

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.Introducción

Los programas informáticos son de gran ayuda en distintos ámbitos, ya que estos nos pueden llegar a facilitar varias actividades que manualmente pueden tardar más en realizarse.

En el cálculo de pavimentos rígidos, se deben considerar distintos escenarios, que pretenden diseñar con un espesor de menor costo y que a su vez no requiera de mucho mantenimiento en un futuro; para esto se pretende determinar las ventajas y desventajas que tienen los programas PCA cálculo y STREET PAVE, para el diseño de estos pavimentos aplicados a nuestra región.

Cada una de las metodologías aplicadas requiere distintos y similares factores de entrada, dando así, cierto grado de influencia a cada factor al momento de realizar los cálculos buscando espesores de losas más apropiados para soportar las cargas de tráfico solicitadas, tanto de tráfico liviano como de tráfico pesado.

A su vez, estos softwares nos permiten determinar los espesores de losas, siendo sus verificaciones dependientes del consumo de fatiga, consumo de erosión y de la confiabilidad de manera eficiente.

Ambos softwares en estudio, son programas para el diseño de pavimentos rígidos que usan la metodología PCA-84, la cual es utilizada en distintos estados de Los Estados Unidos y así también en otros países desde varios años atrás.

En este proyecto de aplicación lo que se pretende es comparar los métodos que tienen estos programas en el procesamiento y cálculo de pavimentos rígidos y determinar cuál es más aplicable en nuestra región.

La importancia del uso de estos programas es por las ventajas que podría tener en el cálculo de pavimentos rígidos en distintos escenarios y en mucho menos tiempo que los métodos convencionales, así facilitando el diseño en nuestra región.

1.2. Justificación

El presente proyecto de aplicación se realizará para aportar una alternativa óptima en el diseño de pavimentos rígidos entre los softwares PCA cálculo y STREET PAVE, que servirá para los futuros profesionales de la carrera de ingeniería civil, más específicamente para el área de vías y comunicación.

Es necesario mantenernos actualizados con la tecnología, ya que el avance de los softwares computacionales aplicados en el área de vías de comunicación es evidente cada día, por ello es importante aprender su uso y verificar su aplicabilidad a nuestro medio.

Los programas informáticos son de gran utilidad, ya que ayudan a reducir considerablemente el tiempo de diseño, puesto que en la vida real este factor llega a ser un inconveniente en el diseño y con la ayuda de estos softwares podemos lograr trabajar con más escenarios posibles para utilizar el más conveniente en la situación requerida.

Estos softwares, ya mencionados, trabajan con la misma metodología de PORTLAND CEMENT ASSOCIATION; con esta aplicación se pretende reforzar los conocimientos teóricos acerca de esta metodología y el uso de sus softwares.

Se realizarán verificaciones con su método manual y también se determinará cuál de estos dos programas se adecua mejor a nuestra región a partir del ingreso de datos, procesamientos y obtención de resultados.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

En la actualidad, el cálculo de espesores de pavimentos rígidos requiere agilidad para tener una mayor cantidad de cálculos en distintos escenarios, al tiempo de optimizar el tiempo de análisis en cada escenario y así obtener el más favorable para nuestras condiciones de diseño.

Los métodos manuales carecen de precisión, ya que para su cálculo se necesita demasiado tiempo y existe mayor probabilidad de cometer errores, trayendo consigo consecuencias a futuro.

Existen varios programas informáticos en la actualidad que son más dinámicos a la hora de realizar cálculos y diseños, por lo tanto, el tiempo empleado comparado con los métodos manuales son cortos, ayudando a poder trabajar con más escenarios posibles para obtener más alternativas de comparación.

Entre estos encontramos el *PCA cálculo* y el *software STREETPAVE*; ambos se basan en la metodología de la PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, pero uno analiza más parámetros que el otro, lo cual permite obtener nuevas alternativas de diseño, aminorar los tiempos de diseño y actualizarnos con estos nuevos programas.

1.3.2. Problema

¿Será posible que comparando los métodos de diseño en la entrada de datos, procesamiento y obtención de resultados de los programas STREETPAVE y PCA cálculo, se pueda elegir una nueva alternativa para el diseño de espesores de pavimentos rígidos aplicados a nuestra región?

1.4. Objetivos del proyecto

1.4.1. Objetivo general

Comparar el dimensionamiento de pavimentos rígidos entre las metodologías de STREETPAVE y PCA cálculo que involucra el ingreso de parámetros, procesamiento y resultados con el fin de aplicar en pavimentos de nuestra región.

1.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar las metodologías de diseño de los programas STREETPAVE y PCA cálculo.
- Determinar los datos de entrada solicitados por los softwares STREETPAVE y PCA cálculo.
- Aplicar los softwares STREETPAVE y PCA cálculo en los distintos tramos de estudio.
- Analizar y comparar los resultados obtenidos por los softwares para el dimensionamiento según la metodología en la que se basan.
- Analizar y comparar los espesores obtenidos con los softwares, con los espesores de diseño real de cada tramo.

- Redactar un manual para el procedimiento de los programas PCA cálculo y Street Pave
- Establecer cuál de los softwares en estudio es más adecuado en nuestra región.
- Establecer conclusiones y recomendaciones de acuerdo al estudio realizado a partir de los resultados obtenidos.

1.5. Diseño metodológico

1.5.1. Unidades de estudio o decisión muestral

- **Unidades de estudio**

Las unidades de estudio serán la metodología de diseño que usan los softwares para el diseño de pavimentos rígidos.

- **Población**

La población escogida serán todos programas informáticos aplicados al diseño de pavimentos rígidos.

- **Muestra**

La muestra serán los programas STREET PAVE y PCA cálculo para el diseño de pavimentos rígidos en 4 tramos de estudio.

- **Muestreo**

Para el muestreo se tomó en cuenta que estos programas sean nuevos en nuestra región y así también la facilidad para la obtención de información que existe sobre estos. Así también para los tramos en estudio se tomó en cuenta el tiempo de servicio que tienen actualmente.

De estos programas se pretende determinar cuál se adecua más a nuestra región.

1.6. Métodos y técnicas empleadas

1.6.1. Métodos

1.6.1.1. Método inductivo

Es el proceso por el cual se identifica una relación universal a partir de sucesivos casos particulares. (Martínez Cabrera)

El inductivismo va de lo particular a lo general. Es un método que se basa en la observación, el estudio y la experimentación de diversos sucesos reales para poder llegar a una conclusión que involucre a todos esos casos. La acumulación de datos que reafirman nuestra postura es lo que hace al método inductivo.

Para la comparación de las metodologías de diseño de los programas STREETPAVE y PCA cálculo, se contarán con varios valores de entradas de distintos tramos de la ciudad de Tarija y con los resultados obtenidos se determinará las ventajas y desventajas que tiene estos softwares en su uso para nuestra región.

1.6.2. Técnicas empleadas

Se utilizaron datos proporcionados por las instituciones correspondientes, en caso de no conseguir todos los datos se realizaron ensayos de laboratorio, así también se realizó mediciones y aforos en campo del tráfico en los tramos seleccionados y ajustes a los datos de los programas que se estudiarán.

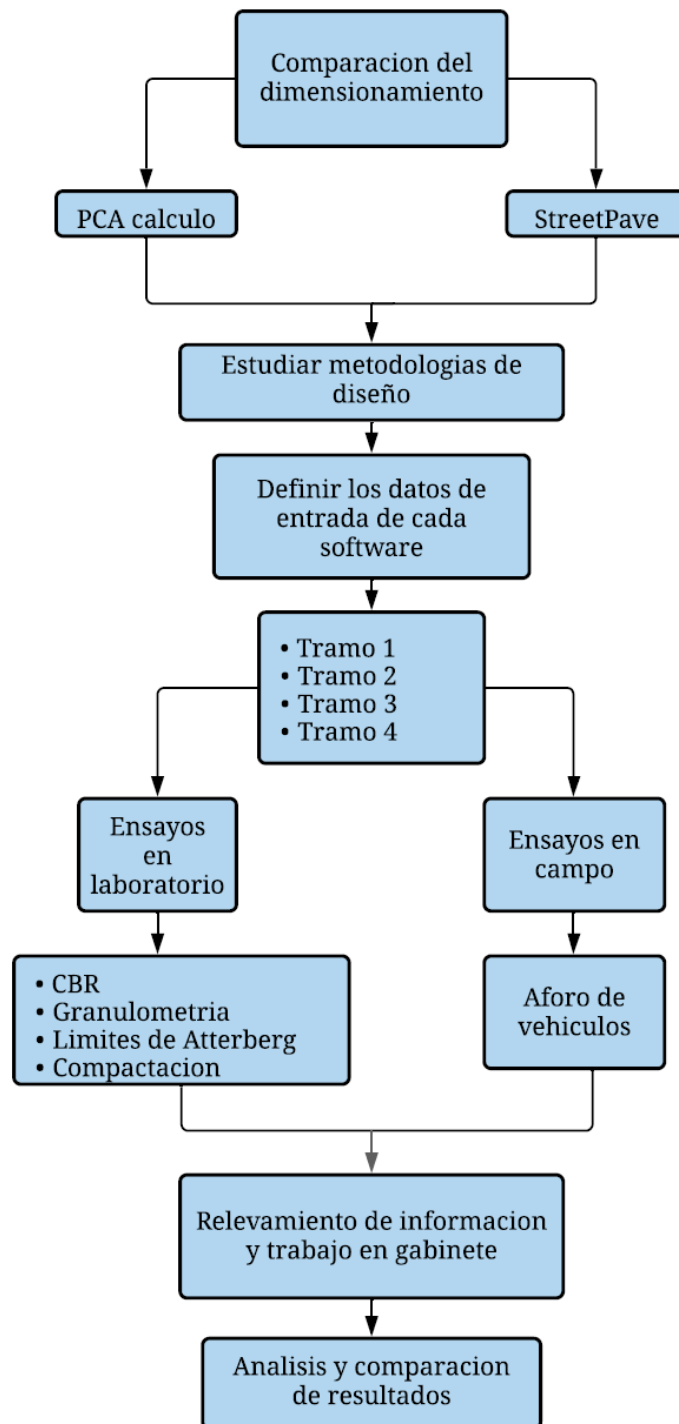
1.6.3. Medios e instrumentos

Los instrumentos a utilizarse son:

- Planilla de aforo
- Tamices
- Cuchara de Casagrande
- Molde y martillo

1.6.4. Proceso de aplicación

IlustraciónNº1. Proceso de aplicación



Fuente: Elaboración propia

1.7. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

1.7.1. Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la rama de la estadística que recolecta, analiza y caracteriza un conjunto de datos (Peso de la población, beneficiario de una empresa, temperatura mensual,) con el objetivo de describir las características y comportamiento de este conjunto mediante medidas de resumen, tablas o gráficos. (Lorenzo J. M., 2007)

1.7.1.1. Variables estadísticas

Una variable estadística es el conjunto de valores que puede tomar una cierta característica de la población sobre la que se realiza el estudio estadístico y sobre la que es posible su medición. Estas variables pueden ser: la edad, el peso, las notas de un examen, los ingresos mensuales, las horas de sueño de un paciente en una semana, el precio medio del alquiler en las viviendas de un barrio de una ciudad, etc.

Las variables estadísticas se pueden clasificar por diferentes criterios. Según su medición existen dos tipos de variables:

Ejemplos:

- Sexo (hombre, mujer)
- Salud (buena, regular, mala)

Cuantitativas (o numéricas): variables que toman valores numéricos.

Ejemplos:

- Número de casas (1, 2...). Discreta
- Edad (12.5;24,3; 35;). Continua

1.7.1.1.1. Media

Definimos media (también llamada promedio o media aritmética) de un conjunto de datos (X_1, X_2, \dots, X_N) al valor característicos de una serie de datos resultado de la suma de todas de todas las observaciones dividido por el número total de datos.

$$Media(X) = X = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

Siendo (X_1, X_2, \dots, X_N) el conjunto de observaciones.

Visto desde un punto de vista más conceptual, la media aritmética es el centro de los datos en el sentido numérico, ya que intenta equilibrarlos por exceso y por defecto. Es decir, si sumamos todas las diferencias de los datos a la media de cero.

$$\sum_{i=1}^N (X_i - X) = 0$$

1.7.1.1.2. Mediana

La mediana ($Me(X)$) es el elemento de un conjunto de datos ordenados (X_1, X_2, \dots, X_N) que deja a izquierda y a derecha la mitad de valores.

Si el conjunto de datos no está ordenado, la mediana es el valor del conjunto tal que el 50% de los elementos son menores o iguales y el otro 50% mayores o iguales.

1.7.1.1.3. Moda

La moda ($Mo(X)$) es el valor más repetido del conjunto de datos, es decir, el valor cuya frecuencia relativa es mayor. En un conjunto puede haber más de una moda.

1.7.1.1.4. Varianza

La varianza (S^2) mide la dispersión de los datos de una muestra respecto a la media, calculando la media de los cuadrados de las distancias de todos los datos.

$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - X)^2}{N - 1}$$

Siendo (X_1, X_2, \dots, X_N) un conjunto de datos y X la media

Elevar las diferencias al cuadrado garantiza que las diferencias absolutas respecto a la media no se anulan entre sí. Además, resultan los valores alejados.

Se utilizará estas fórmulas estadísticas en la corrección de datos de entrada como ser el volumen de tránsito y resultados que se obtengan de los ensayos en laboratorio y campo.

1.8. Alcance del estudio de aplicación

Este presente trabajo se centra en buscar una alternativa al diseño de pavimentos rígidos en la ciudad de Tarija mediante la comparación de dos softwares de cálculo, los cuales son el programa STREET PAVE y PCA cálculo.

En el marco teórico se colocó todo lo relacionado a pavimentos rígidos, sus componentes y así también las metodologías tradicionales de diseño de estos. Por otro lado, se hablará de los softwares en el dimensionamiento, la interfaz y uso de los programas que se estudiarán.

Para la ubicación de estudio se realizarán en 5 tramos de pavimentos rígidos de la ciudad de Tarija donde se procederá a realizar los estudios y ensayos necesarios para determinar los datos de entrada necesarios de las metodologías en estudio.

En la aplicación práctica para empezar se realizará el cálculo de cada uno de los parámetros de diseño de cada método. Posteriormente se contó con el cálculo de espesores de losa con los dos softwares y así también con su metodología tradicional. Con los resultados se procedió a analizar los principios con los que trabajan las características con las que cuenta y como procesa los datos de entrada.

Una vez se haya analizado el procesamiento de datos y obtención de resultados en el capítulo anterior se obtendrán las conclusiones acerca de sus funcionamientos y se determinará cuál de estos dos programas se adecua de mejor manera a las condiciones de la región.

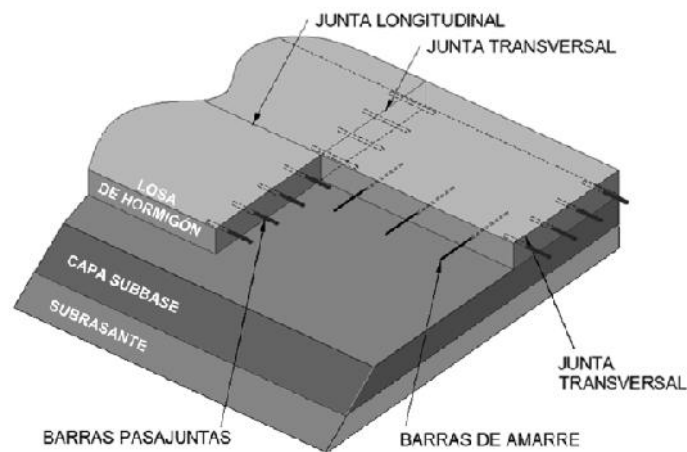
CAPÍTULO II
MARCO CONCEPTUAL

CAPÍTULO II: MARCO CONCEPTUAL

2. Pavimentos rígidos

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico, así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia (Alfonso, 2002).

Ilustración N°2. Componentes principales del pavimento rígido



Fuente: Manual diseño de pavimentos IBCH

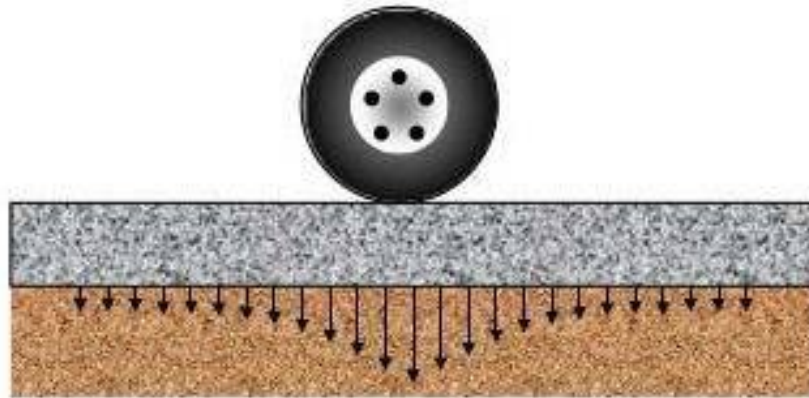
Los esfuerzos a los que están sujetos estos pavimentos son:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
- Esfuerzos directos de compresión y cortamiento causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas
- Esfuerzos de compresión y tensión causados por la expansión y contracción del concreto
- Esfuerzos de compresión y tensión debido a la combinación del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

Además, como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando

existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (Crespo Villalaz, 1995)

IlustraciónNº3. Comportamiento del pavimento rígido



Fuente: Libro de pavimentos UMSS

2.1. Componentes de los pavimentos rígidos

Las capas que conforman el pavimento rígido son: subrasantes, subbase, y losa o superficie de rodadura como se muestra en la Figura.

IlustraciónNº4. Capas del pavimento rígido



Fuente: Libro de pavimentos UMSS

Subrasante. - Es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Esta capa puede estar formada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, compresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante. Se considera como la cimentación del pavimento y una de sus funciones principales es la de soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, así como evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

Subbase. - Es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase. La subbase debe controlar los cambios de volumen y elasticidad que serían dañinos para el pavimento. Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o subbase adecuada.

Losa (superficie de rodadura). - Es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

2.2. Tipos de pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos se clasifican en los siguientes:

- Pavimento de concreto simple

- Sin pasadores
- Con pasadores
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo

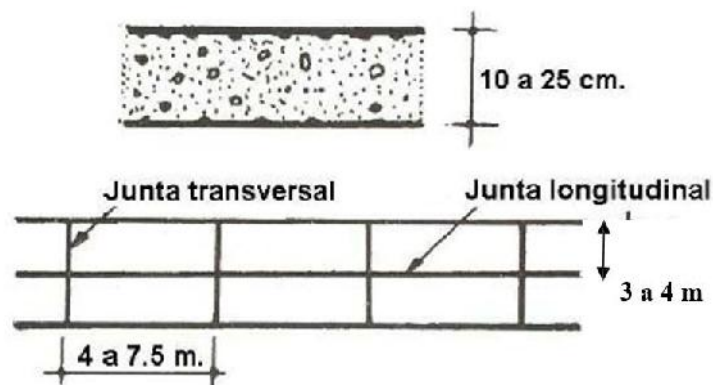
2.2.1. Pavimento de concreto simple sin pasadores

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

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

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante (Olivares, 2004)

IlustraciónN°5. Pavimento de concreto simple sin pasadores



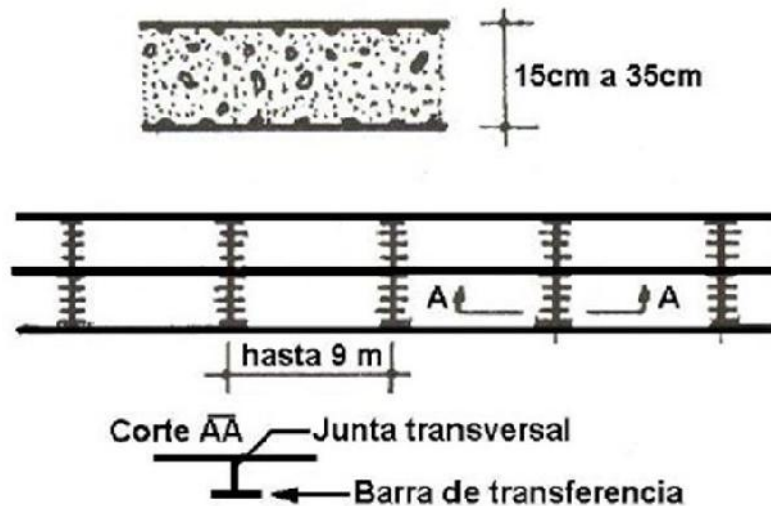
Fuente: Informe Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto

2.2.2. Pavimento de concreto simple con pasadores

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

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más. (Olivares, 2004)

Ilustración N°6. Pavimento de concreto simple con pasadores

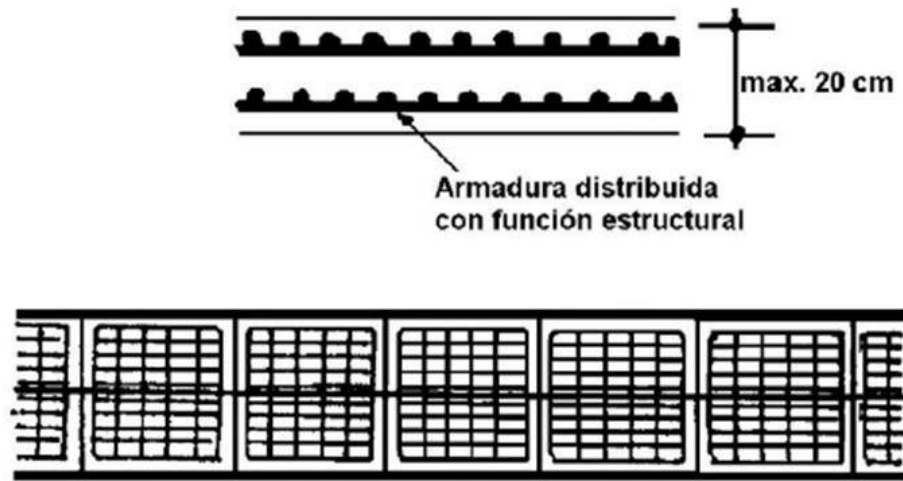


Fuente: Informe Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto

2.2.3. Pavimento de concreto reforzado con juntas

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electro soldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural. (Olivares, 2004).

IlustraciónN°7. Pavimento de concreto reforzado

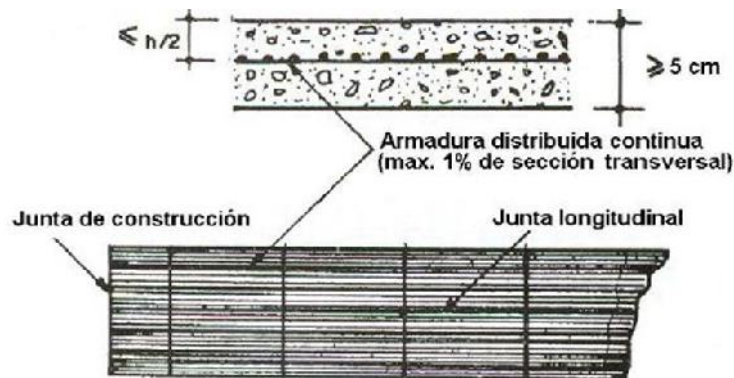


Fuente: Informe Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto

2.2.4. Pavimento de concreto con refuerzo continuo

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimento. (Olivares, 2004).

IlustraciónN°8. Pavimento con refuerzo continuo



Fuente: Informe Técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto

2.3. Juntas

En las losas de un pavimento rígido se presentan diversas clases de esfuerzos. Los más elevados son los generados por la circulación de los vehículos sobre ellas, los cuales se controlan con el correcto diseño del espesor de las losas, con la selección adecuada de la resistencia del concreto y con una calidad en la construcción real que las propiedades determinadas durante el diseño se cumplan.

La construcción de las juntas en los pavimentos se debe a que si no se hace se presentarán grietas a intervalos bastante regulares debido a la contracción y dilatación del concreto. Las juntas son generalmente puntos débiles de la superficie de rodamiento en los cuales pueden presentarse desperfectos al aumentar los pesos de los vehículos; pueden también, desportillar por el efecto de elementos extraños en las mismas tales como piedras, etc., provocando, además un aumento en los gastos de conservación, por lo que es conveniente tener mucho cuidado en su proyecto y construcción. (Crespo Villalaz, 1995)

Además, los análisis de los esfuerzos generados en las losas, por las cargas colocadas en diferentes posiciones han demostrado que estos son mayores en las cercanías de los bordes de las losas y, aun mas en sus esquinas, de lo cual se concluye que las juntas inducen en el pavimento rígido unas zonas de debilidad relativa, por lo que en su concepción se deben diseñar mecanismos o tomar las precauciones necesarias para mantener su integridad estructural.

2.3.1. Finalidad de las juntas

Las juntas en los pavimentos de concreto son necesarias por las siguientes razones:

- **Por requisitos de construcción:** Lo más frecuente es construir los pavimentos rígidos por carriles, generando juntas longitudinales, con una separación determinada mediante un diseño realizado con criterios técnicos.

Además de la junta longitudinal descrita, se presentan juntas de construcción transversales, cuando se suspenden las labores de colocación del concreto, bien sea por la finalización de la jornada laboral, por una interrupción en el suministro del material o por averías en alguno de los equipos empleados para su producción, transporte o colocación.

