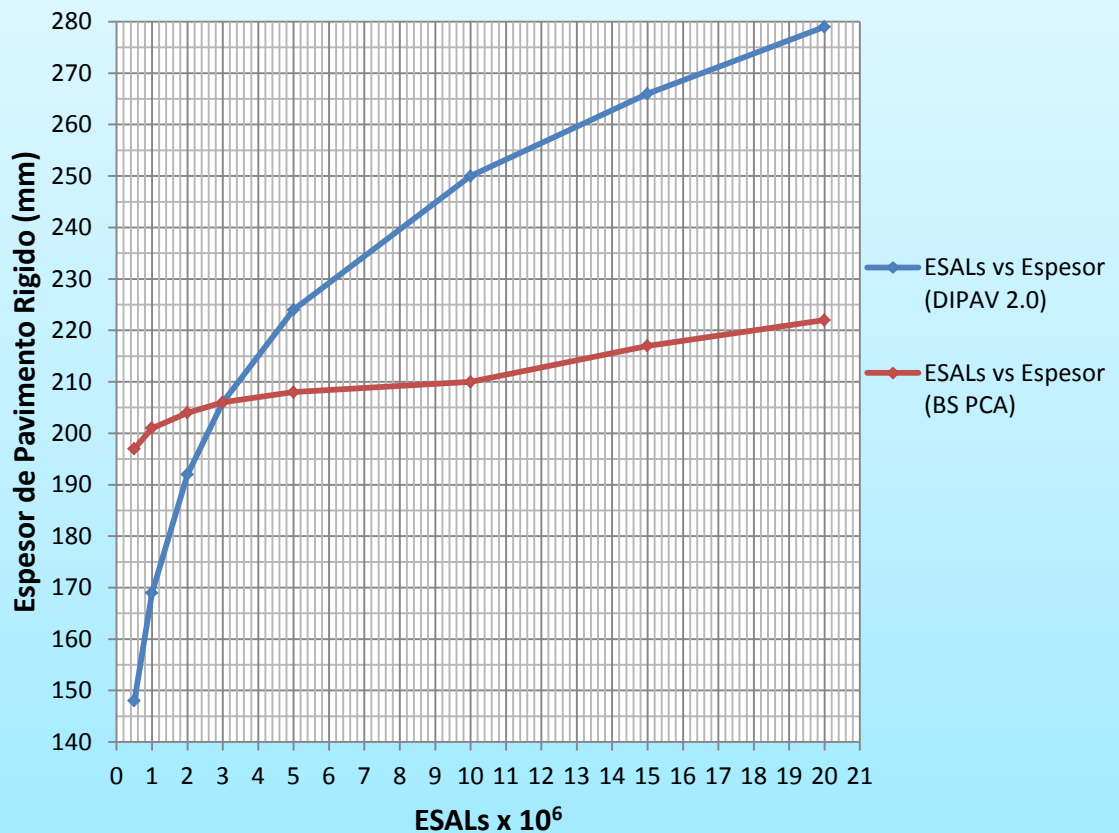
<i>Módulo de rotura del H°</i>		
<i>MR</i>	<i>Espesor (mm)</i>	
<i>(MPa)</i>	<i>DIPAV 2.0</i>	<i>BS PCA</i>
1	484	619
2	342	370
3	278	277
4	239	226
5	211	197
6	190	196
8	158	196
10	136	196



c. Número de ejes equivalentes (ESALs).

<i>Número de ejes equivalentes</i>		
<i>ESALs</i>	<i>Espesor (mm)</i>	
<i>10<sup>6</sup></i>	<i>DIPAV 2.0</i>	<i>BS PCA</i>
0.5	148	197
1	169	201
2	192	204
3	206	206
5	224	208
10	250	210
15	266	217
20	279	222

### Relacion entre el parametro ESALs y el Espesor



#### 4.4.4 Análisis de la temperatura en el diseño de pavimentos rígidos.

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura.