Pero esta interrupción debe ser tan larga como para que el concreto ya colocado haya alcanzado su fraguado final. El tiempo en que esto sucede depende de las propiedades del concreto, por ejemplo, o no de aditivos retardantes y de las condiciones climáticas.

- **Retracción del concreto:** El concreto al endurecer ocupa menos volumen que cuando está fresco, debido fundamentalmente a las reacciones de hidratación que ocurren durante el fraguado y, en forma secundaria al enfriamiento producido por el desprendimiento de calor originado en dicha reacción.

La retracción lineal de un elemento de concreto es tanto mayor cuanto sea la relación entre su volumen y su área superficial, en el caso de las losas de un pavimento esta relación es muy pequeña, debido al bajo espesor de ellas comparado con su superficie y, por lo tanto, se presenta una retracción longitudinal considerable.

- **Dilatación térmica:** el aumento de temperatura en el concreto ocasiona, en ausencia de restricciones, un incremento en su volumen es más notorio en su dimensión longitudinal. Si existe confinamiento (es decir, si se impide el aumento de longitud), se introducen necesariamente esfuerzos de compresión, los cuales, aunque son bien resistidos por el concreto tienen efectos secundarios perjudiciales, como producir alabeo en las placas e introducir esfuerzos en las estructuras colocadas dentro del pavimento (tapas de alcantarillas, por ejemplo) o colindantes con el (puentes, intersecciones con otras vías, etc.)
- **La aparición de fisuras:** Por alabeo tiene su origen cuando el concreto ha endurecido, y se somete a los cambios diarios de las condiciones climáticas, entonces se inducen esfuerzos debido a los gradientes de humedad y temperatura. En un día caluroso, la superficie del pavimento tiene mayor temperatura que su apoyo, obligando a las losas a levantarse en el centro y apoyarse en los extremos, lo que produce esfuerzos que pueden generar nuevas fisuras; en la noche el fenómeno se invierte y los esfuerzos de tracción se desarrollan en las caras inferiores del pavimento.

2.3.2. Elementos de la junta

Las principales funciones que debe cumplir una junta son:

- Localización adecuada, de tal manera que controle eficazmente el agrietamiento potencial causado por cualquiera de los factores descritos.
- Transmisión adecuada de las cargas a la losa adyacente, con el fin de evitar fallas por deformaciones excesivas o pérdida en la calidad del rodamiento.
- Protección adecuada de la subrasante contra el agua. La junta debe ser impermeable, de tal manera que el agua no pueda infiltrarse a través de ella.

De acuerdo con estas funciones las juntas deben estar provistas de los siguiente:

Un mecanismo de transmisión de carga. Los mayores esfuerzos en las losas de concreto, generados por la circulación de los vehículos, se presentan en las esquinas; pero los más frecuentes y los que generalmente controlan el diseño del espesor son los de borde. Es to obliga a dotar a las juntas especialmente a las transversales, de mecanismo que transmiten las cargas, de una losa a su vecina, para que se desarrollen esfuerzos con magnitud similar a los generados por las cargas colocadas en el centro de las losas.

- **Pasadores:** En condiciones de tráfico pesado y/o clima severo, es necesario complementar la eficiencia de la trabazón de agregados mediante el empleo de barras de acero liso denominados pasadores, que conectan entre sí las losas separadas por juntas. Este tipo de mecanismo transmite tanto fuerzas de cizalladura como momento flector, pero debe permitir el libre movimiento horizontal de las losas, por lo cual al menos una mitad del pasador debe engrasarse, a fin de evitar su adherencia con el concreto que lo rodea. Asimismo, esta libertad de movimiento horizontal exige que los pasadores de una junta sean todos paralelos al eje de la calzada.
- **Trabazón de agregados:** Cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento debido a la reducción en el espesor de la losa (por corte a edad temprana), por una hendidura sobre el concreto fresco, o por una fisura espontánea (debido a un retraso en la ejecución de los cortes o a un incorrecto diseño de la disposición de las juntas), se presenta transmisión de cargas entre los tramos de la losa o las losas vecinas, debido a la trabazón de los agregados, siempre y cuando la fisura no tenga un ancho superior a un milímetro.

este mecanismo de transmisión de cargas es adecuado en pavimentos que cumplan simultáneamente con los requisitos siguientes: la longitud de las losas sea menor que cinco metros y su soporte no sea susceptible de ser sometido al fenómeno de bombeo; además, el número de camiones que se espera que circulen por día sea inferior a 175 en cada carril y que las condiciones climáticas sean favorables,

2.3.3. Clases de juntas

2.3.3.1. Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales son aquellas que se construyen paralelas al eje del camino con el fin de permitir los movimientos relativos de las diversas losas. En los caminos, la cantidad de juntas longitudinales depende del ancho de la corona de los mismos escogiéndose, muy comúnmente, en forma tal que ellas dividan a la corona en el número de las vías necesarias para la circulación. (Crespo Villalaz, 1995)

Aunque las juntas longitudinales pueden ser proyectadas y construidas de diferente manera, es muy común que se emplee el tipo macho y hembra.

Sin embargo, en muchas ocasiones conviene pavimentar en una sola operación la anchura correspondiente a dos carriles, dividiéndola en seguida mediante una junta longitudinal de ranura.

IlustraciónNº9. Junta transversal



Fuente: Lineamientos generales para diseño geométrico de juntas

IlustraciónN°10. Junta longitudinal terminada



Fuente: Lineamientos generales para diseño geométrico de juntas

2.3.3.2. Juntas transversales

Las juntas transversales de los pavimentos rígidos tienen por objeto el evitar el agrietamiento debido al esfuerzo que se provoca por la contracción y alabeo de las losas. Este tipo de juntas son de varias clases: de contracción, de construcción y de dilatación. (UMSS, 2004)

Las juntas transversales de contracción usadas para evitar los esfuerzos debidos a la disminución de volumen, se construyen de manera análoga a las juntas longitudinales tipo plano debilitado, o se emplean las llamadas juntas de contracción sumergidas. (UMSS, 2004)

Para determinar el espaciamiento L de las juntas transversales de contracción se hace el razonamiento siguiente: la contracción o dilatación de una losa entre dos juntas transversales se ve, en parte coartada por la fricción entre las losas y el terreno provocando con ello esfuerzos que pueden ser perjudiciales máximo en las primeras horas del vaciado el concreto.

De acuerdo al tipo de agregado se pueden usar datos que seguir para controlar las grietas de contracción considerando la calidad del agregado pétreo:

Tabla N°1. Separación entre juntas

Tipo de agregado	Separación máxima entre juntas
Granito triturado	7.400 m
Gravas calizas	6.000 m
Gravas silicosas	4.500 m
Escorias de alto horno	3.000 m

Fuente: Vías de comunicación- Crespo Villalaz

IlustraciónN°11. Junta transversal debida a fin de día de pavimentación



Fuente: Lineamientos generales para diseño geométrico de juntas

2.3.3.3. Juntas de contracción

Son también juntas de alabeo, es decir, controlan las grietas causadas por la retracción del fraguado de concreto y por el alabeo del pavimento. La separación entre juntas varía de acuerdo a los siguientes principios:

- La forma del agregado. Si el agregado es redondeado se puede utilizar menor distancia entre juntas, lo contrario para agregados triturados.
- La composición mineralógica de los agregados. Esto influye en el coeficiente térmico del concreto.

2.3.3.4. Juntas de dilatación

Se recomienda solamente contra construcciones fijas y en intersecciones asimétricas, siempre que el pavimento no se construya con materiales muy expansivos, la temperatura durante la construcción no sea muy baja y la longitud de las losas no sea muy grande. En la transferencia de cargas se usan varillas lisas lubricadas en una de sus mitades, mitad cuyo extremo se provee de una cápsula para facilitar el movimiento del pasador.

Las dimensiones más comunes de estas varillas son: diámetro de 1/8 del espesor de losa, 45 cm. De longitud y separación entre varillas de 30 cm.

2.4. Diseño

2.4.1. Metodología PCA

El propósito de diseño de esta metodología es obtener el espesor mínimo que resultará en el costo anual más bajo, para los costos de inversión inicial y de mantenimiento. Si el espesor es mayor de lo necesario, el pavimento prestará un buen servicio con bajos costos de mantenimiento, pero el costo de inversión inicial será alto. Si el espesor no es el adecuado, los costos prematuros y elevados de mantenimiento e interrupciones en el tráfico sobrepasarán los bajos costos iniciales. Una correcta ingeniería requiere que los diseños de espesores, balanceen apropiadamente el costo inicial y los costos de mantenimiento. (Association, 1984)

2.4.1.1 Factores de diseño

El espesor de diseño es determinado en base a los cuatro factores siguientes:

1. Resistencia del hormigón a la flexión (módulo de rotura MR).
2. Resistencia de la subrasante, ó subrasante y subbase combinadas (k).
3. Los pesos, frecuencias, y tipos de cargas axiales del camión que el pavimento soportará.
4. El periodo de diseño, que en éste y otros procedimientos usualmente es considerado como de 20 años, pudiendo ser más o menos.

2.4.1.2. Resistencia del hormigón a la flexión.

La resistencia del hormigón a la flexión es considerada en el procedimiento de diseño mediante el criterio de fatiga, que controla el agrietamiento del pavimento bajo las cargas respectivas de camiones.

El pandeo de un pavimento de hormigón bajo cargas axiales produce esfuerzo de compresión y flexión. Sin embargo, las relaciones de los esfuerzos y resistencia de compresión son demasiado pequeñas para influenciar en el diseño del espesor de la losa. La resistencia a la flexión es determinada mediante pruebas de módulo de rotura, realizadas usualmente sobre vigas de 6x6x30- pulg.

Las pruebas de módulo de rotura son comúnmente realizadas a los 7, 14, 28 y 90 días. Los resultados de las pruebas a los 7 y 14 días son comparados con los requerimientos de las especificaciones para control de trabajo y para determinar cuando los pavimentos pueden ser abiertos al tráfico. (Association, 1984)

2.4.1.3. Soporte de la subrasante y subbase

El soporte que proporciona la subrasante y la subbase, donde es usada; es el segundo factor en el diseño de espesores. El soporte de la subrasante y la subbase es definido en términos del módulo de reacción de la subrasante (k) de Westergaard. Es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga (una placa de 30-pulg. de diámetro), dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada, por pulgada (psi/pulg), es decir como libras por pulgada cúbica (pci). Los equipos y procedimiento para determinar los valores de k. (Association, 1984)

Efecto de la Subbase no Tratada sobre los valores k

Tabla N°2. Valores k de diseño para subbase granular

Valor K de la subrasante (pci)	Valor k de la subbase (pci)			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	12 pulg.
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

Fuente: Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements

Tabla N°3. Valores k de diseño para subbase tratada con cemento

Valor K de la subrasante (pci)	Valor k de la subbase (pci)			
	4 pulg.	6 pulg.	9 pulg.	10 pulg.
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

Fuente: *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*

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

No es económico usar subbases no tratadas con el solo propósito de incrementar los valores de k. Donde sea usada una subbase, se producirá un incremento del valor k que puede ser usado en el diseño del espesor. Si la subbase es un material granular no tratado, el incremento aproximado del valor k puede ser tomado de la tabla. Otros procedimientos que den una calidad equivalente de material pueden ser usados. Los valores de k de diseño para subbase tratadas con cemento y que reúnen los criterios antes señalados están dados en la tabla. (Association, 1984)

2.4.1.4. Periodo de diseño

El termino periodo de diseño es usado en este texto en vez de vida de pavimentos, porque este último no está sujeto a una definición precisa. Algunos ingenieros y agencias de carreteras consideran que la vida de un pavimento de hormigón finaliza cuando se coloca la primera sobrecapa. La vida del hormigón puede variar desde menos 20 años en algunos proyectos de tráfico mayor lo originalmente estimado o que han tenido efectos de diseño, materiales o construcción defectuosa; a más de 40 años en otros proyectos donde no existen defectos. El término periodo de diseño es considerado algunas veces como sinónimo del término periodo de análisis de tráfico. Debido a que el tráfico puede no ser predicho con mucha precisión para un periodo largo, comúnmente se utiliza un periodo

de diseño de 20 años en el procedimiento de diseño de pavimento. Sin embargo, existen a menudo casos donde el uso de periodo de diseño más corto o más largos, pueden ser económicamente justificados, tal como en una carretera de transporte especial que será usada solo por pocos años, o una construcción muy cara donde se desea un alto nivel de servicio por un periodo largo, con escaso o sin mantenimiento.

El periodo de diseño seleccionado afecta al espesor de diseño, ya que determina cuantos años, y por lo tanto a cuantos camiones, debe servir el pavimento. La selección de un periodo de diseño para un proyecto específico está basada en criterios ingenieriles y en el análisis económico de los costos del pavimento y los servicios obtenidos en todo el periodo. (Association, 1984)

De acuerdo al manual de diseño de pavimentos de la IBCH se tiene la siguiente tabla para la determinación del periodo de diseño.

Tabla N°4. Periodo de análisis

Tipo de camino	Periodo de análisis
Gran volumen de tránsito urbano	30 – 50 años
Gran volumen de tránsito rural	20 – 50 años
Bajo volumen pavimentado	15 – 25 años

Fuente: Manual de diseño de pavimentos IBCH

2.4.1.5. Tráfico

La cantidad y los pesos de las cargas axiales pesadas esperadas durante la vida de diseño son los factores principales en el diseño de espesores de pavimentos de hormigón. Estos se derivan de las estimaciones de:

- Tráfico promedio diario en ambas direcciones, de todos los vehículos (average daily traffic-ADT)
- Tráfico promedio diario de camiones en ambas direcciones (average daily truck traffic-ADTT)
- Cargas axiales de camiones

Información de ADT es obtenido de conteo especiales del tráfico o de mapas del volumen de tráfico del estado, del condado, o de ciudades. Este ADT es denominado como el ADT

presente o corriente, el ADT de diseño es estimado por los métodos comúnmente usados discutidos aquí. Sin embargo, cualquier otro método que de una estimación razonable del tráfico esperado durante la vida de diseño puede ser utilizado. (Association, 1984)

2.4.1.6. Proyección

Un método para obtener el dato del volumen de tráfico (ADT de diseño), requiere el uso de las tasas anuales de crecimiento de tráfico y factores de proyección del tráfico. Muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyección para periodos de diseño de 20 y 40 años. En un problema de diseño, el factor de proyección es multiplicado por el ADT presente para obtener el ADT de diseño que representa el valor promedio para el valor de diseño. En algunos procedimientos, este es llamado el promedio anual del tráfico diario (average annual daily traffic-AADT). (Association, 1984)

2.4.1.7. Factores de seguridad de carga

En el procedimiento de diseño, las cargas por eje determinadas en la sección previa, son multiplicadas por un factor de seguridad de carga (Load Safety Factor LSF).

Recomendables los siguientes factores:

- Para proyectos interestatales y otros de múltiples carriles donde el flujo de tráfico será ininterrumpido y donde habrá altos volúmenes de tráfico de camiones, LSF=1.2.
- Para carreteras y calles arteriales donde el volumen de tráfico de camiones será moderno, LSF =1.1.
- Para carreteras, calles residenciales y otras que soportan pequeños volúmenes de tráfico de camiones, LSF 1.0.

2.4.1.8. Confiabilidad

Se refiere al grado de certidumbre de que un dado diseño pueda llegar al fin de su periodo de análisis en buenas condiciones. Se tiene la siguiente tabla de factores de acuerdo al tipo de vía. (Hormigón, 2018)

Tabla N°5. Porcentaje de confiabilidad

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

Fuente: Manual diseño de pavimentos IBCH

2.4.1.9. Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial es función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La final o terminal es función de la categoría del camino y es adoptada en base a esta y al criterio del proyectista. (Hormigón, 2018).

Los valores recomendados son:

- Serviciabilidad inicial

Po= 4.5 para pavimento rígidos

Po= 4.2 para pavimento flexibles

- Serviciabilidad final

Pt= 2.5 o más para caminos muy importantes

Pt= 2 para caminos de menor tránsito

2.5. Software en el dimensionamiento

2.5.1. PCA cálculo

PCA cálculo es un software para diseño de pavimentos de concreto basado en el método PCA – 84, se desarrolló utilizando las ecuaciones originales de la PCA, lo que da mayor precisión en comparación con el uso de los nomogramas del método. PCA cálculo funciona en las últimas versiones del sistema operativo Windows, se pueden incluir todas

las variables del método de diseño, realiza los cálculos de fatiga y erosión de manera rápida, con lo que ágilmente se pueden evaluar varias alternativas de diseño, permite hacer un análisis de sensibilidad que muestra gráficamente las variaciones de la fatiga y la erosión en función del espesor de la losa, del módulo de rotura del concreto y del módulo de reacción del conjunto Subbase – Subrasante, da las recomendaciones para las dimensiones y separación de las barras de transferencia de carga y de las barras de anclaje. (Castro Mesa, 2014)

2.5.1.1. Interfaz del programa

IlustraciónNº12. Interfaz programa PCA calculo

The screenshot shows the PCA calculation program interface, divided into three main sections: Datos generales, Tránsito, and Análisis. The interface includes various input fields, a table for traffic data, and calculation buttons. Large numbers 1 through 5 are overlaid on the image to highlight specific areas.

Datos generales: Proyecto, Descripción, Período de diseño (años), Espesor de la losa (in), Módulo de rotura (psi), Dovelas (Si/No), Bermas (Si/No), Módulo de reacción de la subrasante (K) (Subrasante: Ingreso directo, Correlación con CBR), Subbase (Espesor, Sin tratar/Tratada con cemento).

Tránsito: Factor de seguridad (1.0), Tipo de Ejes (Ejes Simples), Ejes Simples kips table:

Carga	Repeticiones
30	6310
26	14090
22	30140
18	84410
14	106900
10	235800
8	307200
6	422500
4	508900
2	1837000
0	0
0	0
0	0

Análisis: Calcular, Espesor de losa (in), Módulo de rotura (psi), K del conjunto (pci), Período de diseño (años), Porcentaje de fatiga, Porcentaje de erosión, Recomendación para barras de anclaje (Longitud, Separación entre barras), Recomendación para pasadores (fy=60 ksi) (Longitud, Separación entre barras, Diámetro de barras), Análisis de sensibilidad, Guardar, Abnir, TXT, Salir.

Barros de anclaje: Diámetro de barra (in), Acero (fy) (MPa), Ancho de carril (m).

Sistema de unidades: Si, Inglés.

Fuente: Manual de diseño del PCA cálculo

- **Primer módulo. - Datos Generales:** Contiene las casillas para ingresar los datos generales del proyecto, espesor de losa, la resistencia a flexión del concreto y las características del suelo.
- **Segundo módulo. - Tránsito:** permite el ingreso de las características del tránsito: las cargas por eje, las repeticiones y el factor de seguridad.

- **Tercer módulo. - Análisis:** Muestra los resultados de la iteración realizada a partir de los datos ingresados en los anteriores módulos.
- **Cuarto módulo. - Barras de anclaje:** Permite escoger los datos generales de las barras de anclaje.
- **Quinto módulo. - Sistema de unidades:** Permite escoger el sistema de unidades entre el Sistema internacional (SI) y el sistema inglés.

2.5.1.2. Datos generales de un proyecto

Para diseñar el pavimento se prueba un espesor de losa determinado y se verifican el consumo de fatiga y el consumo de erosión calculados. Se deben conocer las siguientes características:

- **Espesor de losa:** Permite definir el espesor de la losa, el rango varía entre 100 y 350 mm (4 y 14 pulgadas).
- **Módulo de rotura del concreto:** Se introduce el valor requerido del módulo de rotura del concreto.
- **Unión con dovelas:** Se escoge el tipo de unión de las losas de concreto (trabazón de agregados o pasadores).
- **Bermas:** Se selecciona la opción que el pavimento tendrá, con bermas o sin bermas.
- **Módulo de reacción:** Se introduce el valor del módulo de reacción K de la subrasante o el valor del CBR respectivo. Cuando se utiliza subbase el programa considera el aporte de ésta calculando el K del conjunto subrasante - subbase.
- **Factor de seguridad de carga (FS):** El método de diseño recomienda que las cargas reales esperadas se multipliquen por unos factores de seguridad, para lo cual se recomiendan los siguientes:
 - Para vías de carriles múltiples en las que se espere un flujo continuo de tránsito con altos volúmenes de vehículos pesados, FS=1.2.
 - Para carreteras y vías arterias urbanas en las que se espere un volumen moderado de tránsito de vehículos pesados, FS=1.1.
 - Para calles residenciales y otras vías en las que se espere un volumen bajo de vehículos pesados, FS=1.0.

- En casos especiales para mantener un nivel de serviciabilidad mayor al normal esperado durante el periodo de diseño se puede usar $FS=1.3$.
- Tránsito: Los principales factores que inciden en el diseño de pavimentos rígidos son el número y la magnitud de las cargas por eje que se esperan durante el periodo de diseño.
- Seleccione el tipo de eje (simple, tándem, trídem).
- Para cada tipo de eje, ingrese los diferentes pesos de los ejes por tipo.
- Para cada tipo de eje, ingrese el número de repeticiones esperadas.
- Barras de anclaje: Seleccione el diámetro de la barra, la resistencia a la fluencia del acero (f_y) y el ancho de carril de la vía.

2.5.1.3. Manual de procedimiento PCA calculo

Para el cálculo en el software PCA cálculo se deben seguir los siguientes pasos:

- Una vez iniciado el programa se oprime el botón **Continuar**

IlustraciónN°13. Pantalla de inicio programa PCA



Fuente: Software PCA calculo

- Cuando se abre la única ventana del programa se procede a ingresar los datos generales del proyecto, entre estos están el nombre del proyecto y una descripción

IlustraciónN°14. Pantalla de datos de diseño

The screenshot shows the 'PCA calculo' software interface with three main sections: 'Datos generales', 'Tránsito', and 'Análisis'.

Datos generales: Includes fields for 'Proyecto', 'Descripción', 'Período de diseño' (años), 'Espesor de la losa' (in), 'Módulo de rotura' (psi), 'Deviación' (SI/No), 'Eternas' (SI/No), 'Módulo de reacción de la subrasante (K)' (Subrasante: Ingreso directo or Correlación con CBR, K=, CBR=), 'Subbase' (Espesor: in, Sin tratar or Tratada con cemento).

Tránsito: 'Factor de seguridad' (1.0), 'Tipo de Ejes' (Ejes Simples), 'Ejes Simples kips' table:

Carga	Repeticiones
30	6310
28	14090
26	30140
24	84410
22	180000
20	238800
18	307200
16	422500
14	588900
12	1007000
0	0
0	0
0	0

'Barras de anclaje': 'Diámetro de barra' (3/8" in), 'Acero (fy)' (280 Mpa), 'Ancho de carril' (3.05 m).

Análisis: 'Calcular' button, 'Espesor de losa' (in), 'Módulo de rotura' (psi), 'K del conjunto' (pci), 'Período de diseño' (años), 'Porcentaje de fatiga', 'Porcentaje de erosión', 'Recomendación para barras de anclaje' (Longitud: in, Separación entre barras: in), 'Recomendación para pasadores (fy=66 ksi)' (Longitud: in, Separación entre barras: in, Diámetro de barras: in), 'Análisis de sensibilidad', 'Guardar', 'Abrir', 'TXT', 'Salir' buttons.

At the bottom, 'Sistema de unidades' is set to 'Ingles'.

Fuente: Software PCA calculo

IlustraciónN°15. Datos generales

The 'Datos generales' form contains two input fields: 'Proyecto:' and 'Descripción:'.

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.1. Sistema de unidades

El programa permite utilizar dos sistemas de unidades, el sistema internacional (SI) o el sistema inglés. El sistema de unidades por defecto es el sistema inglés. Para cambiar el sistema de unidades seleccione la opción de su interés en la parte inferior del módulo 5. La siguiente tabla muestra los factores de conversión utilizados.

IlustraciónN°16. Sistema de unidades



Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.2. Periodo de diseño

El periodo de diseño corresponde al periodo de análisis de tránsito. El valor ingresado no afecta los cálculos dado que el programa trabaja con las repeticiones de carga ingresada en el módulo 2 (Tránsito). Al ingresar este dato el periodo de diseño será incluido en el reporte del programa.

IlustraciónN°17. Periodo de diseño

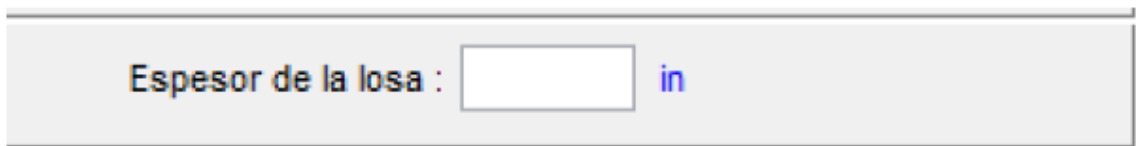


Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.3. Espesor de losa

En este campo ingrese el espesor de losa que desee evaluar. El rango de espesor varía normalmente entre 100 y 350 mm en el sistema internacional o entre 4 y 14 pulgadas en el sistema inglés.

IlustraciónN°18. Espesor de losa



Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.4. Módulo de rotura

Ingrese la resistencia a flexión del concreto a los 28 días. Por lo general se toman valores entre 3.8 - 4.5 MPa (550 - 650 psi).

IlustraciónN°19. Módulo de rotura



Módulo de rotura : psi

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.5. Dovelas y bermas

En estos campos se escoge el tipo de transmisión de carga, con o sin dovelas, y la presencia o no de bermas.

IlustraciónN°20. Dovelas y bermas



Dovelas: Si No

Bermas : Si No

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.6. Módulo de reacción del conjunto subrasante - subbase

Se puede ingresar el valor del módulo de reacción K de la subrasante, para lo cual se escoge la primera opción. La otra alternativa es ingresar la capacidad de soporte (CBR) de la subrasante y el programa estima el valor de K con base en las recomendaciones de la PCA.

Si se desea ingresar el espesor de la subbase debe activarse la opción seleccionando “Subbase”, e ingresando el espesor de la capa de subbase. Además, se puede escoger entre material tratado con cemento o no.

IlustraciónN°21. Módulo de reacción K

Módulo de reacción de la subrasante (K)

Subrasante

Ingreso directo

K = pci

Correlación con CBR

CBR =

Subbase

Espesor : in

Sin tratar Tratada con cemento

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.7. Factor de seguridad (FS)

En la parte superior del módulo 2 (Tránsito), se encuentra el menú desplegable donde se puede seleccionar el valor del FS.

IlustraciónN°22. Factor de seguridad

Factor de seguridad : 1.0 ▼

Tipo de Ejes : Ejes ▼

Ejes Simples kips

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.8. Tránsito, cargas y repeticiones

El programa posee la capacidad para realizar análisis para los ejes simples, tándem y trídem, los cuales se encuentran en el menú desplegable que se muestra en la figura. Al escoger el tipo de eje se activa la tabla de cargas y repeticiones para el tipo de eje escogido. Las cargas se encuentran en unidades de kips para el sistema inglés y kN en el sistema internacional. El programa despliega por defecto valores normalizados de carga, los cuales pueden ser modificados.

IlustraciónN°23. Cargas y repeticiones

The screenshot shows the 'Tránsito' software interface. At the top, there is a dropdown menu for 'Factor de seguridad' set to '1.0' and another for 'Tipo de Ejes' set to 'Ejes Simples'. Below these, the text 'Ejes Simples kips' is displayed. A table with two columns, 'Carga' and 'Repeticiones', contains the following data:

Carga	Repeticiones
30	6310
28	14890
26	30140
24	64410
22	106900
20	235800
18	307200
16	422500
14	586900
12	1837000
0	0
0	0
0	0

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.9. Barras de anclaje

Para calcular la longitud y la separación de las barras de anclaje ingrese las propiedades de la barra, su diámetro y la resistencia a la fluencia (f_y). También es necesario indicar el ancho del carril, que afecta directamente la separación entre barras. Estas características se escogen en los menús desplegables que se encuentran en el módulo 4 (Barras de anclaje).

IlustraciónN°24. Barras de anclaje

The screenshot shows the 'Barras de anclaje' software interface. It features three input fields with dropdown menus: 'Diámetro de barra' set to '3/8" in', 'Acero (f_y)' set to '280 MPa', and 'Ancho de carril' set to '3.05 m'.

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.10. Cálculo de parámetros de diseño

En el módulo 3 (Análisis) encontramos el panel en el cual vamos a realizar el análisis de la estructura de pavimento. Oprimiendo el botón calcular se realizan los cálculos y se muestra el resumen de los resultados, las propiedades del pavimento y los porcentajes de

fatiga y erosión. Igualmente se presentan las recomendaciones de longitud y separación para las barras de anclaje y los pasadores. También se reporta el valor del módulo de reacción (K) del conjunto subrasante - subbase. Los resultados se muestran en el sistema de unidades seleccionado.

IlustraciónN°25. Calculo de parámetros

The screenshot shows a software window titled 'Análisis'. At the top center is a button labeled 'Calcular'. Below it are four input fields with their respective units: 'Espesor de losa : in', 'Módulo de rotura : psi', 'K del conjunto : pci', and 'Periodo de diseño : años'. Below these are two red text labels: 'Porcentaje de fatiga' and 'Porcentaje de erosión'. The next section is 'Recomendación para barras de anclaje:', followed by 'Longitud: in' and 'Separación entre barras: in'. The following section is 'Recomendación para pasadores (fy=60 ksi):', followed by 'Longitud: in', 'Separación entre barras: in', and 'Diámetro de barras: in'. At the bottom of the window are four buttons: 'Análisis de sensibilidad', 'Guardar', 'Abrir', 'TXT', and 'Salir'.

Fuente: Software PCA calculo

2.5.1.3.11. Guardar

Para guardar los datos del proyecto se tienen dos opciones:

- a) Guardar desde el módulo 3 (Análisis), oprimiendo en el botón guardar de este panel (Figura 26).

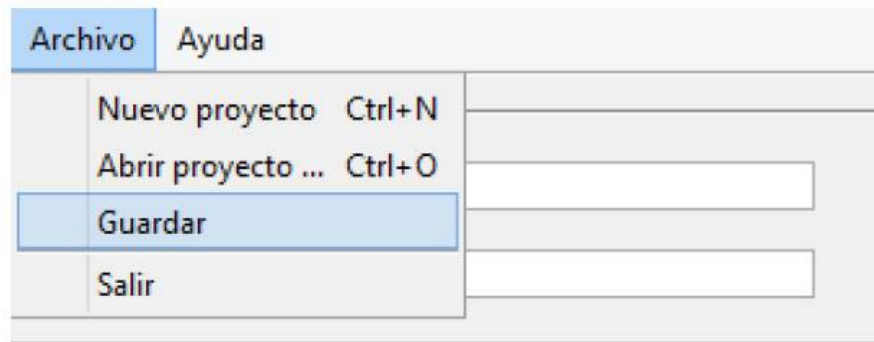
IlustraciónN°26. Guardar archivos



Fuente: Software PCA calculo

b) Guardar desde la barra de herramientas en la parte superior de la interfaz, en el menú desplegable Archivo (Figura 27).

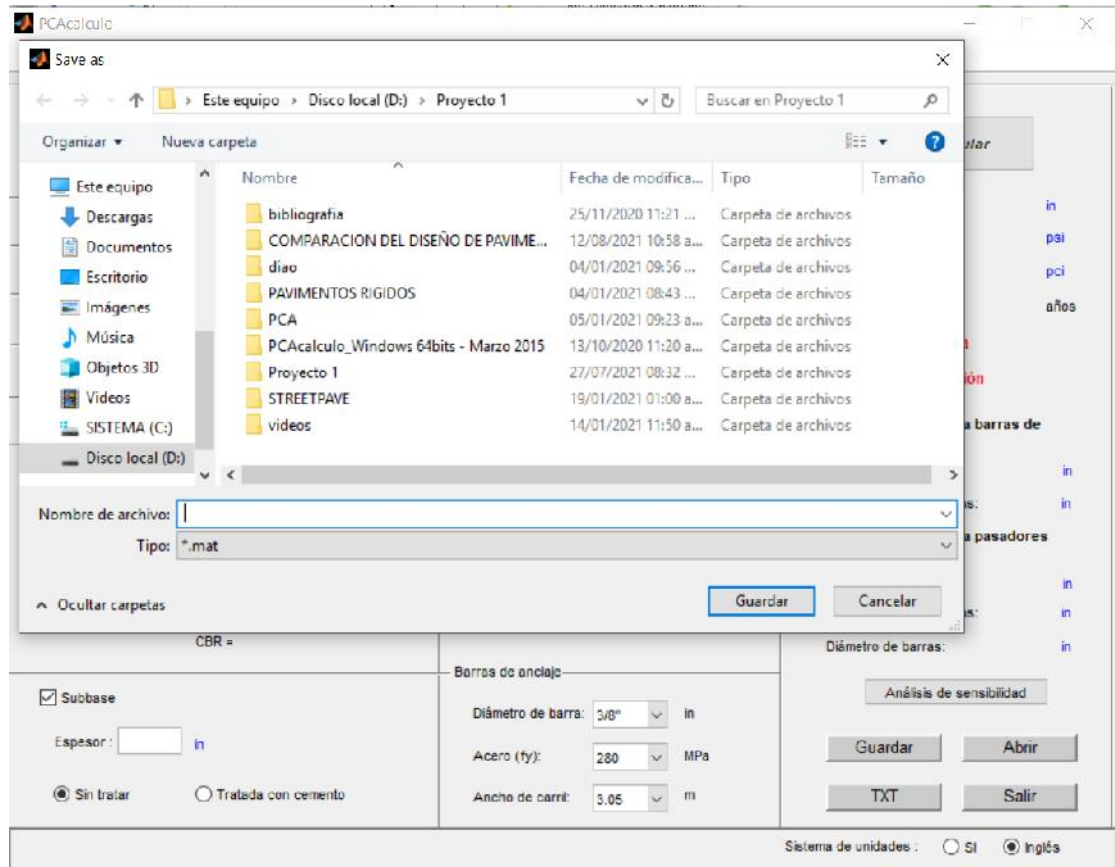
IlustraciónN°27. Guardar archivo desde la barra de herramientas



Fuente: Manual de diseño del PCA cálculo

En ambas opciones se abre una ventana para seleccionar el nombre y la ubicación del archivo (en extensión. mat), Figura 28.

IlustraciónN°28. Ventana de guardar archivos



Fuente: Manual de diseño del PCA cálculo

2.5.2. StreetPave

Este nuevo software de diseño fue lanzado debido a que la ACPA (Asociación Estadounidense de Pavimentos de Concreto) encomendó un trabajo de investigación para expandir, mejorar y ampliar el modelo de Fatiga de la PCA, incluyendo la confiabilidad como parámetro para la predicción de la figuración en pavimentos de hormigón.

Esta herramienta es capaz de determinar el espesor de calzada de hormigón necesario, incorpora recomendaciones para el dimensionamiento de las juntas del pavimento, permite efectuar análisis de sensibilidad de distintas variables y cuenta con la posibilidad de calcular una estructura flexible equivalente; para luego efectuar un análisis del ciclo de vida de ambas alternativas. (Calo, 2012)

2.5.2.1. Interfaz del programa

IlustraciónN°29. Introducción de datos del proyecto StreetPave

The screenshot shows the 'StreetPave 12' application window. The 'Project' tab is active, displaying the 'Project Information' section with input fields for Project Name, Route, Location, Owner / Agency, and Design Engineer. A large text area for Project Description is also present. Below this is the 'Software Use' section with a dropdown menu labeled 'Select a design or analysis option'.

Fuente: Programa StreetPave

- En este módulo se selecciona con el tipo de pavimento se desea trabajar, ya sea un nuevo pavimento rígido o un recapamiento.

IlustraciónN°30. Introducción datos de tráfico programa StreetPave

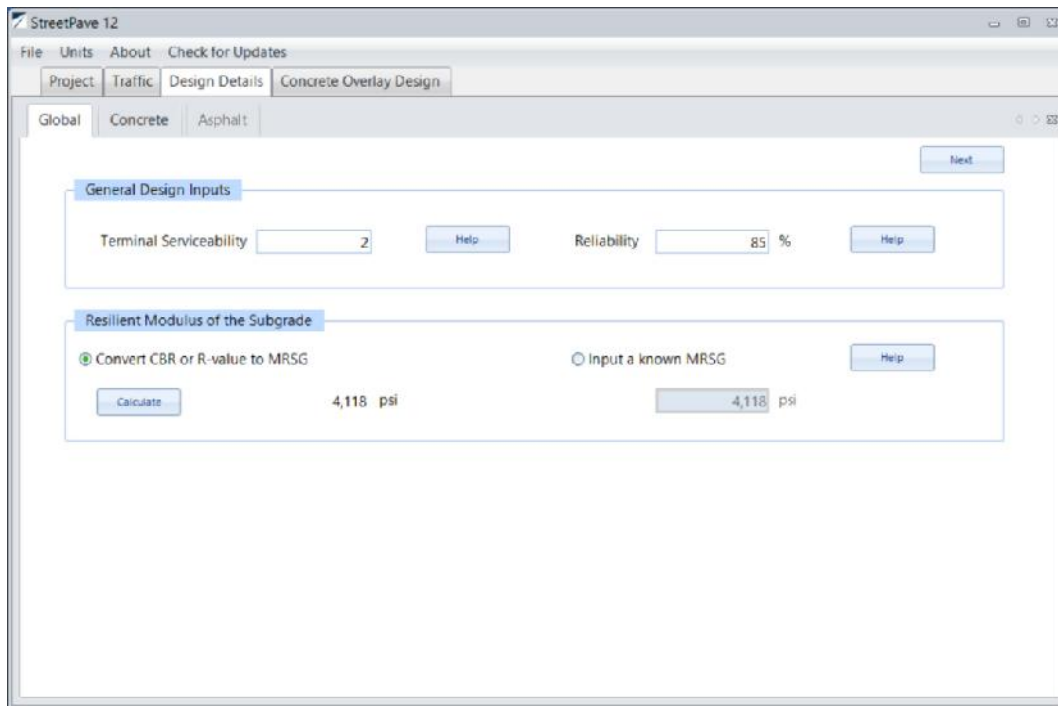
The screenshot shows the 'StreetPave 12' application window with the 'Traffic' tab active. The 'Traffic Category / Load Spectrum' section includes radio buttons for 'Residential' (selected), 'Collector', 'Minor Arterial', 'Major Arterial', and 'ACI 330 Traffic Spectrums' (Category A, B, C, D). A 'Custom Traffic Spectrum' button is also visible. The 'Truck Traffic over the Pavement Design Life' section contains input fields for Trucks per Day (3), Traffic Growth Rate (2% per year), Design Life (30 years), Directional Distribution (50%), and Design Lane Distribution (100%). A 'Calculate' button is present. The results show 'Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life' as 2 and 'Total Trucks in Design Lane over the Design Life' as 22,226. On the right, a table displays traffic load data for Single Axles, Tandem Axles, and Tridem Axles.

Traffic Category	Residential
Axle load, kips	Axles / 1000 trucks
Single Axles	
22	0.96
20	4.23
18	15.81
16	38.02
14	96.11
12	124
10	204.96
8	483.1
6	732.28
4	1693.31
Tandem Axles	
36	4.19
32	69.59
28	68.48
24	39.18
20	57.1
16	75.02
12	139.3
8	85.59
4	51.9
0	0
Tridem Axles (User Defined Only)	
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0
10	0
4	0
0	0

Fuente: Programa StreetPave

- Aquí se ingresan todos los datos referidos al tránsito del tramo que se desea diseñar

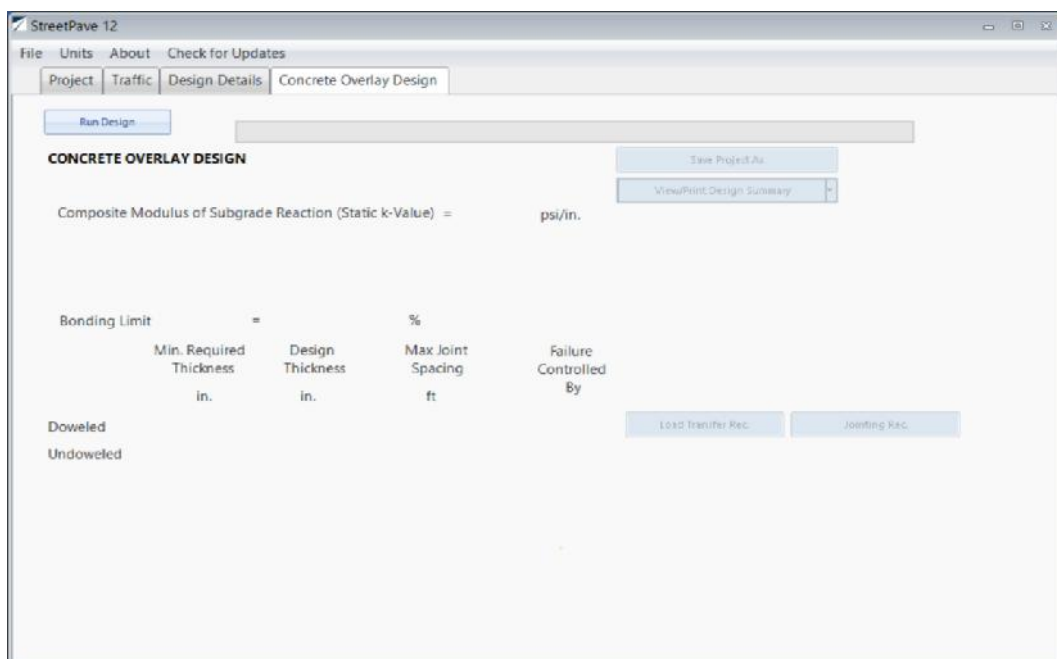
IlustraciónN°31. Introducción datos de capas para el programa StreetPave



Fuente: Programa StreetPave

- En este módulo entran los valores de la subrasante y en el caso que se tuviera se ingresan los datos de la base.

IlustraciónN°32. Resultados de espesores



Fuente: Programa StreetPave

- Muestra los resultados que se obtienen a partir de las iteraciones y a su vez sugiere diferentes alternativas.

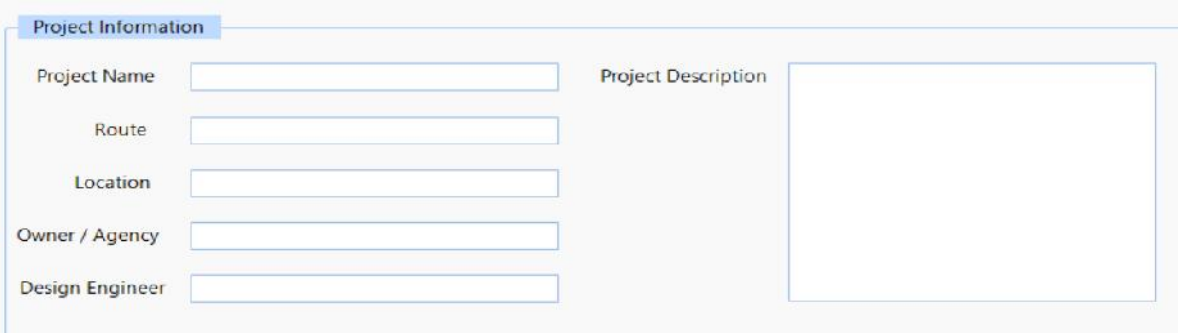
2.5.2.2. Manual de procedimiento del software Street Pave

Para el cálculo en el software Street Pave se deben seguir los siguientes pasos:

2.5.2.2.1. Datos generales

Para empezar, se ingresan los datos generales del proyecto, como ser: nombre del proyecto, ubicación, descripción, etc.

IlustraciónN°33. Datos generales



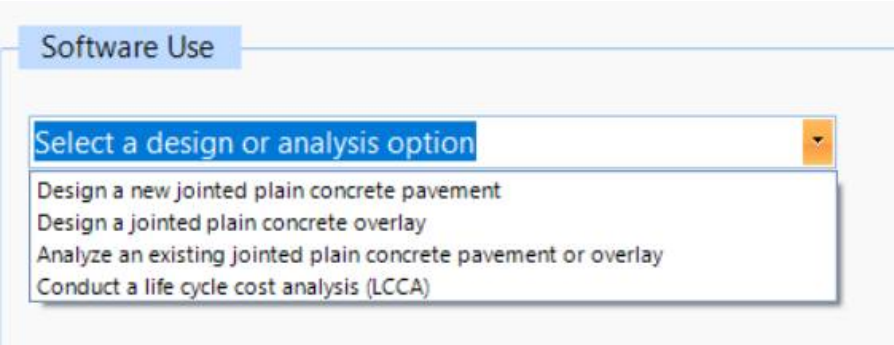
The screenshot shows a form titled 'Project Information' with the following fields: 'Project Name', 'Route', 'Location', 'Owner / Agency', and 'Design Engineer', each with a text input box. To the right of these fields is a larger 'Project Description' text area.

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.2. Selección de tipo de diseño

En esta parte se selecciona que tipo de diseño se realizara, ya que se despliegan 4. Para un nuevo diseño de pavimento rígido se selecciona la primera opción.

IlustraciónN°34. Tipo de diseño



The screenshot shows a dropdown menu titled 'Software Use' with the text 'Select a design or analysis option'. The menu is open, displaying four options: 'Design a new jointed plain concrete pavement', 'Design a jointed plain concrete overlay', 'Analyze an existing jointed plain concrete pavement or overlay', and 'Conduct a life cycle cost analysis (LCCA)'.

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.3. Tráfico

En esta sección se selecciona el tipo de tráfico que tiene la vía que se desea diseñar, las cuales son residencial, colector, menor arterial y mayor arterial.

Estas se definen de acuerdo al volumen de tráfico que transita por el tramo, del cual nos ayudamos de la figura para seleccionar el tipo de tráfico.

IlustraciónN°35. Tipo de tráfico

Fuente: Programa StreetPave

IlustraciónN°36. Referencias de tráfico

Traffic Category	Description	Traffic			Maximum axle loads (kips)	
		ADT	% Trucks	ADTT**	Single axles	Tandem axles
Residential	Residential streets, rural and secondary roads (low to medium*)	50-800	1%-3%	1-20	22	36
Collector	Collector streets, rural and secondary roads (high*), arterial streets and primary roads (low*)	700-5,000	3%-15%	40-1,000	26	44
Minor Arterial	Arterial streets and primary roads (medium*), expressways and urban and rural Interstate (low to medium*)	3,000-15,000+	5%-25%	300-5,000+	30	52
Major Arterial	Arterial streets, primary roads, expressways (high*), urban and rural Interstate (medium to high*)	4,000-50,000+	10%-30%	700-10,000+	34	60

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.4. Tráfico de camiones sobre el pavimento

En esta sección van la cantidad de camiones que transitan en la vida útil del tramo a diseñar, así también el periodo de diseño y el número de carriles del tramo.

IlustraciónN°37. Tráfico de camiones

Truck Traffic over the Pavement Design Life	
Trucks per Day (two-way, at time of construction)	<input type="text" value="3"/> <input type="button" value="Calculate"/>
Traffic Growth Rate	<input type="text" value="2"/> % per year <input type="button" value="Help"/>
Design Life	<input type="text" value="30"/> years <input type="button" value="Help"/>
Directional Distribution	<input type="text" value="50"/> % <input type="button" value="Help"/>
Design Lane Distribution	<input type="text" value="100"/> % <input type="button" value="Help"/>
Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life	2
Total Trucks in Design Lane over the Design Life	22,226

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.5. Datos generales de diseño

Se ingresan los valores de serviciabilidad y confiabilidad.

IlustraciónN°38. Serviciabilidad final y confiabilidad

General Design Inputs	
Terminal Serviceability	<input type="text" value="2"/> <input type="button" value="Help"/>
Reliability	<input type="text" value="85"/> % <input type="button" value="Help"/>

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.6. Datos de las capas

En esta sección va el valor del módulo de reacción de la subrasante, en caso de no tener el módulo de reacción se ingresa el CBR, el cual el programa lo convierte al dato requerido.

IlustraciónN°39. CBR de la subrasante

Resilient Modulus of the Subgrade

Convert CBR or R-value to MRSG Input a known MRSG Help

Calculate 15,089 psi 4,118 psi

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.7. Resistencia del hormigón

Se ingresa la resistencia del concreto a los 28 días y así también el módulo de elasticidad y si el concreto lleva algún aditivo como microfibras.

IlustraciónN°40. Resistencia del hormigón

Concrete Material Properties

28-Day Flexural Strength (MR) psi Calculate Help Modulus of Elasticity (E) psi Help

Macrofibers in Concrete? Help

Fuente: Programa StreetPave

2.5.2.2.8. Resultados

En esta sección se le da al botón de “Run Design”, para así calcular el espesor de la capa de pavimento rígido, las dimensiones de las losas y también recomendaciones de espaciamientos entre barras.

Ilustración N°41. Resistencia del hormigón

Run Design

CONCRETE PAVEMENT DESIGN

Rigid ESALS = 6,829

Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value) = 250 psi/in.

Save Project As

View/Print Design Summary

Sensitivity Analysis of Concrete Pavement Design

k-value Reliability

Concrete Strength % Slabs Cracked

Design Life

	Min. Required Thickness	Design Thickness	Max Joint Spacing	Failure Controlled By
	in.	in.	ft	
*Doweled	4.03	4.50	9	Cracking
Undoweled	4.03	4.50	9	Cracking

Load Transfer Rec. Jointing Rec.

Cracking/Faulting Table Rounding Considerations

*Because the doweled thickness is less than 8 in. and cracking is the predicted cause of failure, dowel bars typically would not be recommended for the design details you provided.

Fuente: Programa StreetPave

CAPÍTULO III
APLICACIÓN
PRÁCTICA

CAPÍTULO III: APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1.- Ubicación de estudio

El estudio del proyecto se realizó en la ciudad de Tarija en 5 tramos, donde 4 de los pavimentos cuentan con los datos necesarios para realizar la aplicación práctica, y el tramo restante es no asfaltado del cual se obtuvo todos los datos mediante ensayos.