La temperatura es un parámetro muy importante que influye en la vida útil del pavimento rígido por muchas razones fundamentales:

- ✓ Los cambios de temperatura en las losas de pavimento rígido ocasionan en estos esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ella.
- ✓ Las propiedades de los materiales que constituyen el pavimento rígido dependen de la temperatura, régimen de precipitación, precipitación anual, nivel freático; por lo tanto la resistencia de los materiales para efecto de diseño son difíciles de evaluar.
- ✓ Un pavimento rígido en servicio, se encontrara sujeto a continuos cambios de temperatura y humedad, esto se traduce en la generación de gradientes de estos parámetros en la sección de hormigón que generan alabeos que se encontrarán restringidos por el peso propio de la losa.



Los programas DIPAV 2.0 y BS PCA no toman en cuenta directamente el parámetro temperatura como un parámetro de diseño, ya que este está contemplado indirectamente en el módulo de rotura del hormigón.

Para que un hormigón tenga una resistencia a flexo tracción deseada debe tener un control tanto de su dosificación y su hormigonado en la ejecución de cada proyecto, ya que, cada hormigón difiere de otro por las características de los materiales que lo componen como por ejemplo tipo de agregados, cemento, etc.; para verificar que se cumpla los requerimientos de diseño se debe realizar ensayos de viga a los hormigones utilizados en los proyectos a ejecutar para ver que se está cumpliendo con las condiciones de diseño del proyecto y se está obteniendo las resistencias necesarias para cumplir con su vida útil.

Para tomar en cuenta la temperatura como un parámetro de diseño se debe realizar un estudio más profundo de las fallas producidas por los cambios de temperatura, para así introducirlo dentro de los métodos utilizados en el diseño de pavimentos rígidos.

#### **4.4.5 Análisis del sobreechanco en el diseño de pavimentos rígidos por los programas.**

El sobreechanco es parte de la vía y se introduce en las curvas horizontales para mantener las mismas condiciones de seguridad que los tramos rectos, en cuanto al cruce de vehículos de sentido contrario, por las siguientes razones:

- ✓ El vehículo al describir la curva, ocupa mayor ancho que en la tangente, esto es debido a que las ruedas traseras recorren una trayectoria ubicada en el interior de la descrita por las ruedas delanteras. Además, el extremo delantero izquierdo, describe la trayectoria exterior del vehículo.
- ✓ La dificultad que experimentan los conductores para mantenerse en el eje del carril recorrido debido a la menor facilidad de apreciar la posición relativa de sus vehículos dentro de la curva.

Sabiendo que si un vehículo va a baja velocidad, el sobreancho se podría describir geoméricamente, ya que el eje posterior es radial, lo mismo ocurriría cuando describiera una curva peraltada a una velocidad de equilibrio tal, de manera que la fuerza centrífuga quedara completamente contrarrestada por la acción del peralte. En cambio si la velocidad fuera menor o mayor que la velocidad de equilibrio, las ruedas traseras se moverían a lo largo de una trayectoria más cerrada o más abierta, respectivamente. Por lo expuesto la posición relativa de las ruedas traseras depende de la velocidad, y no existe forma analítica de calcular el desplazamiento entre las trayectorias de las ruedas delanteras y las traseras, ya que de ello depende el ángulo de esviaje desarrollado por el vehículo. Para determinar el valor del sobreancho, debe elegirse el vehículo representativo o promedio del tránsito de la vía. Cuando el valor del sobreancho sea menor de 30 centímetros (0.30 metros) no es obligatoria su aplicación.

Los programas estudiados en este proyecto no toman en cuenta el diseño de sobreancho, ya que, este diseño de sobreancho se lo realiza en el diseño geométrico del proyecto, como el sobreancho es parte de la vía de circulación de los vehículos que transitaran durante la vida útil del proyecto, el espesor de este sobreancho es el mismo que se encontró realizando el diseño de espesores del pavimento rígido del proyecto.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES.

Luego de realizar la aplicación práctica de los programas DIPAV 2.0 y BS-PCA con los proyectos estudiados se llegó a las siguientes conclusiones:

✓ Primeramente se cumplió el objetivo general de realizar un estudio sobre la aplicación práctica de dimensionamiento de pavimento rígido con los programas DIPAV y BS-PCA, este estudio se realizó analizando los parámetros de entrada, el procesamiento de cálculo de cada uno de ellos y los resultados obtenidos de cada programa.

✓ Se realizó el dimensionamiento de pavimento rígido con los dos programas utilizando para su aplicación los datos de tres proyectos realizados en el departamento de Tarija, los resultados de espesores obtenido con los programas son los siguientes:

Nombre del Proyecto	Tramos Analizados	DIPAV 2.0 (mm)	BS PCA (mm)
Diseño de pavimento en plataforma de buses, calles adyacentes y acceso de taxis en la terminal de Entre Ríos.	Acceso de Taxis	148	190
	Calles Adyacentes	183	196
Pavimento Rígido Entre Ríos.	Primera Fase	224	208
Diseño Pavimento Rígido Campo Pajoso - Carapari - Palos Blancos	Campo Pajoso - Carapari	224	207

✓ Con el análisis de los parámetros de entrada se llegó a la conclusión que los parámetros con mayor relevancia en el dimensionamiento de pavimento rígido para el

programa DIPAV 2.0 son: el coeficiente K, el tráfico y la confiabilidad; ya que cuando se varia el valor de uno de estos parámetros el resultado espesor de losa tiende a variar, pero el parámetro que causa mayor relevancia es la confiabilidad, ya que si uno varia de 80 % a 95 % el valor de este parámetro, el resultado de espesor de losa se incrementa de 15 mm a 25 mm.

✓ En el programa BS-PCA solo se cuenta con tres parámetros de entrada que podría ser lo de mayor relevancia, el coeficiente K, el módulo de rotura del hormigón y el tráfico; de estos el módulo de rotura del hormigón se asume, por lo tanto no tiene mucha relevancia en el diseño, y los otros dos se los obtiene el primero a través de un estudio de suelos y el otro a través de un estudio de tráfico; se podría decir que el parámetro de mayor relevancia es el tráfico ya que este programa está diseñado para contemplar los sobrepesos que lleva cada eje.

✓ En los dos programas el parámetro que tiene mayor grado de dificultad para su obtención es el parámetro denominado tráfico promedio diario anual, ya que para obtenerlo se debe realizar un estudio tedioso el cual tiene un costo elevado si se lo quisiera realizar de manera óptima, el parámetro K también tiene un mayor grado de dificultad para obtenerlo si se lo quisiera obtener a través del ensayo de placa, ya que este ensayo es costoso, pero como la relevancia de este parámetro en el resultado es media este se los obtiene a través de correlacionarlo con el valor C.B.R. lo cual baja su grado de dificultad porque este ensayo se lo puede realizar en cualquier laboratorio de suelos del país.

✓ Los procesos de los programas estudiados cuentan con alternativas de diseño esto quiere decir que después de realizar el diseño con los parámetros de estrada se puede modificar cualquiera de ellos y volver a calcular el espesor para así poder ver cuál de los parámetros de entrada tiene mayor relevancia y cual no, esta variabilidad de los programas nos sirve para poder simular diseño de pavimento con diferentes valores de entrada haciéndolo un programa didáctico y fácil de ejecutar.

✓ El programa DIPAV 2.0 cuenta con ventanas de advertencia para que el proyectista no introduzca valores de parámetros fuera de rangos aceptables, esto hace que este programa se confiable, además de darnos advertencias cuenta con una aplicación de ayuda que nos sirve para poder saber cuáles son los rangos de valores de los parámetros de entrada o darnos información de cómo adoptar algún valor de los parámetros de entrada, como conclusión podemos decir que es un programa bastante didáctico y completo.