Los tramos asfaltados en los que se realizó el estudio son:

- Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil
- Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla
- Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija
- Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora

El tramo seleccionado para la realización de ensayos para los datos de entrada fue:

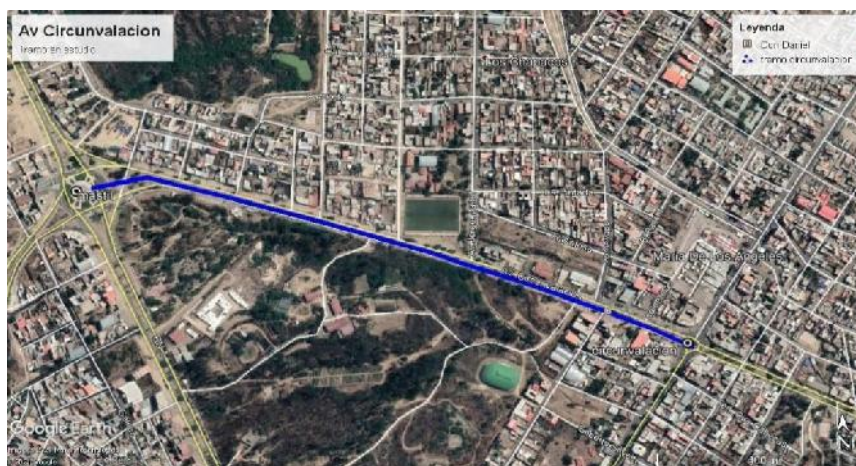
- Avenida Violín Chapaco entre Santa Ana y av Virgen de Chaguaya

3.2. Características de tramos en estudio

3.2.1. Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil

El primer tramo en estudio se ejecutó en el año 1998 y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (320069.00 m E; 7619943.00 m S). Se trata de un tramo asfaltado de pavimento rígido, cuenta con un gran tráfico de vehículos pesados ya que es una de las pocas avenidas que permiten la circulación de este tipo de vehículos.

IlustraciónN°42. Tramo avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta el Mástil



Fuente: Programa Google Earth

3.2.2. Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija

El segundo tramo en estudio se ejecutó en el año 2014 y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (321667.91 m E; 7619943.00 m S).

El tramo cuenta con 2 carriles en ambos sentidos asfaltados, en los cuales la circulación vehicular está regida por motorizados livianos y medianos; ya que el tránsito pesado tiene una ruta alterna en la rotonda de Torrecillas y otra en la entrada de El Portillo con desvíos obligatorios para flotas y camiones.

IlustraciónN°43. Tramo ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija



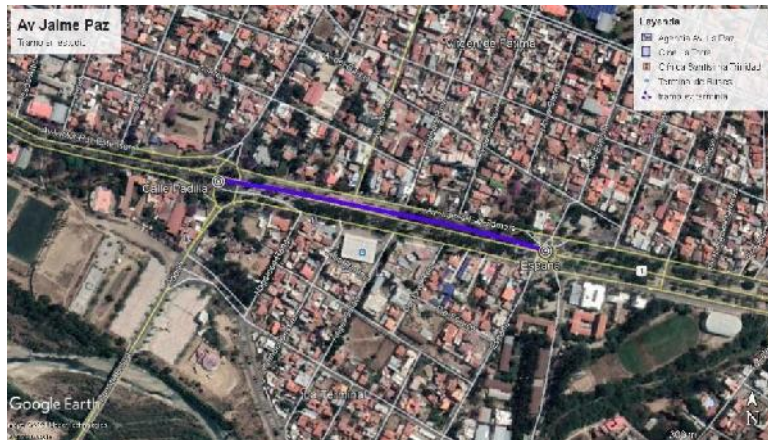
Fuente: Programa Google Earth

3.2.3. Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla

El tercer tramo en estudio se ejecutó en el año 1990 y encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (325957.23 m E; 7614926.30 m S)

El tramo cuenta con 3 carriles de los cuales todos están asfaltados. En este tramo predomina la circulación de automóviles y micros ya que se encuentra cerca de la universidad y el centro de la ciudad.

IlustraciónN°44. Tramo avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla



Fuente: Programa Google Earth

3.2.4. Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora

El cuarto en estudio se ejecutó en el año 2002 y se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (321153.00 m E; 7617932.00 m S)

Este tramo cuenta con un solo carril, el cual está asfaltado, su tráfico es liviano moderado en el cual predomina el tráfico de ambulancias y vehículos públicos ya que está ubicado en la parte trasera del hospital San Juan, en frente del banco de sangre e INTRAID.

IlustraciónN°45. Tramo calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora



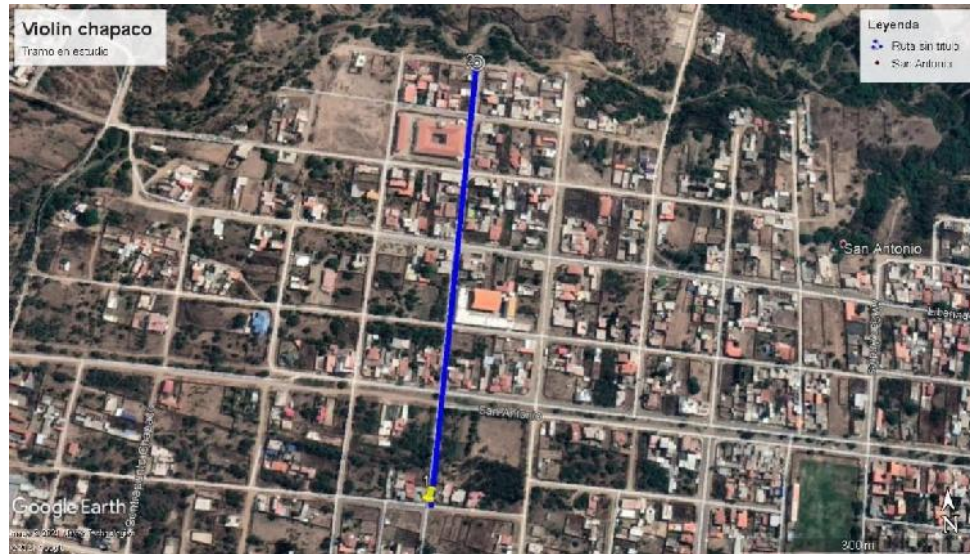
Fuente: Programa Google Earth

3.2.5. Avenida Violín Chapaco entre Santa Ana y avenida Virgen de Chaguaya

El quinto tramo en estudio se encuentra ubicado en las siguientes coordenadas UTM (317639.00 m E; 7617797.00 m S)

Este tramo fue seleccionado por no estar asfaltado, encontrarse lejos de la zona central de la ciudad y tener un flujo de moviidades bajo, razón por lo cual se realizaron ensayos para la obtención de valores de diseño.

IlustraciónN°46. Tramo avenida Violín Chapaco



Fuente: Programa Google Earth

3.3. Parámetros de entrada

Para la determinación de los parámetros de entrada se tomó en cuenta los programas por separado, ya que tienen parámetros de entrada diferentes.

3.3.1. Parámetros de entrada software PCA cálculo

Los parámetros de entrada que pide el software PCA cálculo, son los siguientes:

- Variables de tiempo
- Módulo de reacción de la subrasante
- Módulo de rotura del hormigón
- Número de equivalente de ejes
- Factor de seguridad

3.3.1.1. Variables de tiempo

Para este punto se deben tomar en cuenta dos variables; el *periodo de análisis* y *vida útil* del pavimento. La vida útil es el rango de tiempo entre la construcción y el momento en

que ésta alcanza un grado de serviciabilidad mínimo. El periodo de análisis es el tiempo total que cada estrategia debe cubrir, puede ser igual a la vida útil, pero en casos que se prevén reconstrucciones llega a ser mayor.

Para los tramos que ya están asfaltados se pudo conseguir la información del periodo de análisis, los cuales son los siguientes:

Tabla N°6. Periodo de análisis para los diferentes tramos en estudio

Tramo	Periodo de análisis
Avenida Circunvalación	35 años
Avenida Jaime Paz Zamora	35 años
Entrada terminal de buses	30 años
Calle Junín	30 años

Fuente: Elaboración propia

Para el tramo no asfaltado se diseñará con un periodo de análisis de 25 años, el cual se proyectará para un volumen bajo como indican los parámetros de la tabla N° 4.

3.3.1.2. Módulo de reacción de la subrasante

- Para la determinación de este módulo influye el CBR de la subrasante y el espesor de la capa subbase.

Los datos de módulo de reacción de los tramos avenida circunvalación, entrada a la nueva terminal y avenida Jaime Paz fueron extraídos del proyecto de grado de la U.A.J.M.S con el nombre de “ANÁLISIS DE PRINCIPIOS, PARÁMETROS, PROCESAMIENTO Y RESULTADOS DEL SOFTWARE NUEVO PCA-CÁLCULO COMPARADOS CON LOS MÉTODOS TRADICIONALES Y SU APLICABILIDAD EN NUESTRO MEDIO”, para tres de los tramos estudiados; donde los resultados de los módulos de reacción son los siguientes:

Tabla N°7. Módulo de reacción de la subrasante

Tramo	Módulo de reacción
Avenida Circunvalación	184.500 pci
Avenida Jaime Paz Zamora	166.050 pci
Entrada terminal de buses	180.810 pci

Fuente: Elaboración propia

- Para el tramo N°4 asfaltado tenemos la calle Junín, del cual se obtuvo los datos de la empresa constructora que estuvo a cargo del pavimentado de la ciudad de Tarija.

Espesor subbase = 20 cm

CBR subbase = 48%

CBR subrasante = 6.8 %

El cálculo del módulo de reacción de la subrasante se realizó usando la tabla N° 2 con el ingreso de los datos del CBR de la subrasante y espesor de la subbase, obteniendo un módulo de reacción de 202.21 pci.

- En cuanto al tramo último tramo no está asfaltado, se procedió a realizar los ensayos de caracterización de la subrasante en el laboratorio de nuestra universidad, descrito en el Anexo N°1; los informes de los ensayos de caracterización del suelo indican los siguientes resultados de la muestra de suelo:

Tabla N°8. Características de muestra de suelo

Caracterización de muestra de suelo	
Tipo de suelo	SUCS=GM-GC AASHTO=A-4(2)
Límite líquido	24.650 %
Límite plástico	18.800 %
Índice de plasticidad	5.850 %
Densidad máxima	1.940 gr/cm ³
Humedad óptima	9.570 %
CBR al 100%	11.610 %
CBR al 95%	9.230 %

Fuente: Elaboración propia

Dado que es un suelo de CBR bajo para diseño, se procederá a aumentar una subbase granular, obteniendo el módulo de reacción de la tabla N° 2.

Una vez interpolado con los datos del CBR de la subrasante y espesor de la subbase, se obtuvo un módulo de reacción de 56.460 MPa/m que en unidades de PCI es igual a **206.079**.

3.3.1.3. Módulo de rotura del hormigón

Para este factor se usará el valor de diseño siguiendo la normativa de la ABC, el cual es 45 kg/cm^2 que en unidades de “psi” es **640.035 psi**.

3.3.1.4. Número equivalente de ejes de 80 KN (Esals)

Se presentará los cálculos del primer tramo como un ejemplo y posteriormente se adjuntará una tabla resumen con los resultados de los demás tramos y como anexo N°3 se presentará los cálculos de los demás tramos.

3.3.1.4.1. Calculo de ESALs para el presente año

- **Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil**

Para el cálculo de los ejes equivalentes, se comienza con el aforo del volumen de tráfico. Para esto, se procedió al aforo de un día completo (de 6 am a 10 pm), como se muestra en la tabla 7, así mediante un histograma se determinó las tres horas pico del día. Posteriormente se aforó durante tres días de la semana en las tres horas pico seleccionadas para obtener el tráfico promedio diario.

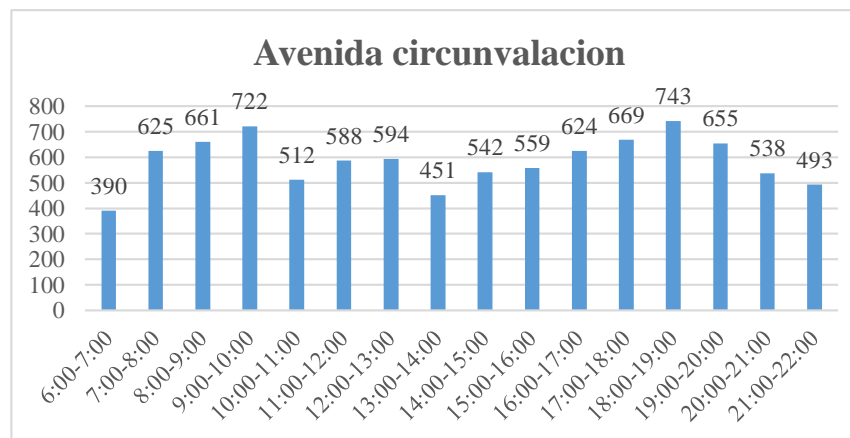
Se mostrará a continuación un cálculo representativo de un tipo de vehículo.

Tabla N°9. Aforo diario del tramo avenida circunvalación

Avenida Circunvalación (23/04/2021)																
Tipo de vehículo	Número de vehículos															
	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	18:00-19:00	19:00-20:00	20:00-21:00	21:00-22:00
Autos	354	552	590	636	453	515	529	410	490	505	555	598	678	608	494	458
Micros	1	20	13	14	8	6	9	8	10	15	11	11	12	18	16	10
Flotas	1	0	3	1	2	4	3	2	2	0	7	9	10	5	10	7
Camiones (Eje Simple)	32	44	39	57	39	52	39	20	30	30	41	40	30	20	12	14
Camiones (Eje tándem)	2	5	10	12	5	5	7	9	7	2	4	7	9	1	4	3
Tráiler	0	2	3	1	5	5	4	2	3	6	6	4	4	3	2	1
Otros	0	2	3	1	0	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Total	390	625	661	722	512	588	594	451	542	559	624	669	743	655	538	493

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°47. Histograma de flujo vehicular diario



Fuente: Elaboración propia

Una vez aforado los tres días de la semana, se procedió a promediar las distintas horas de los diferentes días.

Para el cálculo del tráfico promedio diario, se determinó el volumen máximo de los diferentes horarios; como son distintas vías se calculó dos tráficos diarios.

Tabla N°10. Volúmenes de horas pico para el tramo de la circunvalación

Número de vehículos							
Autos	Fecha	Izquierda			Derecha		
		9:00-10:00	12:00-13:00	18:00-19:00	9:00-10:00	12:00-13:00	18:00-19:00
	27/04/2021	556.000	565.000	645.000	769.000	675.000	813.000
	30/04/2021	765.000	707.000	801.000	860.000	750.000	726.000
	01/05/2021	585.000	668.000	565.000	880.000	684.000	787.000
	Promedio	635.333	646.667	670.333	836.333	703.000	775.333
	Promedio	636.000	647.000	671.000	837.000	703.000	776.000

Fuente: Elaboración propia

$$TPH = 12 \% TPD$$

Se muestra un ejemplo para el carril de la izquierda y posteriormente una tabla resumen de los tráficos promedios diarios de los distintos tipos de autos:

$$TPD = \frac{671}{0.12} = 5591.667 = 5592 \text{ autos}$$

Tabla N°11. Tráfico promedio diario (Hacia el mástil)

Tráfico promedio diario (Hacia el mástil)	
Tipo de vehículo	Cantidad
Autos	5592
Micros	100
Flotas (Eje simple)	25
Flotas (Eje tándem)	50
Camiones (Eje simple)	384
Camiones (Eje tándem)	100
Tráiler	50
Otros	1275

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°12. Tráfico promedio diario (Hacia la torre)

Tráfico promedio diario (Hacia la torre)	
Tipo de vehículo	Cantidad
Autos	6975
Micros	84
Flotas (Eje simple)	17
Flotas (Eje tándem)	42
Camiones (Eje simple)	450
Camiones (Eje tándem)	92
Tráiler	67
Otros	1484

Fuente: Elaboración propia

- Índice de crecimiento

El índice de crecimiento se calcula de acuerdo al crecimiento del parque automotor de la ciudad de Tarija, a partir de esto se calcula la ecuación de crecimiento obtenida de la tabla del anexo N°5.

Para el cálculo del índice de crecimiento se calcula la cantidad de vehículos para dos diferentes años y se lo calcula mediante la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} = 8E-49 * e^{0.0606 * \text{Año}}$$

$$N^{\circ} = 8E-49 * e^{0.0606 * 2021} = 123670$$

$$N^{\circ} = 8E-49 * e^{0.0606 * 2022} = 131397$$

$$i = \frac{131397 - 123670}{123670} * 100$$

$$i = 5.880 \%$$

- Factor de crecimiento

El factor de crecimiento se calcula con la fórmula que se mostrará a continuación, para esto se necesita saber el índice de crecimiento y la vida útil para el cual se diseñará el pavimento.

$$FC = \frac{(1 + i)^n - 1}{i}$$

$$FC = \frac{(1 + 0.0588)^{35} - 1}{0.0588}$$

$$F. C = 108.629$$

- Tránsito de diseño

El tránsito de diseño se calcula con la fórmula que se mostrará a continuación, se calculará un ejemplo para automóviles.

$$\text{Tránsito de diseño} = TPD * FC * 365$$

$$\text{Tránsito de diseño} = 5592 * 108.629 * 365$$

$$\text{Tránsito de diseño} = 221720320.829$$

Tabla N°13. Tránsito de diseño para dirección hacia el mástil

Hacia la torre			
Tipo de vehículo	Volumen diario 2021	Factor de crecimiento	Tránsito de diseño
Autos	6975	108.629	276555657.686
Micros	84	108.629	3330562.759
Flotas (Eje simple)	17	108.629	674042.463
Flotas (Eje tándem)	42	108.629	1665281.380
Camiones (Eje simple)	450	108.629	17842300.496
Camiones (Eje tándem)	92	108.629	3647759.212
Tráiler	67	108.629	2656520.296
Otros	1484	108.629	58839942.080

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°14. Tránsito de diseño para tramo en dirección hacia la torre

Hacia el mástil			
Tipo de vehículo	Volumen diario 2021	Factor de Crecimiento	Tránsito de Diseño
Autos	5592	108.629	221720320.829
Micros	100	108.629	3964955.666
Flotas (Eje simple)	25	108.629	991238.916
Flotas (Eje tándem)	50	108.629	1982477.833
Camiones (Eje simple)	384	108.629	15225429.756
Camiones (Eje tándem)	100	108.629	3964955.666
Tráiler	50	108.629	1982477.833
Otros	1275	108.629	50553184.738

Fuente: Elaboración propia

- Factor equivalente de carga

Se obtendrá de las tablas previstas por el manual de la AASHTO, estas tablas son para cada tipo de eje (simple, tándem y trídem) y para un serviciabilidad final, estas tablas se encuentran en el anexo N°6. Para usar esta tabla se deben usar los siguientes datos

Espesor de losa de 8 Pulg.

Serviciabilidad final de 2.5

Peso de cada vehículo en KN

Tipo de eje de cada vehículo

Tabla N°15. Tabla resumen de factores equivalentes para los distintos tipos de vehículos

Tipo de vehículo	Eje	Tipo de eje	Peso		Factor equivalente de carga	Factor equivalente de carga total
			Tn	KN		
Autos	Eje delantero	Simple	1.000	9.810	0.000	0.001
	1er eje trasero	Simple	1.000	9.810	0.000	
Micros	Eje delantero	Simple	2.000	19.620	0.004	0.021
	1er eje trasero	Simple	3.000	29.430	0.017	
Flotas (Eje simple)	Eje delantero	Simple	3.000	29.430	0.017	0.300
	1er eje trasero	Simple	6.000	58.860	0.283	
Flotas (Eje tándem)	Eje delantero	Simple	3.000	29.430	0.017	1.701
	1er eje trasero	Tándem	15.000	147.150	1.683	
Camiones (Eje simple)	Eje delantero	Simple	5.000	49.050	0.134	1.640
	1er eje trasero	Simple	9.000	88.290	1.507	
Camiones (Eje tándem)	Eje delantero	Simple	5.000	49.050	0.134	1.817
	1er eje trasero	Tándem	15.000	147.150	1.683	
Tráiler	Eje delantero	Simple	5.000	49.050	0.134	3.324
	1er eje trasero	Simple	9.000	88.290	1.507	
	2do eje trasero	Tándem	15.000	147.150	1.683	

Fuente: Elaboración propia

- Para el cálculo de los ejes equivalentes se multiplica el tránsito de diseño por el factor equivalente de carga total.

$$W_{18''} = 221720320.829 * 0.0008$$

$$W_{18''} = 170301.136$$

- Para el cálculo de los ejes equivalentes totales depende del factor de distribución de carril y el factor de distribución direccional.

En este tramo tenemos un factor de distribución de carril de 3 carriles, el cual es

$$F_c = 0.6$$

Ya que este tramo es de una sola dirección se tiene un factor de distribución direccional de 100%.

$$F_d = 1$$

Tabla N°16. Ejes equivalentes para el tramo de la avenida circunvalación en dirección al mástil

Hacia el mástil				
Tipo de vehículo	Tránsito de Diseño	Factor equivalente de carga total	N° de ESALs p/diseño	ESALs diseño
Autos	221720320.800	0.001	170301.136	25612436.694
Micros	3964955.666	0.021	82038.942	
Flotas (Eje simple)	991238.916	0.299	297265.869	
Flotas (Eje tandem)	1982477.833	1.700	3371279.290	
Camiones (Eje simple)	15225429.760	1.640	24972765.093	
Camiones (Eje tandem)	3964955.666	1.817	7204614.020	
Tráiler	1982477.833	3.324	6589130.141	
Sumatoria			42687394.491	

Fuente: Elaboración propia

$$W_{18} = 42687394.491 * 0.6 * 1$$

$$W_{18} = 25612436.694$$

Tabla N°17. Ejes equivalentes para el tramo de la avenida circunvalación en dirección a la torre

Hacia la torre				
Tipo de vehículo	Tránsito de Diseño	Factor equivalente de carga total	N° de ESALs p/diseño	ESALs diseño
Autos	276555657.700	0.001	212419.604	28822791.654
Micros	3330562.759	0.021	68912.711	
Flotas (Eje simple)	674042.463	0.300	202140.791	
Flotas (Eje tandem)	1665281.380	1.701	2831874.604	
Camiones (Eje simple)	17842300.500	1.640	29264959.093	
Camiones (Eje tandem)	3647759.212	1.817	6628244.898	
Tráiler	2656520.296	3.324	8829434.388	
Sumatoria			48037986.090	

Fuente: Elaboración propia

De igual manera se calcula para la dirección hacia la torre

$$W_{18} = 48037986.090 * 0.6 * 1$$

$$W_{18} = 28822791.654$$

A continuación, se muestra una tabla resumen de los ejes equivalentes de los demás tramos en estudio:

Tabla N°18. Tabla resumen ejes equivalentes para la presente gestión

Tramo		Ejes equivalentes
Avenida circunvalación	Dirección mástil	25612436.700
	Dirección la torre	28822791.654
Ingreso a la nueva terminal		1652502.396
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	16976350.394
	Medio	19856760.260
	Frente	2174576.935
Calle Junín		2847387.801
Avenida Violín Chapaco		374843.750

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.4.2. Calculo de ESALs para el año de ejecución del tramo

Para la determinación de los ejes equivalentes de este año, primero se debe realizar una regresión del volumen aforado actualmente, posteriormente se realiza el mismo procedimiento de los ejes equivalentes del tiempo 1.

La cantidad de años para la regresión se calcula de resta del año en que se aforo con el año del cual se construyó el pavimento del tramo, como se muestra a continuación:

$$\text{Años de regresion} = 2021 - 1998$$

$$\text{Años de regresion} = 23 \text{ años}$$

Una vez calculado la cantidad de años de la regresión se procede a determinar los volúmenes de tráfico, esto con el índice de crecimiento

Se muestra a continuación el cálculo para autos:

$$TPD (1998) = \frac{5592}{\left(1 + \frac{5.88}{100}\right)^{23}}$$

$$TPD (1998) = 1503$$

Tabla N°19. Tabla resumen del volumen de vehículos para la presente gestión y año de ejecución

Trafico Promedio Diario (Hacia el mástil)		
Tipo de vehículo	2021	1998
Autos	5592	1503
Micros	100	27
Flotas (Eje simple)	25	7
Flotas (Eje tándem)	50	14
Camiones (Eje simple)	384	104
Camiones (Eje tándem)	100	27
Tráiler	50	14

Fuente: Elaboración propia

Dado que los cálculos para la determinación de los ejes equivalentes son los mismos se mostrará directamente el valor final. Los cálculos completos se encontrarán en el anexo 3

- Ejes equivalentes (Tramo circunvalación dirección al mástil) = 6989265.357

A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados de los ejes equivalentes para el año de construcción.

Tabla N°20. Tabla resumen ejes equivalentes para el año de construcción

Tramo		Ejes equivalentes
Avenida circunvalación	Dirección mástil	6989265.357
	Dirección la torre	7871145.898
Ingreso a la nueva terminal		1120586.488
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	376311.721
	Medio	3421155.185
	Frente	2932529.374
Calle Junín		986740.732

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.5. Factor de seguridad

Para el factor de seguridad el método recomienda multiplicar las cargas por un determinado factor, este depende del tipo que se tiene de carretera.

- **Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil**

Para la avenida circunvalación se tomará un F.S = 1.2, que es para vías de múltiples carriles y que se espera tener altos volúmenes de tráfico pesado.

- **Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija**

Para el ingreso a la nueva terminal se tomará un F.S = 1.2, que es para vías de múltiples carriles y que se espera tener altos volúmenes de tráfico pesado.

- **Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla**

Para la avenida Jaime paz se tomará un F.S = 1.2, que es para vías de múltiples carriles y que se espera tener altos volúmenes de tráfico pesado. Este factor de seguridad se sumará para las 3 avenidas en estudio.

- **Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora**

Para la calle Junín se tomará un F.S = 1.1, este factor es para calles residenciales y en las que se espera volúmenes bajos de tráfico pesado.

- **Avenida Violín Chapaco entre Santa Ana y avenida Virgen de Chaguaya**

Para el tramo de la zona de Tabladita se tomará un F.S = 1.1, este factor es para calles residenciales y en las que se espera volúmenes bajos de tráfico pesado.

3.3.2. Parámetros de entrada software StreetPave

Los parámetros de entrada que solicita el programa StreetPave son los siguientes:

Variable de tiempo

Serviciabilidad

Confiabilidad

Módulo de rotura

Módulo de reacción de la subrasante

Vehículos pesados por día

Índice de crecimiento

3.3.2.1. Variable tiempo

Este parámetro se necesita de igual manera para el software PCA cálculo, por lo tanto, se mostrará una tabla resumen de este valor.

Tabla N°21. Resumen Periodo de análisis

Tramo	Periodo de análisis
Avenida Circunvalación	35 años
Avenida Jaime Paz Zamora	35 años
Entrada terminal de buses	30 años
Calle Junín	30 años
Avenida Violín Chapaco	25 años

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2. Serviciabilidad

El factor de serviciabilidad depende del tipo de pavimento que se va construir y el tipo de tránsito. Utilizando los criterios indicados en el *punto 2.1.1.9*, se asumen los siguientes factores:

- **Serviciabilidad inicial**

Para la serviciabilidad inicial se tomará el valor del respectivo pavimento que se está diseñando, el cual es pavimento rígido.

$$P_o = 4.5.$$

- **Serviciabilidad final**

Este factor toma en cuenta el tipo de camino que se tiene. Para caminos muy importantes se recomienda trabajar con 2.5 y para tramos de poco tráfico con un factor de 2.

Se asumirán estos factores de la siguiente manera:

Tabla N°22. Resumen de serviciabilidad final

Tramo	Serviciabilidad final (Pf)
Avenida Circunvalación	2.500
Avenida Jaime Paz Zamora	2.500
Entrada terminal de buses	2.500
Calle Junín	2.000
Avenida Violín Chapaco	2.000

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.3. Confiabilidad

La confiabilidad depende de dos factores que son; el tipo de camino y la zona rural o urbana.

El rango en el que varía la confiabilidad para zonas urbanas está entre 80 y 99 %, por lo que se tomará en cuenta el valor que se recomienda en la ABC que es 85 %.

3.3.2.4. Módulo de rotura

Para este factor se usará el valor de diseño siguiendo la normativa de la ABC, el cual es 45 kg/cm², que en unidades de “psi” es **640.035 psi**.

3.3.2.5. Módulo de reacción de la subrasante

Este parámetro es el mismo que se requiere para el software PCA cálculo, por lo tanto, se presenta una tabla resumen con los valores por tramo.

Tabla N°23. Resumen módulo de reacción de la subrasante

Tramo	Módulo de reacción
Avenida Circunvalación	184.500 pci
Avenida Jaime Paz Zamora	166.050 pci
Entrada terminal de buses	180.810 pci
Calle Junín	202.210 pci
Avenida Violín Chapaco	206.079 pci

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.6. Vehículos pesados por día

El valor para el presente año de estudio se obtiene de los aforos realizados en los distintos tramos, donde las tablas correspondientes se encuentran en el anexo N°2; mientras el valor

para el año de ejecución se encontrará mediante una correlación, con la ayuda del índice de crecimiento.

Tabla N°24. Resumen vehículos pesados por día para gestión 2021

Tramo		Vehículos pesados
Avenida circunvalación	Dirección mástil	534
	Dirección la torre	609
Ingreso a la nueva terminal		84
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	417
	Medio	356
	Frente	75
Calle Junín		75
Avenida Violín Chapaco		9

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°25. Resumen vehículos pesados por día para año de ejecución

Tramo		Vehículos pesados
Avenida circunvalación	Dirección mástil	145
	Dirección la torre	165
Ingreso a la nueva terminal		57
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	72
	Medio	63
	Frente	13
Calle Junín		26

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.7. Índice de crecimiento

Para este parámetro de entrada se consiguió el crecimiento automotor de los últimos años y con estos datos se procedió a calcular el índice de crecimiento. El cálculo se encuentra en los datos de entrada del software PCA, por lo tanto, en este punto solo colocara el valor.

El valor que se calculó fue:

$$i = 5.880 \%$$

3.4. Aplicación del software PCA cálculo

Para la utilización del software PCA cálculo se procederá a calcular dos perspectivas de diseño, el primero se realizará para la gestión actual y el segundo será para el año de ejecución del tramo.

El software PCA cálculo se aplicará para los 5 tramos, diseñando con el espesor más óptimo de acuerdo al porcentaje de erosión y fatiga máximos.

Una vez ingresado los datos de entrada en el programa, se oprime el botón *calcular* para obtener el porcentaje de erosión y fatiga con el espesor que proporcionamos.

Se presentarán los cálculos para el diseño del año de la presente gestión y los cálculos del año de construcción se colocarán en el anexo N° 8

3.4.1. Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil

Este tramo se divide en dos avenidas, una en dirección al Mástil y otra en dirección a La Torre. Por lo cual se diseñó ingresando los datos que requiere el programa variando el espesor hasta tener el porcentaje de erosión y fatiga cercanos al 100%, pero sin sobrepasar el mismo obteniendo el espesor óptimo para ambos sentidos.

- **Dirección al mástil**

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°26. Parámetros de entrada Tramo circunvalación (Dirección Mástil)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	184.500 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	25612436.700
W18 (año de ejecución 1998)	6989265.357

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°48. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo circunvalación (Dirección al mástil)

The screenshot displays the 'PCA cálculo' software interface, divided into three main sections: 'Datos generales', 'Tránsito', and 'Análisis'.

- Datos generales:** Project: 'Avenida Circunvalación', Description: 'Direccion al mastil', Design period: 35 años, Slab thickness: 9.2 in, Modulus of rupture: 640.035 psi, Doweled: Si, Berms: No, Subbase: checked, Subbase thickness: 0.0 in, Treatment: Sin tratar.
- Tránsito:** Factor of safety: 1.2, Type of axis: Ejes Simples, Ejes Simples laps table, and Bar anchorage: Diameter 3/8", Steel (fy) 280 MPa, Lane width 3.05 m.
- Análisis:** Results for a 9.2 in slab: Fatigue percentage: 0.48%, Erosion percentage: 89.26%. Recommendations for anchorage bars (length 18 in, spacing 18 in) and reinforcement bars (length 18 in, spacing 12 in, diameter 1.25 in).

Carga	Repeticiones
18	2.5612e+07
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

Fuente: Software PCA cálculo

Se calculó para un espesor de **9.2 pulg.**, obteniendo un porcentaje de fatiga de 0.48% y un porcentaje de erosión de 89.26%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

Así también presenta recomendaciones para las barras de anclaje como se muestra en la imagen.

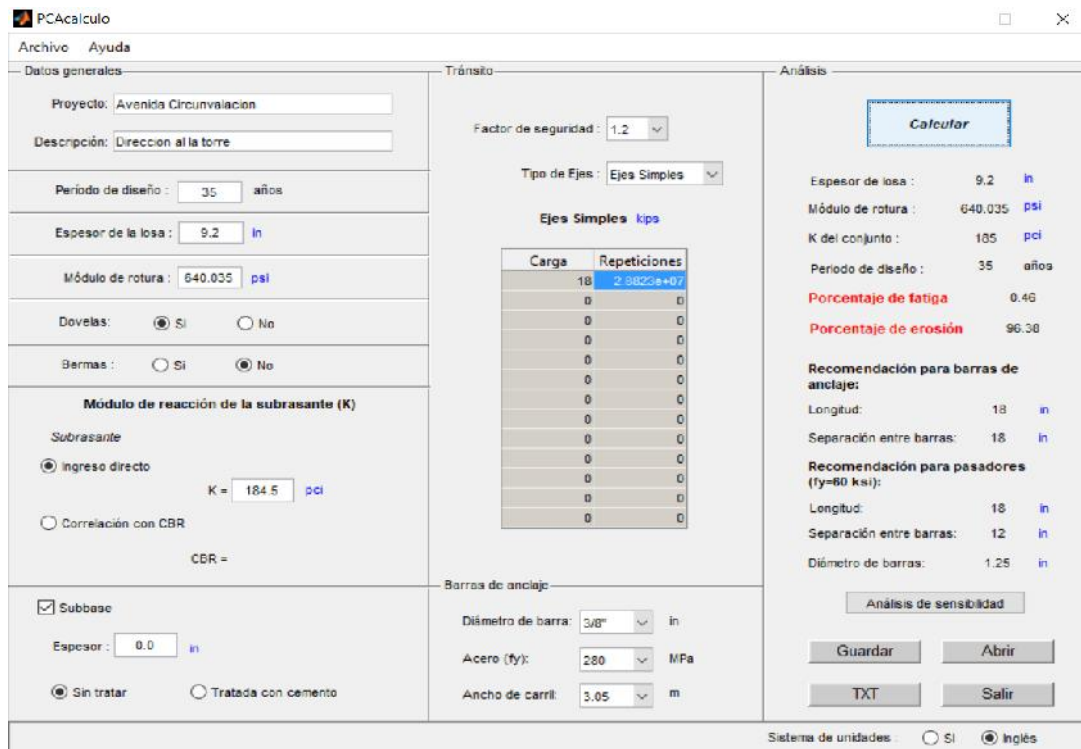
- **Dirección a la torre**

Tabla N°27. Parámetros de entrada Tramo circunvalación (Dirección la torre)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	184.500 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	28822791.654
W18 (año de ejecución 1998)	7871145.898

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°49. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo circunvalación (Dirección a la Torre)



Fuente: Software PCA cálculo

Se calculó para un espesor de **9.2 pulg**, obteniendo un porcentaje de fatiga igual a 0.46% y un porcentaje de erosión de 96.38%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

3.4.2. Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija

Para este tramo, se diseñó ingresando los datos que requiere el programa variando el espesor hasta tener el porcentaje de erosión y fatiga cercanos al 100%, pero sin sobrepasar el mismo obteniendo el espesor óptimo.

Tabla N°28. Parámetros de entrada Tramo ingreso a la nueva terminal

Periodo de diseño	30 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	180.810 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	1652502.396
W18 (año de ejecución 2014)	1120586.488

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°50. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo ingreso a la nueva terminal

The screenshot shows the PCA calculation software interface with the following data and settings:

- Datos generales:**
 - Proyecto: Tramo nueva terminal
 - Descripción: Ingreso
 - Periodo de diseño: 30 años
 - Espesor de la losa: 8.3 in
 - Módulo de rotura: 640 035 psi
 - Dovelas: Sí No
 - Bermas: Sí No
 - Módulo de reacción de la subrasante (K):
 - Subrasante: Ingreso directo (K = 180.81 pci)
 - Correlación con CBR (CBR =)
 - Subbase: Subbase (Espesor: 0.0 in)
 - Sin tratar Tratada con cemento
- Tránsito:**
 - Factor de seguridad: 1.2
 - Tipo de Ejes: Ejes Simples
 - Ejes Simples kips table:

Carga	Repeticiones
18	1.6525e+06
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
 - Barras de anclaje:
 - Diámetro de barra: 3/8 in
 - Acero (fy): 280 MPa
 - Ancho de carril: 3.05 m
- Análisis:**
 - Calcular button
 - Resultados:
 - Espesor de losa: 8.3 in
 - Módulo de rotura: 640 035 psi
 - K del conjunto: 181 pci
 - Periodo de diseño: 30 años
 - Porcentaje de fatiga: 15.72
 - Porcentaje de erosión: 93.72
 - Recomendación para barras de anclaje:
 - Longitud: 18 in
 - Separación entre barras: 22 in
 - Recomendación para pasadores (fy=60 ksi):
 - Longitud: 16 in
 - Separación entre barras: 12 in
 - Diámetro de barras: 1.13 in
 - Análisis de sensibilidad button
 - Guardar, Abrir, TXT, Salir buttons

Fuente: Software PCA cálculo

Se calculó para un espesor de **8.3 pulg**, obteniendo un porcentaje de fatiga de 15.72% y un porcentaje de erosión de 93.72%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

3.4.3. Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla

Este tramo se divide en tres carriles, las cuales son la de enfrente de la ex terminal, el carril de enfrente dirigido a la rotonda de los leones y el carril de la parte central.

Se diseñó ingresando los datos que requiere el programa variando el espesor hasta tener el porcentaje de erosión y fatiga cercanos al 100%, pero sin sobrepasar el mismo obteniendo el espesor óptimo para ambos sentidos.

- **Ex terminal**

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°29. Parámetros de entrada Tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	16976350.394
W18 (año de ejecución 1990)	376311.721

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°51. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)

The screenshot shows the PCAcalculo software interface with the following data:

- Datos generales:** Proyecto: Avenida Jaime paz; Descripción: Ex termina; Período de diseño: 35 años; Espesor de la losa: 9 in; Módulo de rotura: 640.035 psi; Dovelas: Si; Bermes: No; Módulo de reacción de la subrasante (K): 166.05 pci; Subbase: Sin tratar.
- Tránsito:** Factor de seguridad: 1.2; Tipo de Ejes: Ejes Simples; Ejes Simples kips table with 18 lanes and 1.6976e+07 repetitions.
- Análisis:** Resultados de cálculo: Espesor de losa: 9 in; Módulo de rotura: 640.035 psi; K del conjunto: 166 pci; Período de diseño: 35 años; Porcentaje de fatiga: 2.78; Porcentaje de erosión: 96.50; Recomendación para barras de anclaje: Longitud: 18 in, Separación entre barras: 18 in; Recomendación para pasadores (fy=60 ksi): Longitud: 16 in, Separación entre barras: 12 in, Diámetro de barras: 1.13 in.

Fuente: Software PCA calculo

Se calculó para un espesor de **9 pulg**, obteniendo un porcentaje de fatiga es 2.78% y un porcentaje de erosión de 96.50%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

- **Medio**

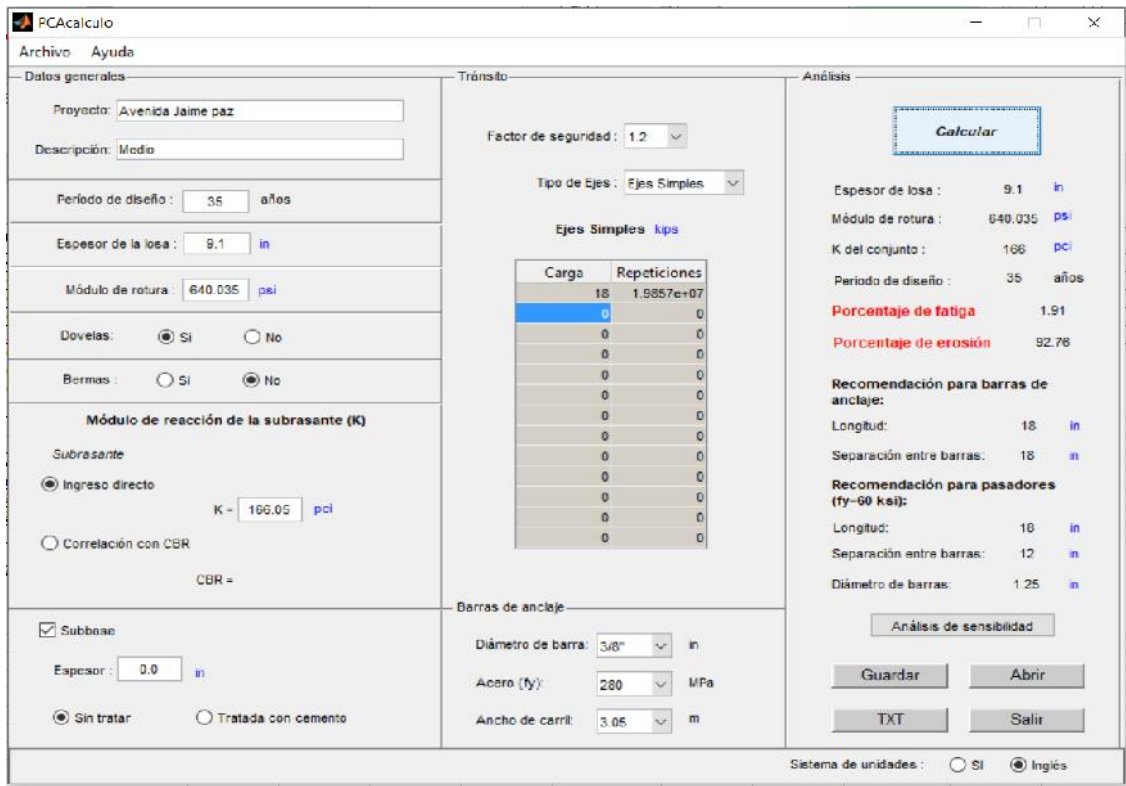
Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°30. Parámetros de entrada tramo avenida Jaime Paz (Medio)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	19856760.260
W18 (año de ejecución 1990)	3421155.185

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°52. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo avenida Jaime Paz (Medio)



Fuente: Software PCA calculo

Se calculó para un espesor de **9.1 pulg**, obteniendo un porcentaje de fatiga de 1.91% y un porcentaje de erosión de 92.76%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

- **Frente**

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°31. Parámetros de entrada tramo avenida Jaime Paz (Frente)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	2174576.935
W18 (año de ejecución 1990)	2932529.374

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°53. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo avenida Jaime Paz (Frente)

The screenshot shows the PCA calculation software interface with the following sections:

- Datos generales:**
 - Proyecto: Avenida Jaime paz
 - Descripción: Frente a ex terminal
 - Periodo de diseño: 35 años
 - Espesor de la losa: 8.4 in
 - Módulo de rotura: 640.035 psi
 - Dovelas: SI No
 - Bermas: SI No
 - Módulo de reacción de la subrasante (K):
 - Subrasante: Ingreso directo (K = 166.05 pci)
 - Correlación con CBR (CBR =)
 - Subbase:
 - Espesor: 0.0 in
 - Sin tratar Tratada con cemento
- Tránsito:**
 - Factor de seguridad: 1.2
 - Tipo de Ejes: Ejes Simples
 - Ejes Simples kps

Carga	Repeticiones
18	2.1746e+06
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
- Barra de anclaje:**
 - Diámetro de barra: 3/8" in
 - Acero (fy): 260 MPa
 - Ancho de carril: 3.05 m
- Análisis:**
 - Calcular
 - Epesor de losa: 8.4 in
 - Módulo de rotura: 640.035 psi
 - K del conjunto: 166 pci
 - Periodo de diseño: 35 años
 - Porcentaje de fatiga: 18.64
 - Porcentaje de erosión: 93.23
 - Recomendación para barras de anclaje:
 - Longitud: 18 in
 - Separación entre barras: 22 in
 - Recomendación para pasadores (fy=60 ksi):
 - Longitud: 16 in
 - Separación entre barras: 12 in
 - Diámetro de barras: 1.13 in
 - Análisis de sensibilidad
 - Guardar, Abrir, TXT, Salir
- Sistema de unidades:** SI Inglés

Fuente: Software PCA cálculo

Se calculó para un espesor de **8.4 pulg**, obteniendo un porcentaje de fatiga de 18.64% y un porcentaje de erosión de 93.23%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

3.4.4. Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora

Para este tramo, se diseñó ingresando los datos que requiere el programa variando el espesor hasta tener el porcentaje de erosión y fatiga cercanos al 100%, pero sin sobrepasar para obtener un espesor óptimo.

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°32. Parámetros de entrada tramo calle Junín

Periodo de diseño	30 años
Factor de seguridad	1.100
Módulo de reacción de la subrasante	202.210 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	2847387.801
W18 (año de ejecución 2002)	986740.732

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°54. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo calle Junín

The screenshot shows the PCA calculation software interface with the following data:

Datos generales:
 Proyecto: Tramo Junín
 Descripción: Calle Junín
 Período de diseño: 35 años
 Espesor de la losa: 7.8 in
 Módulo de rotura: 640.035 psi
 Dovelas: Sí No
 Bermas: Sí No
 Módulo de reacción de la subrasante (K):
 Subrasante: Ingreso directo (K = 202.21 pci) Correlación con CBR (CBR =)
 Subbase (Espesor: 0.0 in) Sin tratar Tratada con cemento

Tránsito:
 Factor de seguridad: 1.1
 Tipo de Ejes: Ejes Simples
Ejes Simples kips:

Carga	Repeticiones
18	2.8474e+08
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

Barras de anclaje:
 Diámetro de barra: 3/8" in
 Acero (fy): 280 MPa
 Ancho de carril: 3.05 m

Análisis:
 Calcular
 Espesor de losa: 7.8 in
 Módulo de rotura: 640.035 psi
 K del conjunto: 202 pci
 Período de diseño: 35 años
Porcentaje de fatiga: 6.89%
Porcentaje de erosión: 94.39%
Recomendación para barras de anclaje:
 Longitud: 18 in
 Separación entre barras: 24 in
Recomendación para pasadores (fy=80 ksi):
 Longitud: 14 in
 Separación entre barras: 12 in
 Diámetro de barras: 1.00 in
 Análisis de sensibilidad
 Guardar Abrir
 TXT Salir
 Sistema de unidades: SI Inglés

Fuente: Software PCA cálculo

Se calculó para un espesor de **7.8 pulg.**, obteniendo un porcentaje de fatiga de 6.89% y un porcentaje de erosión de 94.39%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

3.4.5. Avenida Violín Chapaco entre Santa Ana y avenida Virgen de Chaguaya

Este tramo, se diseñó ingresando los datos que requiere el programa variando el espesor hasta tener el porcentaje de erosión y fatiga cercanos al 100%, pero sin sobrepasar el mismo obteniendo el espesor óptimo.

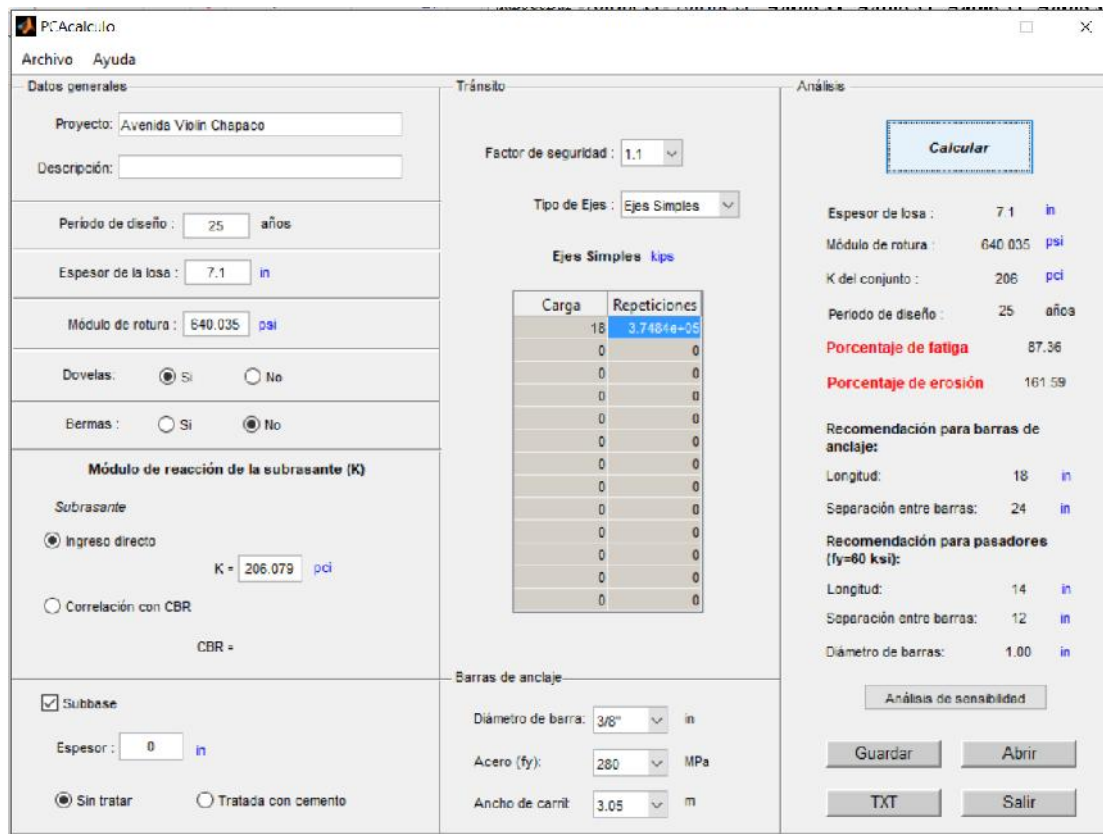
Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°33. Parámetros de entrada tramo avenida Violín Chapaco

Periodo de diseño	25 años
Factor de seguridad	1.100
Módulo de reacción de la subrasante	206.079 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18	374843.750

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°55. Análisis de cálculo del software PCA cálculo para el tramo avenida Violín Chapaco



Fuente: Software PCA calculo

Se calculó para un espesor de **8 pulg**, obteniendo un porcentaje de fatiga de 12.59% y un porcentaje de erosión de 98.41%.

Los porcentajes que se obtuvieron cumplen con la condición del método, la cual es que sean menores al 100%.