✓ El programa BS-PCA al contrario del programa DIPAV 2.0 no cuenta con ventanas de advertencia, pero como el procedimiento de este programa nos da como resultados valores de consumo de esfuerzo y erosión, si se introducen valores erróneos el resultado de estos esfuerzo nos darían valores de 0 o 1000, lo cual nos dice indirectamente que algo está mal y así podemos verificar los datos que introducimos; y como estos programas tienen la capacidad de ofrecer capacidades de alternativas, con el solo hecho de cambiar el valor del parámetro erróneo podemos volver a obtener el valor de espesor de losa buscado, como conclusión podemos decir que el programa BS-PCA cuenta indirectamente con mensajes de advertencia en su proceso.

✓ El programa DIPAV 2.0 a diferencia del programa BS-PCA cuenta con aplicaciones para realizar el diseño de barras de amarre y reservorio de pasajuntas, pero para esto se debe contar con información adicional porque son parámetros diferentes a los de entrada, esto hace que se realice un estudio adicional de todos los elementos que se necesitan para esos diseños, esto se puede tomar como una ventaja del programa DIPAV 2.0 y una desventaja del programa BS-PCA.

✓ La utilización de programas para realizar el diseño de pavimentos rígidos hace el proceso más sencillo ya que no se debe utilizar ábacos para obtener valores aproximados, esto hace que se reduzca el tiempo y se obtenga mejores resultados,

haciendo que los programas se conviertan en una herramienta muy usada por los proyectistas en el diseño de pavimentos rígidos en el país, ya que lo único que realizan los programa es automatizar el proceso necesario de cada método para la obtención del espesor de pavimento rígido.

✓ Al realizar la validación de los programas, calculando los espesores con las formulas originales, se llegó a la conclusión que con la utilización de programas computarizados se encuentra resultados más óptimos y se reduce el tiempo en el procedimiento, los resultados obtenidos con las formulas originales tienen una pequeña variación debido al manejo de decimales que se realiza, ya que cuando se calcula con las formulas originales se trabaja con menos decimales, en cambio un programa trabaja con todos los decimales de cada ecuación y por lo tanto ofrece resultados más confiables.

✓ Al realizar el análisis de los parámetros más relevantes del programa con valores extremos se pudo verificar que el parámetro que determina la relación de los resultados de los programas es el parámetro de entrada ESALs, ya que, al hacer variar el valor de este parámetro desde  $0.5 \times 10^6$  a  $20 \times 10^6$  número de ejes equivalentes se formó una curva que muestra la siguiente relación:

*Cuando espesor < 205 mm    **DIPAV 2.0 < BS PCA***

*Cuando espesor > 205 mm    **DIPAV 2.0 > BS PCA***

## **5.2. RECOMENDACIONES.**

A continuación se detallan algunas recomendaciones:

✓ Primeramente se recomienda que antes de realizar el diseño de espesor de losa utilizando alguno de los dos programas se debe verificar todos los valores introducidos de los parámetros de entrada antes de realizar el diseño, y así poder obtener el espesor de losa buscado para un grupo de parámetros de entrada de un proyecto en particular.

- ✓ Para realizar un diseño óptimo se recomienda que se debe tener toda la información del proyecto, para que la adopción de los valores de los parámetros de entrada que se adopten sea de forma óptima; como por ejemplo si las losas llevaran pasajuntas, con esta información adoptamos el valor del parámetro coeficiente de transferencia de carga, si no tuviéramos esta información del proyecto se podría adoptar un valor erróneo de este parámetro y se realizaría un mal diseño de espesor de losa.
  
- ✓ Para realizar el diseño de espesor de losa con el programa BS-PCA se recomienda siempre adoptar como valor de espesor de losa inicial 200 mm ya que este valor es un valor promedio de diseños de losa de pavimento rígido y con se puede comenzar el análisis del diseño de espesor de losa.
  
- ✓ Para poder realizar el diseño tanto de barras de amarre como de reservorio de juntas con el programa DIPAV 2.0, se debe llenar la información adicional requerida para estos diseño, se recomienda que primero se realice el diseño de espesor de losa para poder utilizar el valor obtenido en este diseño en la información adicional que se necesita para realizar los otros dos diseños en lugar de adoptar un espesor de losa diferente.