3.5. Aplicación del software StreetPave

Se aplicará el software StreetPave para los 5 tramos, diseñando los espesores óptimos que nos brinda el programa para los tramos en estudio, tanto en la gestión actual como en el año de ejecución de cada tramo.

Se colocará un ejemplo de cada tramo para el diseño de la presente gestión y para el año de construcción se adjuntará el cálculo en el anexo N° 9

3.5.1. Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil

Este primer tramo se diseñó para ambos sentidos de la avenida, una dirigida a la Torre y a la otra al Mástil. Se ingresaron los datos respectivos al programa y mediante *RUN DESIGN* se obtuvo el espesor de la losa calculado por el programa.

- Mástil

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°34. Parámetros de entrada tramo circunvalación (Dirección Mástil)

Periodo de diseño	35 años
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.500
Confiability	85%
Módulo de reacción de la subrasante	184.500 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %
Vehículos pesados (gestión actual 2021)	534

Vehículos pesados (año de ejecución 1998)	145
--	-----

Fuente: Elaboración propia

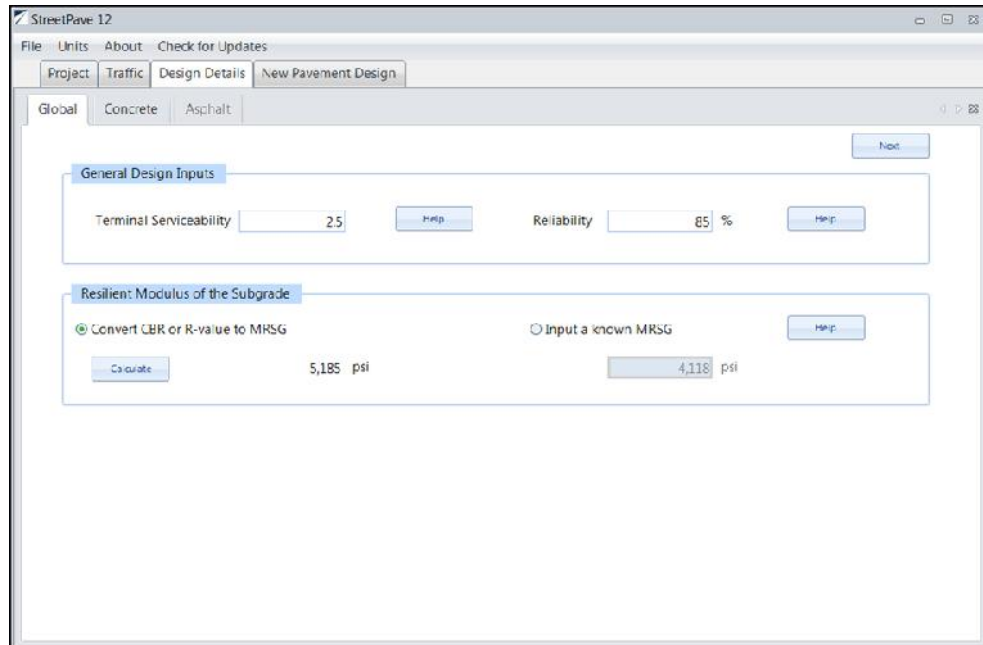
Ilustración N°56. Datos de tráfico para tramo avenida circunvalación (Sentido mástil)

The screenshot shows the StreetPave 12 software interface. The 'Traffic' tab is active, displaying traffic category and load spectrum settings. The 'Typical Traffic Spectrums' section has 'Minor Arterial' selected. The 'Truck Traffic over the Pavement Design Life' section shows input values: Trucks per Day (534), Traffic Growth Rate (5.88% per year), Design Life (35 years), Directional Distribution (50%), and Design Lane Distribution (100%). The calculated results are: Average Trucks per Day in Design Lane (87) and Total Trucks in Design Lane (949,983). A table on the right lists axle load categories and their corresponding axle loads per 1000 trucks.

Traffic Category	Minor Arterial
Axle load, kips	Axles / 1000 trucks
Single Axles	
30	0.45
28	0.85
26	1.70
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.82
14	47.70
12	132.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	3.01
40	71.51
36	56.25
32	103.05
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	96.21
Tandem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

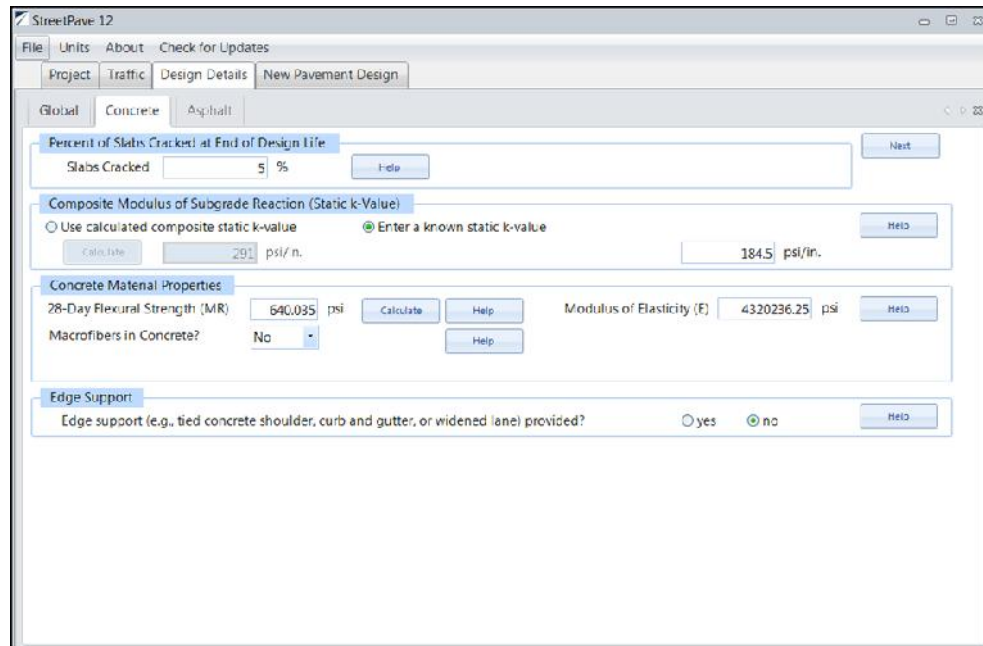
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°57. Datos detalles de diseño general para tramo avenida circunvalación (Sentido mástil)



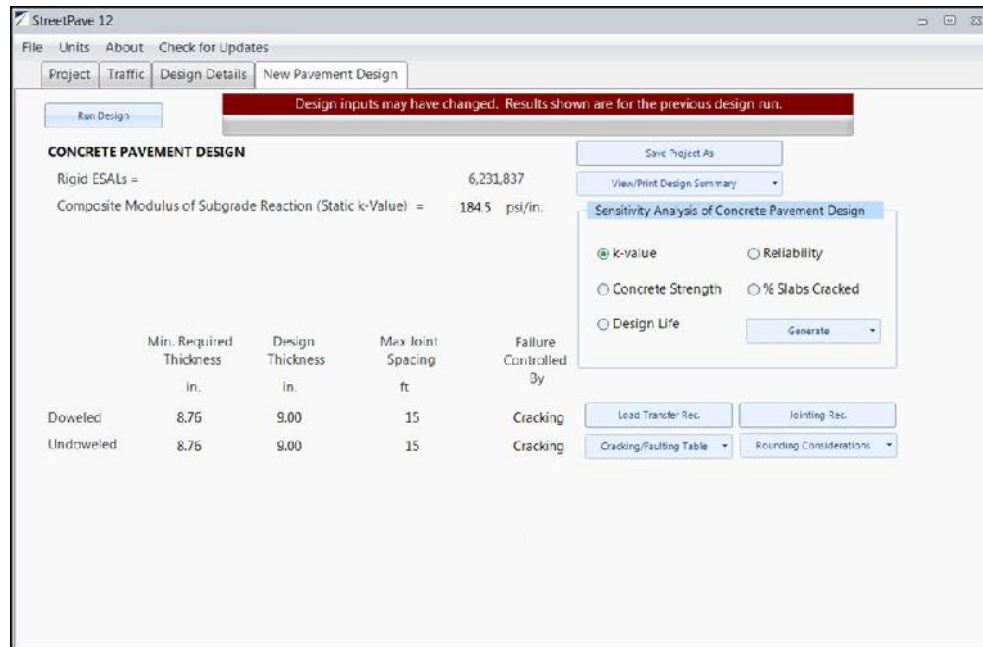
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°58. Datos detalles de diseño del concreto para tramo avenida circunvalación (Sentido mástil)



Fuente: Software StreetPave

Ilustración N°59. Diseño del pavimento para tramo avenida circunvalación (Sentido mástil)



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **8.76 pulg (22.25 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

- La Torre

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°35. Parámetros de entrada tramo circunvalación (Dirección la torre)

Periodo de diseño	35 años
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.500
Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	184.500 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %

Vehículos pesados (gestión actual 2021)	609
Vehículos pesados (año de ejecución 1998)	165

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°60. Datos de tráfico para tramo avenida circunvalación (Sentido la torre)

The screenshot shows the StreetPave 12 software interface. The 'Traffic' tab is active, displaying the 'Traffic Category / Load Spectrum' section. Under 'Typical Traffic Spectrums', 'Minor Arterial' is selected. Under 'ACI 330 Traffic Spectrums', 'Category A' is selected. The 'Truck Traffic over the Pavement Design Life' section shows input values: Trucks per Day (609), Traffic Growth Rate (5.88% per year), Design Life (35 years), Directional Distribution (60%), and Design Lane Distribution (100%). The calculated results are: Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life (1,134) and Total Trucks in Design Lane over the Design Life (14,497,762). On the right, a table shows the 'Traffic Category: Minor Arterial' with columns for 'Axle load, kips' and 'Axles / 1000 trucks'. The table lists axle loads from 30 to 12 kips and corresponding axle counts for single, tandem, and tridem axles.

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, kips	Axles / 1000 trucks
Single Axles	
30	0.45
28	0.85
26	1.78
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.82
14	47.73
12	182.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	8.01
40	21.31
36	56.25
32	103.63
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°61. Datos detalles de diseño general para tramo avenida circunvalación (Sentido la torre)

The screenshot shows the 'StreetPave 12' software interface. The 'Design Details' tab is active, and the 'Concrete' material type is selected. The 'General Design Inputs' section includes 'Terminal Serviceability' set to 2.5 and 'Reliability' set to 85%. The 'Resilient Modulus of the Subgrade' section has the option 'Convert CBR or R-value to MRS' selected, with a 'Calculate' button and a resulting value of 5,185 psi. An alternative option 'Input a known MRS' is also present with a value of 4,118 psi. A 'Next' button is located at the top right of the form.

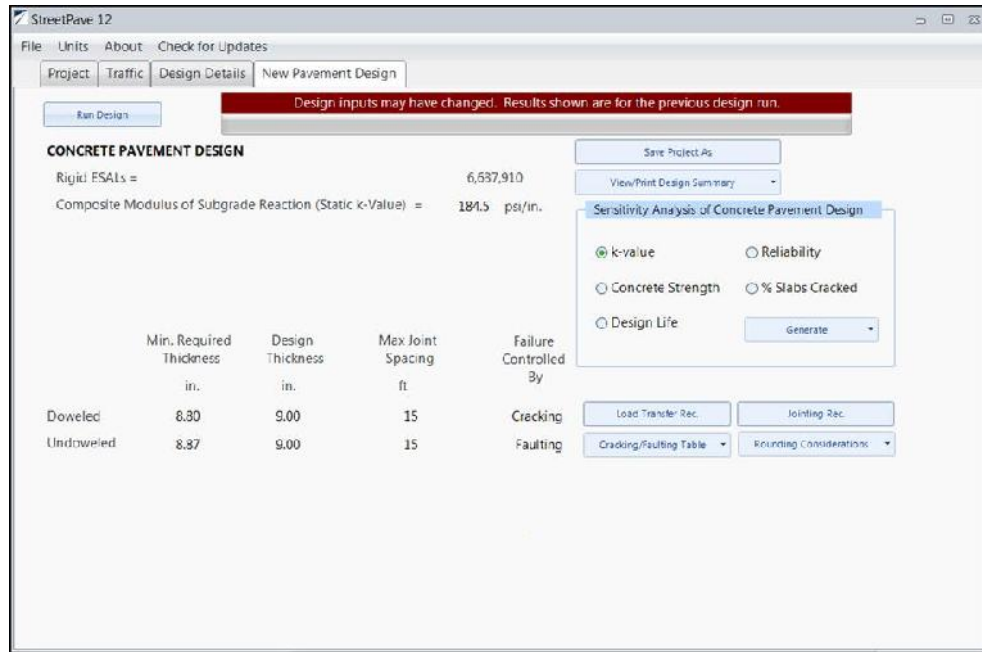
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°62. Datos detalles de diseño del concreto para tramo avenida circunvalación (Sentido la torre)

The screenshot shows the 'StreetPave 12' software interface for concrete design. The 'Concrete' material type is selected. The 'Percent of Slabs Cracked at End of Design Life' is set to 5%. The 'Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value)' section has 'Enter a known static k-value' selected, with a value of 184.5 psi/in. The 'Concrete Material Properties' section includes '28-Day Flexural Strength (MR)' set to 640.035 psi and 'Modulus of Elasticity (E)' set to 4320236.25 psi. The 'Macrobbers in Concrete?' dropdown is set to 'No'. The 'Edge Support' section has 'Edge support (e.g., tied concrete shoulder, curb and gutter, or widened lane) provided?' set to 'no'. A 'Next' button is located at the top right of the form.

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°63. Diseño del pavimento para tramo avenida circunvalación (Sentido la torre)



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **8.80 pulg (22.35 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

3.5.2. Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija

Para el tramo a la nueva terminal, se diseñó en el sentido con mayor flujo vehicular de los dos sentidos, se ingresaron los datos al programa y mediante *RUN DESIGN* se obtuvo el espesor de la losa calculado por el programa.

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°36. Parámetros de entrada tramo ingreso a la nueva terminal

Periodo de diseño	30 años
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.500

Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	180.810 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %
Vehículos pesados (gestión actual 2021)	84
Vehículos pesados (año de ejecución 2014)	57

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°64. Datos de tráfico para tramo ingreso a la nueva terminal

The screenshot shows the StreetPave 12 software interface. The 'Traffic' tab is active, displaying the 'Traffic Category / Load Spectrum' section. Under 'Typical Traffic Spectrums', 'Minor Arterial' is selected. Under 'ACI 330 Traffic Spectrums', 'Category A' is selected. The 'Truck Traffic over the Pavement Design Life' section shows input values: Trucks per Day (84), Traffic Growth Rate (5.88% per year), Design Life (30 years), Directional Distribution (80%), and Design Lane Distribution (50%). The calculated results are: Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life (87) and Total Trucks in Design Lane over the Design Life (949,983). On the right, a table shows the traffic spectrum for 'Minor Arterial' with columns for 'Axle load, kips' and 'Axles / 1000 trucks'. The table lists values for Single Axles, Tandem Axles, and Tridem Axles (User Defined Only).

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, kips	Axles / 1000 trucks
Single Axles	
30	0.45
28	0.85
26	1.78
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.82
14	47.73
12	182.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	8.01
40	21.31
36	56.25
32	103.63
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°65. Datos detalles de diseño general para tramo ingreso a la nueva terminal

The screenshot shows the 'New Pavement Design' window in StreetPave 12. The 'Concrete' tab is selected. The 'General Design Inputs' section includes 'Terminal Serviceability' set to 2.5 and 'Reliability' set to 95%. The 'Resilient Modulus of the Subgrade' section has 'Convert CBR or R value to MRS' selected, with a 'Calculate' button and a resulting value of 4,118 psi. There is also an option to 'Input a known MRS' with a value of 4,118 psi.

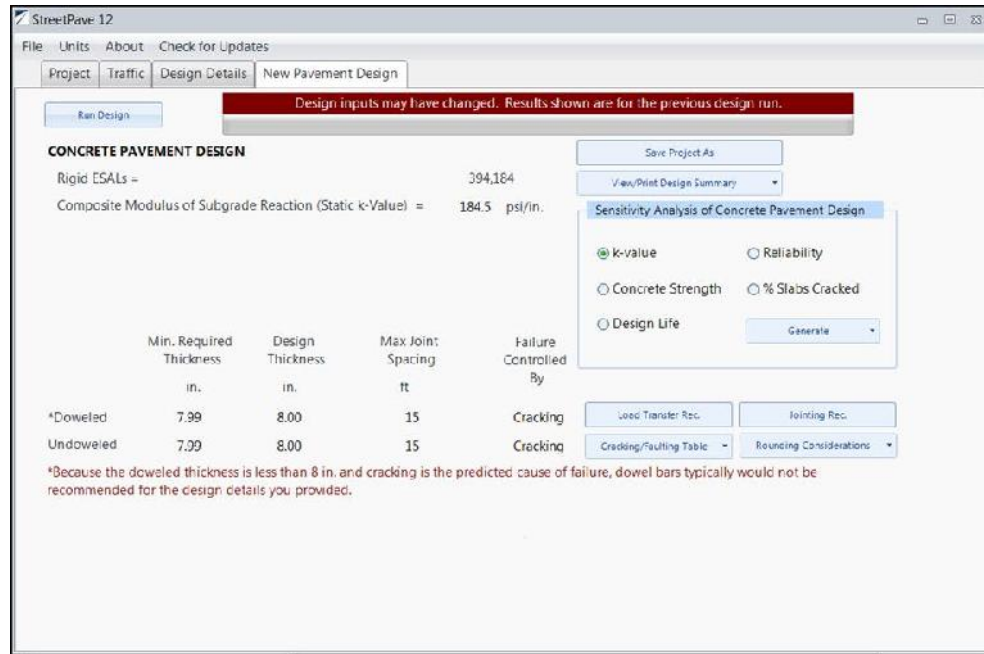
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°66. Datos detalles de diseño del concreto para tramo ingreso a la nueva terminal

The screenshot shows the 'Concrete' tab in StreetPave 12. The 'Percent of Slabs Cracked at End of Design Life' is set to 5%. The 'Composite Modulus of Subgrade Reaction (Static k-Value)' section has 'Enter a known static k-value' selected, with a value of 184.5 psi/in. The 'Concrete Material Properties' section shows '28-Day Flexural Strength (MR)' as 540.035 psi and 'Modulus of Elasticity (E)' as 4320236.25 psi. 'Macrobbers in Concrete?' is set to 'No'. The 'Edge Support' section has 'Edge support (e.g., tied concrete shoulder, curb and gutter, or widened lane) provided?' set to 'no'.

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°67. Diseño del pavimento para tramo ingreso a la nueva terminal



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **7.99 pulg (20.29 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

3.5.3. Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla

Para la avenida Jaime Paz se diseñó para sus tres carriles, las cuales son la ex terminal, el carril de enfrente dirigido a la rotonda de los leones y el carril de la parte central.

Se ingresaron los datos al programa y mediante *RUN DESIGN* se obtuvo el espesor de la losa que calcula el programa.

- Ex terminal

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°37. Parámetros de entrada tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)

Tramo Avenida Jaime Paz	
Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.500
Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %
Vehículos pesados (gestión actual 2021)	417
Vehículos pesados (año de ejecución 1990)	72

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°68. Datos de tráfico para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Ex terminal)

Traffic Category / Load Spectrum

Typical Traffic Spectrums **ACI 330 Traffic Spectrums** **Help**

Residential Category A
 Collector Category B **Custom Traffic Spectrum**
 Minor Arterial Category C
 Major Arterial Category D

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction) **Calculate**

Traffic Growth Rate % per year **Help**

Design Life years **Help**

Directional Distribution % **Help**

Design Lane Distribution % **Help**

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life **2**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life **22,226**

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, kips	Axes / 1000 trucks
Single Axles	
30	0.45
28	0.85
26	1.78
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.82
14	47.73
12	182.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	8.01
40	21.31
36	56.25
32	103.63
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°69. Datos detalles de diseño general para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Ex terminal)

Traffic Category / Load Spectrum

Typical Traffic Spectrums **ACI 330 Traffic Spectrums** **Help**

Residential Category A
 Collector Category B **Custom Traffic Spectrum**
 Minor Arterial Category C
 Major Arterial Category D

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction) **Calculate**

Traffic Growth Rate % per year **Help**

Design Life years **Help**

Directional Distribution % **Help**

Design Lane Distribution % **Help**

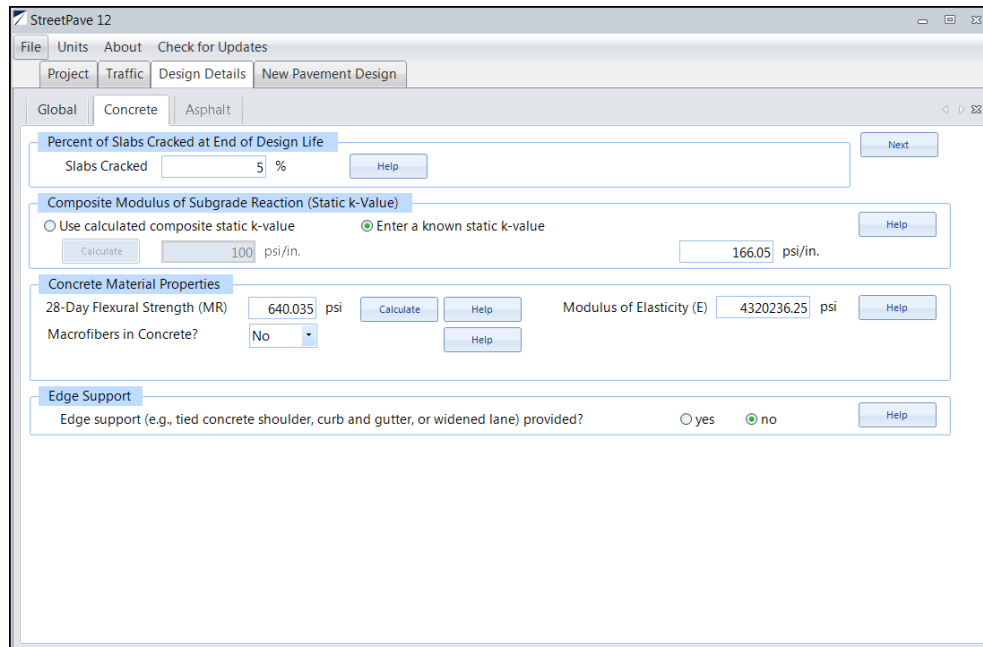
Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life **2**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life **22,226**

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, kips	Axes / 1000 trucks
Single Axles	
30	0.45
28	0.85
26	1.78
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.82
14	47.73
12	182.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	8.01
40	21.31
36	56.25
32	103.63
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

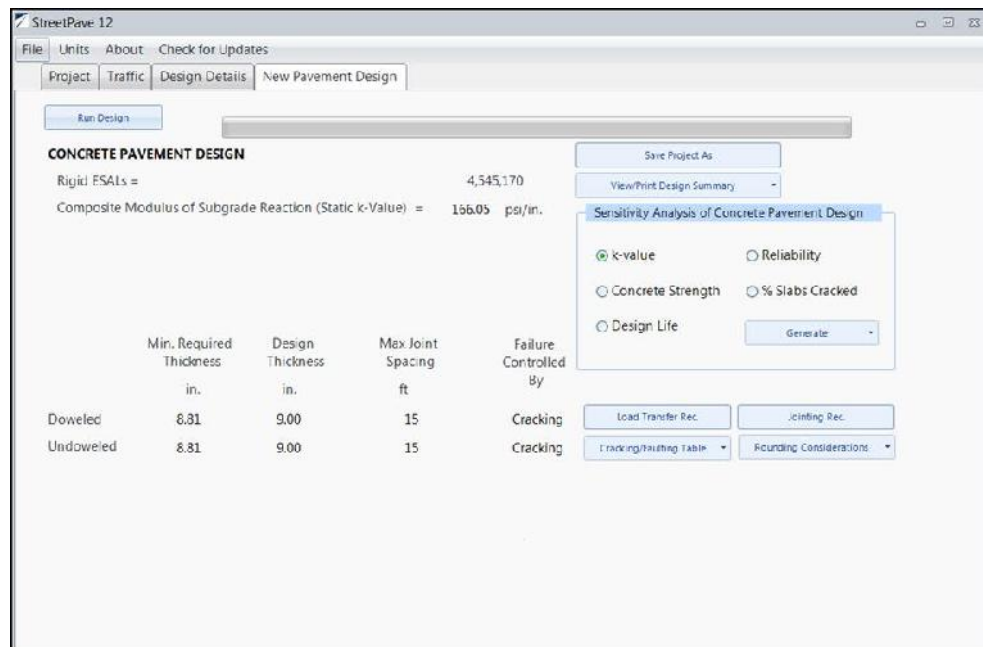
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°70. Datos detalles de diseño del concreto para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Ex terminal)



Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°71. Diseño del pavimento para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Ex terminal)



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **8.81 pulg (22.38 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

- Medio

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°38. Parámetros de entrada tramo Avenida Jaime Paz (Medio)

Tramo Avenida Jaime Paz	
Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.500
Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %
Vehículos pesados (gestión actual 2021)	356
Vehículos pesados (año de ejecución 1990)	63

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°72. Datos de tráfico para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Medio)

The screenshot shows the 'Traffic' tab in StreetPave 12. It is divided into two main sections: 'Traffic Category / Load Spectrum' and 'Truck Traffic over the Pavement Design Life'.

Traffic Category / Load Spectrum:

- Typical Traffic Spectrums:** Residential, Collector, **Minor Arterial** (selected), Major Arterial.
- ACI 330 Traffic Spectrums:** Category A, Category B, Category C, Category D.
- A 'Custom Traffic Spectrum' button is also present.

Truck Traffic over the Pavement Design Life:

- Trucks per Day (two-way, at time of construction): 356
- Traffic Growth Rate: 5.88 % per year
- Design Life: 35 years
- Directional Distribution: 80 %
- Design Lane Distribution: 100 %
- Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life: **884**
- Total Trucks in Design Lane over the Design Life: **11,299,843**

Output Tables:

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, kips	Axes / 1000 Trucks
Single Axes	
30	0.45
28	0.55
26	1.78
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.32
14	47.73
12	182.07
Tandem Axes	
52	1.34
48	2.51
44	8.01
40	21.31
36	56.25
32	109.63
28	121.22
24	72.54
20	23.94
16	99.34
Tridem Axes (Best Practices Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°73. Datos detalles de diseño general para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Medio)

The screenshot shows the 'Design Details' tab in StreetPave 12, specifically the 'General Design Inputs' section.

General Design Inputs:

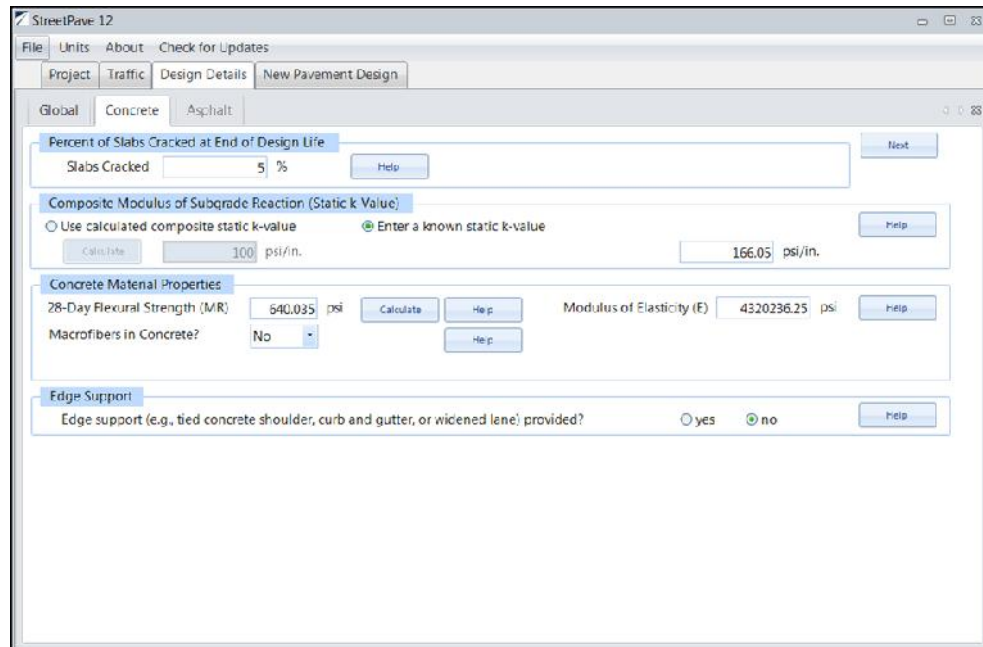
- Terminal Serviceability: 2.5
- Reliability: 85 %

Resilient Modulus of the Subgrade:

- Selected option: **Convert CBR or R-value to MRSB**
- Input value: 4,118 psi
- Alternative option: Input a known MRSB (4,118 psi)

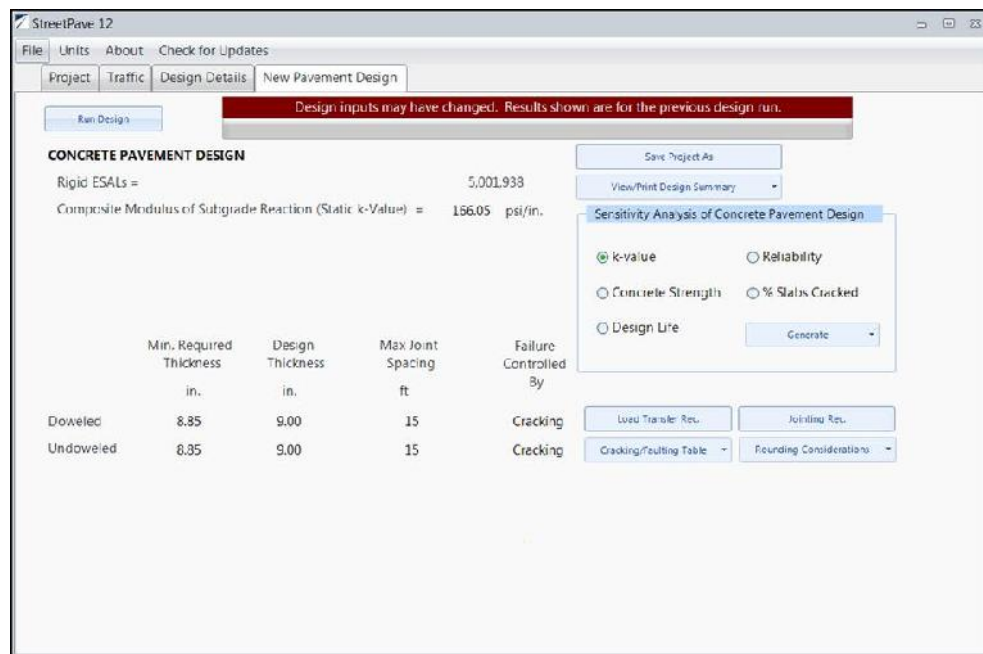
Fuente: Software StreetPave

Ilustración N°74. Datos detalles de diseño del concreto para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Medio)



Fuente: Software StreetPave

Ilustración N°75. Diseño del pavimento para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Medio)



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **8.85 pulg (22.48 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

- Frente

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°39. Parámetros de entrada tramo avenida Jaime Paz (Frente)

Tramo Avenida Jaime Paz	
Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.500
Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %
Vehículos pesados (gestión actual 2021)	75
Vehículos pesados (año de ejecución 1990)	13

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°76. Datos de tráfico para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Frente)

The screenshot shows the 'Traffic' tab in StreetPave 12. It includes sections for 'Traffic Category / Load Spectrum', 'Truck Traffic over the Pavement Design Life', and a table of traffic load data.

Traffic Category / Load Spectrum

Typical Traffic Spectrums

- Residential
- Collector
- Minor Arterial
- Major Arterial

ACI 330 Traffic Spectrums

- Category A
- Category B
- Category C
- Category D

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction): 75

Traffic Growth Rate: 5.88 % per year

Design Life: 35 years

Directional Distribution: 80 %

Design Lane Distribution: 50 %

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life: **93**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life: **1,190,292**

Traffic Category	Minor Arterial
Axle load, kips	Axes / 1000 trucks
Single Axles	
36	0.45
28	0.85
26	1.78
24	4.71
22	7.85
20	16.33
18	35.15
16	31.82
14	47.71
12	182.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	8.01
40	21.31
36	56.75
32	109.69
28	171.72
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°77. Datos detalles de diseño general para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Frente)

The screenshot shows the 'Design Details' tab in StreetPave 12, specifically the 'General Design Inputs' section.

General Design Inputs

Terminal Serviceability: 2.5

Reliability: 85 %

Resilient Modulus of the Subgrade

Convert CBR or R-value to MRSG

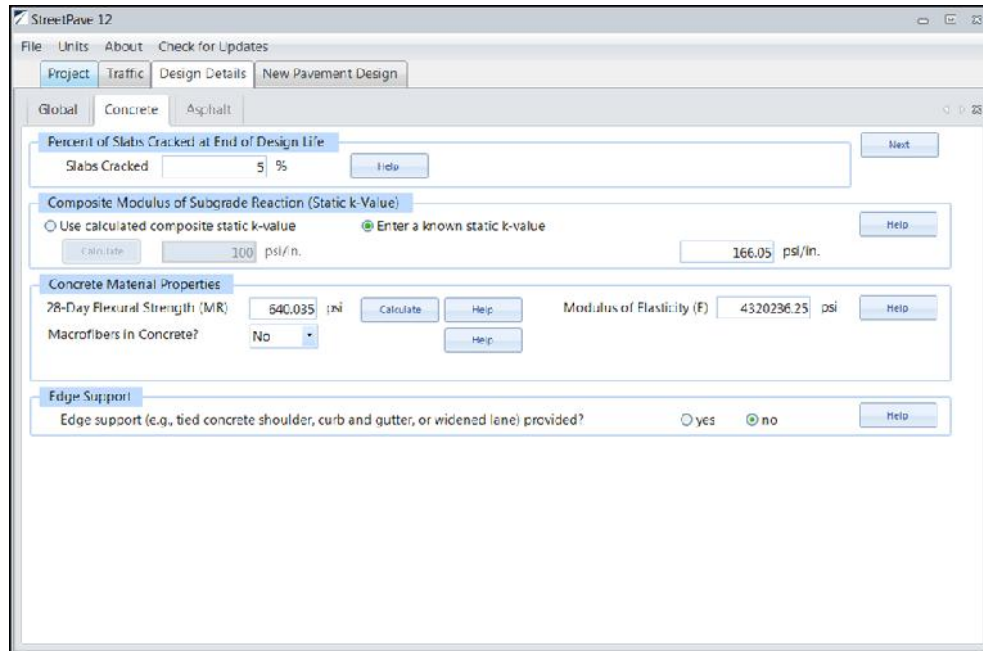
Input a known MRSG

Calculated MRSG: 4,118 psi

Input MRSG: 4,118 psi

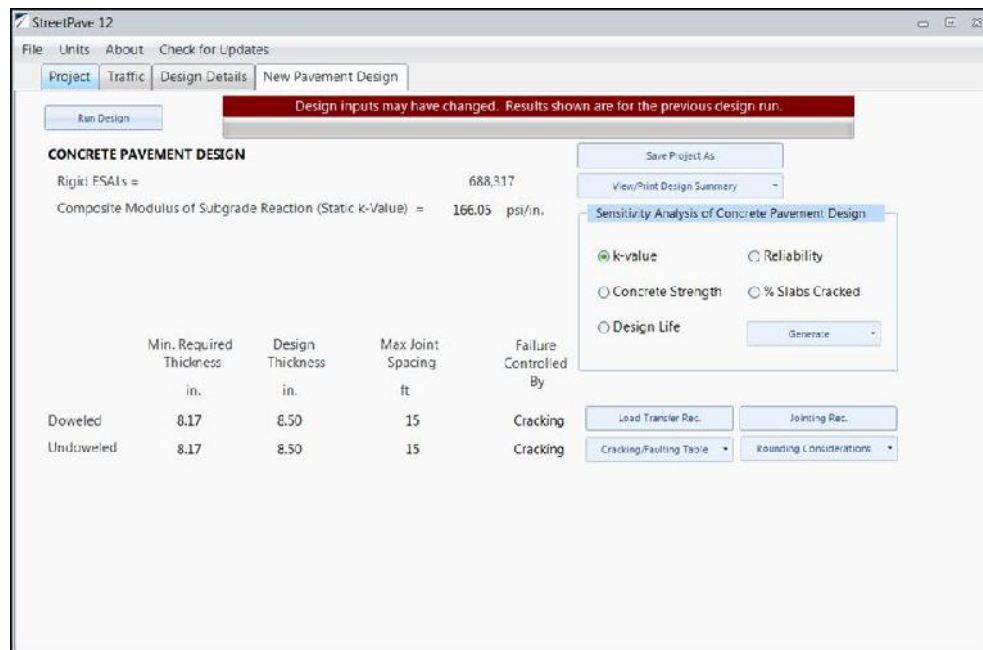
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°78. Datos detalles de diseño del concreto para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Frente)



Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°79. Diseño del pavimento para tramo avenida Jaime Paz Zamora (Frente)



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **8.17 pulg (20.75 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

3.5.4. Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora

Para este tramo ingresamos los datos de entrada que requiere el programa y mediante RUN *DESIGN* obtuvimos el espesor de la losa que calcula el programa.

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°40. Parámetros de entrada tramo calle Junín

Periodo de diseño	30 años
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.000
Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	202.210 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Índice de crecimiento	5.880 %
Vehículos pesados (gestión actual 2021)	75
Vehículos pesados (año de ejecución 2002)	26

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°80. Datos de tráfico para tramo calle Junín

Traffic Category / Load Spectrum

Typical Traffic Spectrums

- Residential
- Collector
- Minor Arterial
- Major Arterial

ACI 330 Traffic Spectrums

- Category A
- Category B
- Category C
- Category D

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction) **Calculate**

Traffic Growth Rate % per year **Help**

Design Life years **Help**

Directional Distribution % **Help**

Design Lane Distribution % **Help**

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life **186**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life **2,380,585**

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, kips	Axes / 1000 trucks
Single Axes	
30	0.45
28	0.85
26	1.78
24	5.21
22	7.83
20	16.39
18	25.15
16	31.82
14	47.78
12	182.02
Tandem Axes	
52	1.19
48	2.91
44	6.01
40	11.41
36	56.25
32	103.62
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axes (User Defined Only)	
70	0
64	0
60	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°81. Datos detalles de diseño general para tramo calle Junín

Global Concrete Asphalt

General Design Inputs

Terminal Serviceability **Help** Reliability % **Help**

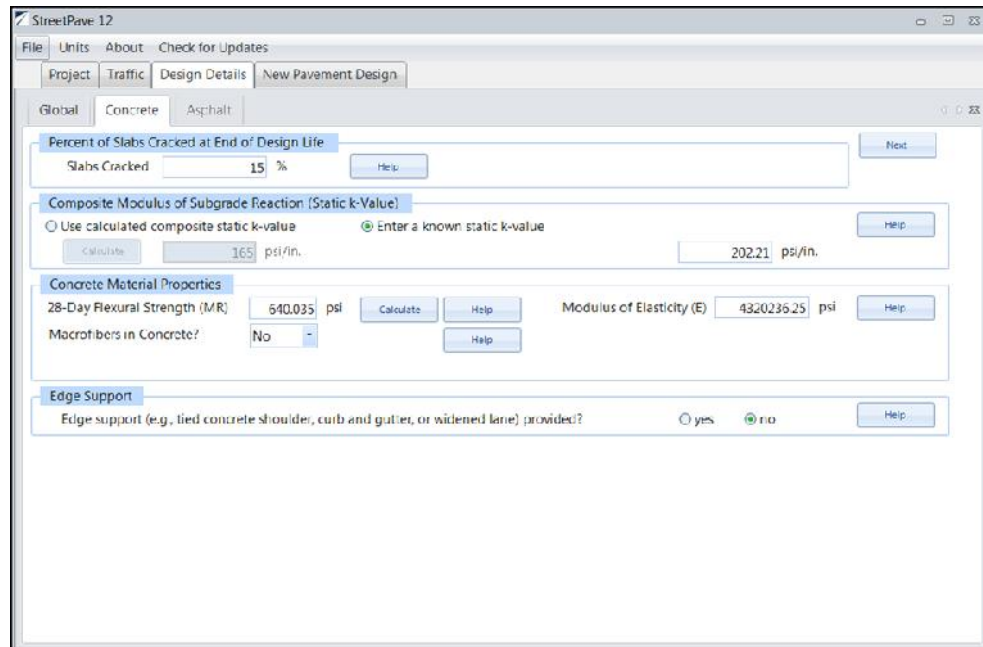
Resilient Modulus of the Subgrade

Convert CBR or R value to MRSG **Calculate** psi

Input a known MRSG **Help** psi

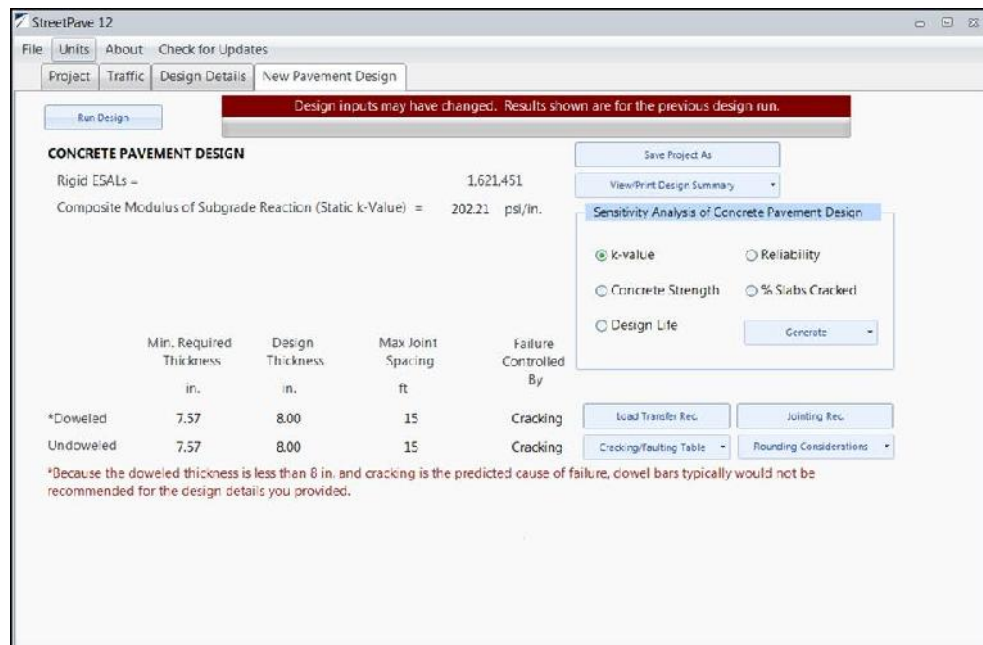
Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°82. Datos detalles de diseño del concreto para tramo calle Junín



Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°83. Diseño del pavimento para tramo calle Junín



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **7.57 pulg (19.23 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

3.5.5. Avenida Violín Chapaco Santa Ana y avenida Virgen de Chaguaya

Para este tramo no asfaltado, se diseñó para el sentido con mayor flujo vehicular de ambos sentidos de la avenida, se ingresaron los datos de entrada que requiere el programa y mediante *RUN DESIGN* con el cual se obtiene el espesor de la losa que calcula el programa.

Los datos que requiere el programa se muestran en la siguiente tabla:

Tabla N°41. Parámetros de entrada tramo avenida Violín Chapaco

Periodo de diseño	25 años
Serviciabilidad inicial	4.500
Serviciabilidad final	2.000
Confiabilidad	85%
Módulo de reacción de la subrasante	206.079 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
Vehículos pesados	9
Índice de crecimiento	5.880 %

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°84. Datos de tráfico para tramo avenida Violín Chapaco

Traffic Category / Load Spectrum

Typical Traffic Spectrums **ACI 330 Traffic Spectrums** **Help**

Residential Category A
 Collector Category B **Custom Traffic Spectrum**
 Minor Arterial Category C
 Major Arterial Category D

Truck Traffic over the Pavement Design Life

Trucks per Day (two-way, at time of construction) **Calculate**

Traffic Growth Rate % per year **Help**

Design Life years **Help**

Directional Distribution % **Help**

Design Lane Distribution % **Help**

Average Trucks per Day in Design Lane over the Design Life **8**

Total Trucks in Design Lane over the Design Life **70,934**

Traffic Category: Minor Arterial	
Axle load, Kips	Axes / 1000 trucks
Single Axles	
30	0.45
28	0.85
26	1.78
24	5.21
22	7.85
20	16.33
18	25.15
16	31.82
14	47.73
12	182.02
Tandem Axles	
52	1.19
48	2.91
44	8.01
40	21.31
36	56.25
32	103.63
28	121.22
24	72.54
20	85.94
16	99.34
Tridem Axles (User Defined Only)	
70	0
64	0
58	0
52	0
46	0
40	0
34	0
28	0
22	0
16	0

Fuente: Software StreetPave

IlustraciónN°85. Datos detalles de diseño general para tramo avenida Violín Chapaco

StreetPave 12

File Units About Check for Updates

Project Traffic **Design Details** New Pavement Design

Global Concrete Asphalt **Next**

General Design Inputs

Terminal Serviceability **Help** Reliability % **Help**

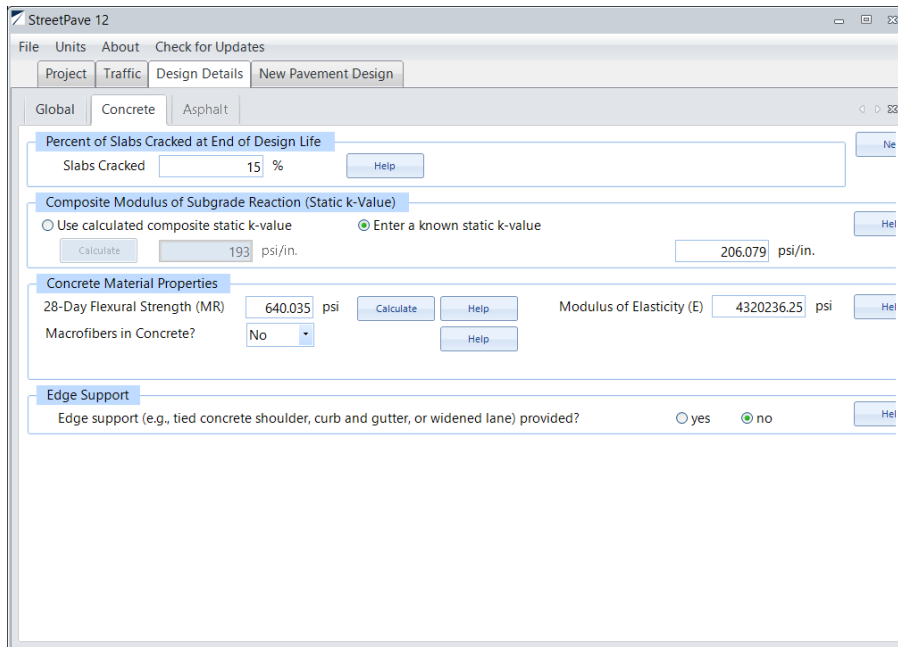
Resilient Modulus of the Subgrade

Convert CBR or R-value to MRSB Input a known MRSB **Help**

Calculate 10,594 psi 4,118 psi

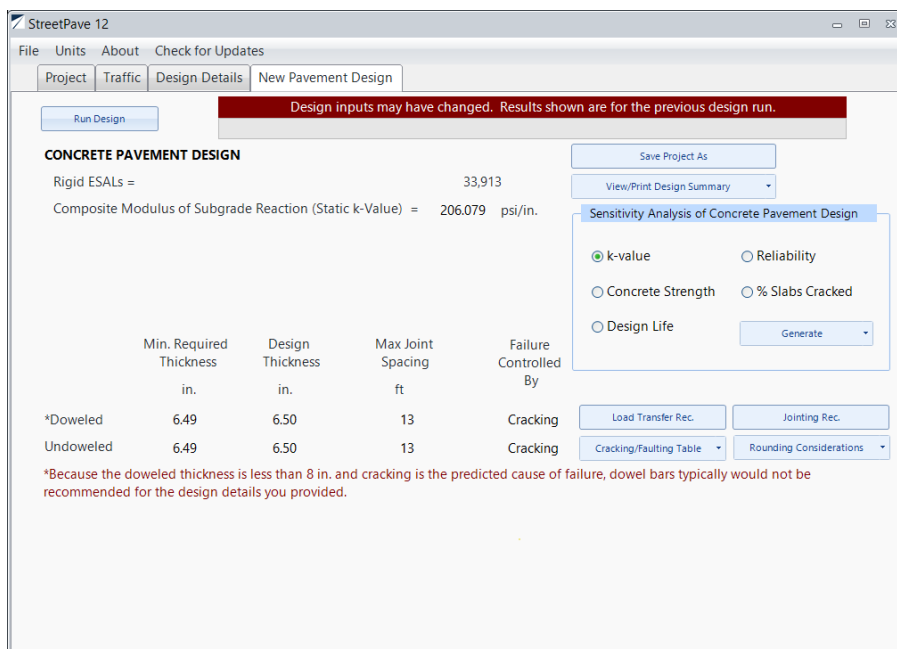
Fuente: Software StreetPave

Ilustración N°86. Datos detalles de diseño del concreto para tramo avenida Violín Chapaco



Fuente: Software StreetPave

Ilustración N°87. Diseño del pavimento para tramo avenida Violín Chapaco



Fuente: Software StreetPave

Se obtuvo un espesor de **6.49 pulg (16.48 cm)**, del cual se controló la falla por agrietamiento.

3.6. Método PCA

Para este método se procederá de igual manera, realizando el análisis en la gestión actual como en el año de ejecución en los cinco tramos para poder comparar los resultados obtenidos.

El método PCA consiste en realizar varias repeticiones iterativas con un espesor de losa dado hasta llegar al más óptimo que sería el espesor que tenga un porcentaje de fatiga y erosión menor a 100%.

Los datos de entrada son el módulo de rotura del hormigón, el módulo de reacción de la subrasante, el factor de seguridad, la carga por eje y las repeticiones esperadas.

En la columna 1 se coloca la carga por eje, para la columna 2 se calcula multiplicando la carga por eje por el factor de seguridad, en la columna 3 se ingresa las repeticiones esperadas que es el resultado del número de ESALs.

El procedimiento que se seguirá será de acuerdo a la tabla N°28

Para el análisis por fatiga se obtiene el valor del esfuerzo equivalente de tabla que se encuentra en el anexo 4.1, ingresando con el valor estimado del espesor de losa y el módulo de reacción de la subrasante. Se divide el esfuerzo equivalente entre el módulo de rotura obteniendo el factor de relación de esfuerzo. Ingresamos con la figura del anexo 4.2, con los datos de la columna 2 y el factor de relación de esfuerzo y obtenemos las repeticiones permisibles que se colocan en la columna 4. Dividimos la columna 3 entre la columna 4 y el resultado es el porcentaje de fatiga que se coloca en la columna 5.

Para el análisis de erosión se debe obtener el valor del factor de erosión de la tabla en el anexo 4.3, ingresando con el valor del espesor estimado y el módulo de reacción de la subrasante. Ingresamos con la figura del anexo 4.4, con los datos de la columna 2 y el factor de erosión y obtenemos las repeticiones permisibles e ingresamos en la columna 6. Dividimos la columna 3 entre la columna 6 y el resultado es el porcentaje de daño que se coloca en la columna 7.

Para el cálculo de los espesores se colocará el dimensionamiento del espesor de la presente gestión y el espesor del año de construcción se adjuntará en el anexo N° 4

Tabla N°42. Metodología de cálculo PCA

Carga por eje	Multiplicado FS	Rep. esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Rep. admisibles	Porcentaje de fatiga	Rep. admisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7

Fuente: Elaboración propia

3.6.1. Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil

Para este tramo se realizó dos cálculos ya que cuenta con dos carriles, una en dirección al Mástil y otra en dirección a la Torre.

- Dirección al Mástil

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°43. Parámetro de entrada para el tramo avenida circunvalación (Dirección mástil)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	184.500 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	25612436.700
W18 (año de ejecución 1998)	6989265.357

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **9 pulg**, (22.86 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 0% y un porcentaje de erosión de 94.86%, Estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo.

Tabla N°44. Cálculo para la metodología PCA para el tramo avenida circunvalación (Dirección mástil)

Esfuerzo equivalente:	208.41
Factor de relación de esfuerzos:	0.33
Factor de erosión:	2.65

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	22	25612436.700	Ilimitado	0	27000000	94.860

Fuente: Elaboración propia

Para la determinación de los factores se procede al cálculo como se indica en el anterior punto:

- El esfuerzo equivalente se determina de la siguiente tabla, a la cual se ingresa con el valor del espesor con el que se empieza a tantear y el módulo de reacción de la subrasante.

Ilustración N°88. Esfuerzo equivalente método PCA

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Fuente: Metodología PCA

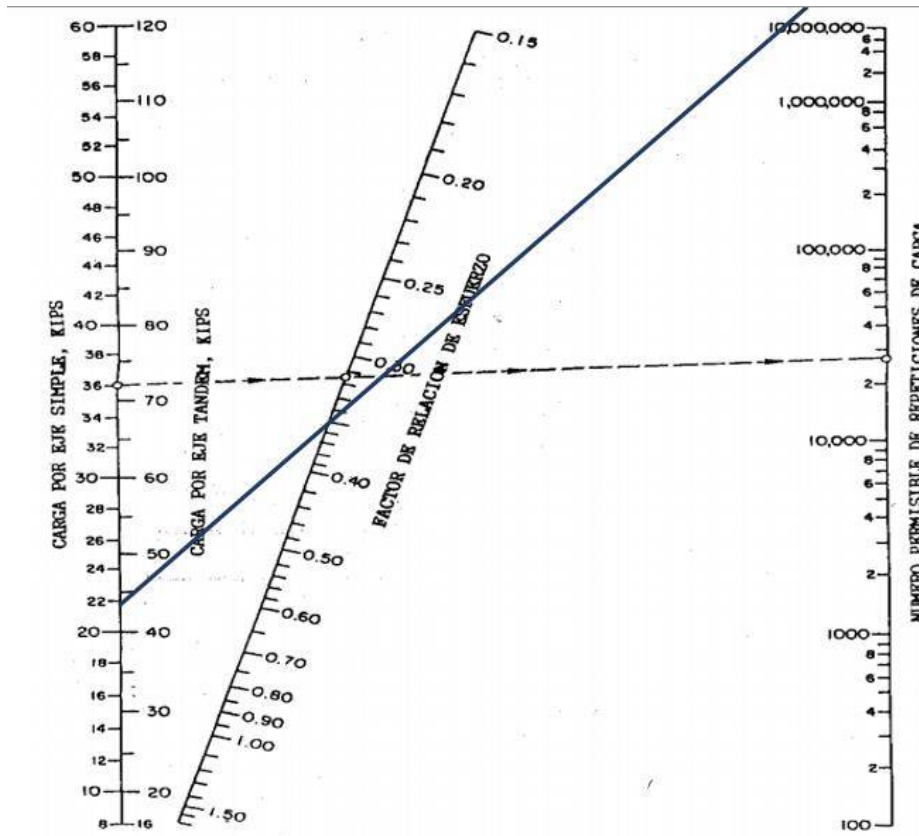
Con el esfuerzo equivalente que se calculó de la tabla se procede a determinar el factor de erosión que consiste en la división del esfuerzo equivalente con el módulo de reacción.

$$\text{Factor de relacion de esfuerzos} = \frac{\text{Esfuerzo equivalente}}{\text{Modulo de reaccion}}$$

$$\text{Factor de relacion de esfuerzos} = \frac{208.41}{184.50} = 0.330$$

Una vez calculado el factor de relación de esfuerzos se calculan las repeticiones esperadas para el análisis de fatiga, esto con la siguiente tabla a la cual se ingresa con el factor de erosión y la carga por eje.

Ilustración N°89. Gráfica para el número permisible de repeticiones por fatiga



Fuente: Metodología PCA

Como se ve en la gráfica el número de repeticiones admisible sobrepasa la línea con los valores así que se determina que las repeticiones admisibles serán ilimitadas para el análisis de fatiga.

Dado que las repeticiones admisibles son ilimitadas el porcentaje de fatiga llega a ser 0.

- Para la determinación del factor de erosión se lo calcula de la siguiente tabla a la cual se ingresa con el valor del espesor dado y el módulo de reacción de la subrasante, como se muestra a continuación:

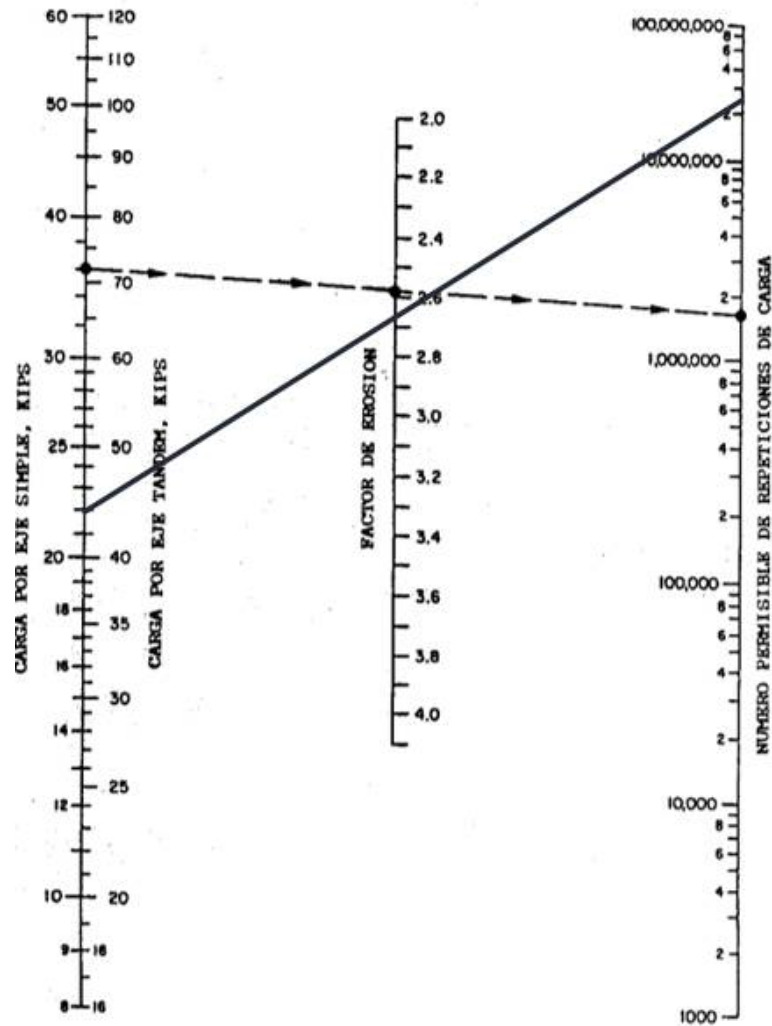
IlustraciónN°90. Factor de erosión método PCA

Espesor de losa (pulg.)	k de la subrasante - subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
4.5	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
5.5	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
6.5	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
7	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
7.5	2.93/3.14	2.91/3.06	2.88/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
8	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
8.5	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
9.5	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
10.5	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.54	2.41/2.51
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
11.5	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
12.5	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
13.5	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19

Fuente: Metodología PCA

Una vez determinado el factor de erosión se procede a calcular las repeticiones esperadas para el análisis de erosión las cuales se determinan de la siguiente grafica a la cual se ingresa con el factor de erosión y carga por eje.

Ilustración N°91. Grafica para el numero permisible de repeticiones por erosión



Fuente: Metodología PCA

De la gráfica se obtuvo que las repeticiones admisibles para el análisis de erosión son de 27000000. Con la cantidad de repeticiones admisibles se calcula el porcentaje de daño que se determina de la división entre las repeticiones y las repeticiones esperadas el cual nos da un valor de 94.86 %, cumpliendo con la condición de que los porcentajes de daño y fatiga deben ser menores al 100 % para un espesor de 9 pulgadas.

- Dirección a la torre

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°45. Parámetros de entrada para el tramo avenida circunvalación (Dirección la torre)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	184.500 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	28822791.654
W18 (año de ejecución 1998)	7871145.898

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **9.1 pulg**, (23.11 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 0% y un porcentaje de erosión de 99.39%, los porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo.

Tabla N°46. Cálculo para la metodología PCA para el tramo avenida circunvalación (Dirección la torre)

Esfuerzo equivalente:	205.350
Factor de relación de esfuerzos:	0.320
Factor de erosión:	2.640

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repetición es admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	22	28822791.650	Ilimitado	0	29000000	99.390

Fuente: Elaboración propia

3.6.2. Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija

Como este tramo cuenta con dos sentidos se diseñó para el sentido con mayor flujo vehicular.

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°47. Parámetros de entrada para el tramo ingreso a la terminal

Periodo de diseño	30 años
Factor de seguridad	1.20
Módulo de reacción de la subrasante	180.810 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	1652502.396
W18 (año de ejecución 2014)	1120586.488

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **7.5 pulg**, (19.05 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 43.49% y un porcentaje de erosión de 82.63%. estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo.

Tabla N°48. Calculo para la metodología PCA para el tramo ingreso a la terminal

Esfuerzo equivalente:	270.370
Factor de relación de esfuerzos:	0.420
Factor de erosión:	2.870

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	22	1652502.396	3800000	43.490	2000000	82.630

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla

Para este tramo se realizó tres cálculos correspondientes a cada carril, una en dirección al tejar, otra frente a la ex terminal y la tercera en la parte central de la propia avenida.

- Ex terminal

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°49. Parámetros de entrada para el tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	16976350.394
W18 (año de ejecución 1990)	376311.721

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **8.7 pulg.**, (22.10 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 0% y un porcentaje de erosión de 94.31%. Estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo.

Tabla N°50. Calculo para la metodología PCA para el tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)

Esfuerzo equivalente:	223.080
Factor de relación de esfuerzos:	0.350
Factor de erosión:	2.700

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	22	16976350.390	Ilimitado	0	18000000	94.310

Fuente: Elaboración propia

- Medio

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°51. Parámetro de entrada para el tramo avenida Jaime Paz (Medio)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	19856760.260
W18 (año de ejecución 1990)	3421155.185

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **8.8 pulg.** (22.35 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 0% y un porcentaje de erosión de 99.28%. estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo.

Tabla N°52. Calculo para la metodología PCA para el tramo avenida Jaime Paz (Medio)

Esfuerzo equivalente:	219.540
Factor de relación de esfuerzos:	0.340
Factor de erosión:	2.690

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repetición es admisibles	Porcentaje de fatiga	Repetición es admisibles	Porcentaje de daño
18	22	19856760.260	Ilimitado	0	20000000	99.280

Fuente: Elaboración propia

- Frente

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°53. Tabla 50. Parámetros de entrada para el tramo avenida Jaime Paz (Frente)

Periodo de diseño	35 años
Factor de seguridad	1.200
Módulo de reacción de la subrasante	166.050 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	2174576.935
W18 (año de ejecución 1990)	2932529.374

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **8 pulg**, (20.32 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 86.98% y un porcentaje de erosión de 43.49%. estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo

Tabla N°54. Cálculo para la metodología PCA para el tramo avenida Jaime Paz (Frente)

Esfuerzo equivalente:	250.830
Factor de relación de esfuerzos:	0.390
Factor de erosión:	2.810

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	22	2174576.935	2500000	86.980	5000000	43.490

Fuente: Elaboración propia

3.6.4. Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora

Para este tramo los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°55. Parámetros de entrada para la calle Junín

Periodo de diseño	30 años
Factor de seguridad	1.10
Módulo de reacción de la subrasante	202.210 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18 (gestión 2021)	2847387.801
W18 (año de ejecución 2002)	986740.732

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **7 pulg**, (17.78 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga igual a 71.18% y un porcentaje de erosión de 81.35%. estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo.

Tabla N°56. Calculo para la metodología PCA para la calle Junín

Esfuerzo equivalente:	291.540
Factor de relación de esfuerzos:	0.460
Factor de erosión:	2.970

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	20	2847387.801	4000000	71.180	3500000	81.350

Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Avenida Violín Chapaco entre Santa Ana y avenida Virgen de Chaguaya

Como este tramo cuenta con dos sentidos se diseñó para el sentido con mayor flujo vehicular.

Los datos que se ingresaron fueron los siguientes:

Tabla N°57. Parámetros de entrada para la avenida Violín Chapaco

Periodo de diseño	25 años
Factor de seguridad	1.100
Módulo de reacción de la subrasante	206.079 pci
Módulo de rotura	640.035 psi
W18	374843.750

Fuente: Elaboración propia

Se calculó para un espesor de **7.0 pulg**, (17.78 cm) con el que se obtuvo un porcentaje de fatiga de 93.71% y un porcentaje de erosión de 10.71%. estos porcentajes siendo menores al 100% cumplen con las condiciones dando así un espesor óptimo

Tabla N°58. Cálculo para la metodología PCA para la avenida Violín Chapaco

Esfuerzo equivalente:	290.720
Factor de relación de esfuerzos:	0.450
Factor de erosión:	2.970

Carga por eje	Multiplicado FS	Repeticiones esperadas	Análisis de fatiga		Análisis de erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
18	22	374843.750	400000	93.710	3500000	9.370

Fuente: Elaboración propia

3.7. Software DIPAV (Metodología AASHTO)

Para complementar el análisis de resultados se vio conveniente añadir el diseño de un programa basado en la metodología AASHTO, por lo cual se introdujo el programa DIPAV.

Para así tener un espesor más de comparación en los dos tiempos de diseño, para el espesor de la presente gestión se presentará el cálculo y para el año de construcción de adjuntará el cálculo en el anexo N° 10

3.7.1. Avenida circunvalación entre avenida Froilán Tejerina hasta mástil

Para este tramo se realizó dos cálculos, correspondiente a cada carril una en dirección al Mástil y otra en dirección a la Torre.

- Dirección al Mástil

IlustraciónN°92. Análisis de cálculo del software DIPAV para la avenida circunvalación (Dirección mástil)

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The window title is "DIPAV 2.3". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window is titled "Circunvalacion - mastil" and has several tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Baras de Amare", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Rígido" tab is active, displaying a list of input parameters and their values:

Parámetro	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (F _o)	4.5	
Serviciabilidad Final (P _t)	2.5	
Módulo de Rotura del Homigón (S' _c)(MPa) - (psi)	4.41	MPa
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32	MPa
Ceficiente de Drenaje (C _d)	1.1	
Ceficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	50.08	kPa/mm
Confiabilidad (R)(%)	85	
Desviación Estándar (S _o)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	25,612,436.7	
Espesor de Losa (mm)	246	

At the bottom of the form, there are two radio buttons: "Espesor" (selected) and "ESALs". Next to "Espesor" is a "Calcular" button, and next to "ESALs" is a "Borrar todo" button. A "Calcular ESALs" button is also present on the right side of the form.

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 24.600 cm.

- Dirección a la torre

IlustraciónN°93. Análisis de cálculo del software DIPAV para la avenida circunvalación (Dirección mástil)

Parámetro	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5	
Módulo de Rotura del Hormigón (S'c)(MPa) - (psi)	4.41	MPa / psi
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32	MPa / psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	50.08	kPa/mm / pci
Confianza (R)(%)	85	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	28,822,791.654	
Espesor de Losa (mm)	251	

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 25.100 cm.

3.6.2. Ingreso a la nueva terminal de la ciudad de Tarija

IlustraciónN°94. Análisis de cálculo del software DIPAV para el ingreso a la terminal

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The window title is "DIPAV 2.3". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window has tabs for "Circunvalacion - mastil", "Circunvalacion Torre", and "Nueva terminal". Below the tabs are sub-tabs: "Rigido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amare", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Rigido" sub-tab is active, displaying a form with the following fields and values:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5
Módulo de Rotura del Homigón (S ^c)(MPa) - (psi)	4.41 MPa <=== 640.035 psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32 MPa <=== 3,483,563.22 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	49.08 kPa/mm <=== 180.81 pci ...
Confiabledad (R)(%)	85
Desviación Estándar (So)	0.35
Número de Ejes Equivalentes ESALs	1.652.502.396
Espesor de Losa (mm)	150

At the bottom left, there are radio buttons for "Espesor" (selected) and "ESALs". A "Calcular" button is next to "Espesor", and a "Borrar todo" button is next to "ESALs". A "Calcular ESALs" button is located at the bottom right of the form area.

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 15 cm.

3.6.3. Avenida Jaime Paz Zamora entre avenida España y calle Padilla

Para este tramo se realizó tres cálculos que corresponden uno para cada carril, una en dirección al tejar, otra al frente de la ex terminal y la avenida del medio;

- Ex terminal

IlustraciónN°95. Análisis de cálculo del software DIPAV para la avenida Jaime Paz (Ex terminal)

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The window title is "DIPAV 2.3". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window has several tabs: "Circunvalacion - mastil", "Circunvalacion Torre", "Nueva terminal", "Avenida Jaime Paz Frente", "Avenida Jaime Paz Medio", and "Avenida Jaima Paz al Teja". Below the tabs is a sub-menu with "Rigido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barra de Amarre", "Reservorio de Jurtas", and "Gráfico". The main area contains a list of input parameters with text boxes and buttons:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5		
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5		
Módulo de Rotura del Hormigón (S ^c)(MPa) - (psi)	4.41	MPa <===	640.035 psi
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32	MPa <===	3,483,563.22 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1		
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7		
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	45.07	kPa/mm <===	166.05 pci
Confianza (R)(%)	85		
Desviación Estándar (So)	0.35		
Número de Ejes Equivalentes ESALs	16,976,350.394		
Espesor de Losa (mm)	232		

At the bottom left, there are radio buttons for "Espesor" (selected) and "ESALs". A "Calcular" button is next to "Espesor", and a "Borrar todo" button is next to "ESALs". A "Calcular ESALs" button is located to the right of the "Número de Ejes Equivalentes ESALs" field.

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 23.200 cm.

- Medio

Ilustración N°96. Análisis de cálculo del software DIPAV para la avenida Jaime Paz (Medio)

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The main window displays the following data entry fields:

Parameter	Value	Unit	Conversion	Value	Unit
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5				
Serviciabilidad Final (Pt)	2.5				
Módulo de Rotura del Homigón (S _c)(MPa) - (psi)	4.41	MPa	<===	640.035	psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32	MPa	<===	3,483,563.22	psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1				
Coefficiente de Transferencia de Cargas (I)	2.7				
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	45.07	kPa/mm	<===	166.05	pci
Confiability (R)(%)	85				
Desviación Estándar (So)	0.35				
Número de Ejes Equivalentes ESALs	19,056,760.260				
Espesor de Losa (mm)	238				

At the bottom of the interface, there are two radio buttons: Espesor and ESALs. The 'Calcular' button is highlighted in blue, and the 'Borrar todo' button is visible.

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 23.800 cm.

- Frente

IlustraciónN°97. Análisis de cálculo del software DIPAV para la avenida Jaime Paz(Frente)

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The window title is "DIPAV 2.3". The menu bar includes "Archivo", "Herramientas", "Proyecto", and "Ayuda". The toolbar contains icons for file operations and help. The main window has a tabbed interface with the following tabs: "Circunvalacion - mastil", "Circunvalacion Torre", "Nueva terminal", and "Avenida Jaime Paz Frente". Below the tabs are sub-tabs: "Rígido", "Módulo", "ESALs", "Información Adicional", "Barras de Amare", "Reservorio de Juntas", and "Gráfico". The "Información Adicional" sub-tab is active, displaying a form with the following fields and values:

Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5
Serviciabilidad Final (Pf)	2.5
Módulo de Rotura del Homigón (S _c)(MPa) - (psi)	4.41 MPa <=== 640.035 psi
Módulo de Elasticidad del Homigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32 MPa <=== 3,483,563.22 psi
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	45.07 kPa/mm <=== 166.05 pci ...
Confiabilidad (R)(%)	85
Desviación Estándar (So)	0.35
Número de Ejes Equivalentes ESALs	2,174,576.935
Espesor de Losa (mm)	161

At the bottom left, there are radio buttons for "Espesor" (selected) and "ESALs". A "Calcular" button is next to the "Espesor" radio button, and a "Borrar todo" button is next to the "ESALs" radio button.

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 16.100 cm.

3.6.4. Calle Junín entre avenida Potosí y Andrés Zamora

Ilustración N°98. Análisis de cálculo del software DIPAV para la calle Junín

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface. The window title is 'DIPAV 2.3'. The menu bar includes 'Archivo', 'Herramientas', 'Proyecto', and 'Ayuda'. The toolbar contains icons for file operations and help. The project name 'Junin' is displayed in the top right. The 'Rígido' tab is selected, and the 'Junin' project is active. The main area contains a form with the following fields and values:

Parameter	Value	Unit
Serviciabilidad Inicial (Po)	4.5	
Serviciabilidad Final (Pt)	2	
Módulo de Rotura del Hormigón (S _c)(MPa) - (psi)	4.41	MPa
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32	MPa
Coefficiente de Drenaje (Cd)	1.1	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	54.89	kPa/mm
Confiability (R)(%)	85	
Desviación Estándar (So)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	2,847,387.801	
Espesor de Losa (mm)	160	

At the bottom left, there are two radio buttons: 'Espesor' (selected) and 'ESALs'. A 'Calcular' button is next to 'Espesor', and a 'Borrar todo' button is next to 'ESALs'. A 'Calcular ESALs' button is located to the right of the 'Número de Ejes Equivalentes ESALs' field.

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 16 cm.

3.6.5. Avenida Violín Chapaco entre Santa Ana y avenida Virgen de Chaguaya

IlustraciónN°99. Análisis de cálculo del software DIPAV para la avenida Violín Chapaco

The screenshot shows the DIPAV 2.3 software interface with the following input parameters and values:

Parámetro	Valor	Unidad
Serviciabilidad Inicial (P_o)	4.5	
Serviciabilidad Final (P_t)	2	
Módulo de Rotura del Hormigón (S_c)(MPa) - (psi)	4.41	MPa
Módulo de Elasticidad del Hormigón (E)(MPa) - (psi)	24,018.32	MPa
Coefficiente de Drenaje (C_d)	1.1	
Coefficiente de Transferencia de Cargas (J)	2.7	
Módulo Efectivo de Reacción de la Subrasante (k)(kPa/mm) - (pci)	55.94	kPa/mm
Confianza (R)(%)	85	
Desviación Estándar (S_o)	0.35	
Número de Ejes Equivalentes ESALs	374,843.75	
Espesor de Losa (mm)	104	

Buttons: **Calcular** (selected), **Borrar todo**, **Calcular ESALs**, **Cerrar**

Fuente: Software DIPAV

Con el software DIPAV se obtuvo un espesor de 10.400 cm.

3.7. Resultados

Tabla N°59. Espesores de pavimento con el software PCA cálculo

Software PCA cálculo			
Tramo		Espesor (cm) gestión actual	Espesor (cm) año de ejecución
Avenida circunvalación	Dirección mástil	24	22
	Dirección la torre	24	22
Ingreso a la nueva terminal		22	21
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	23	22
	Medio	24	22
	Frente	22	21
Calle Junín		20	20
Avenida Violín Chapaco		19	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°60. Espesores de pavimento con el software StreetPave

Software STREETPAVE			
Tramo		Espesor (cm) gestión actual	Espesor (cm) año de ejecución
Avenida circunvalación	Dirección mástil	23	22
	Dirección la torre	23	22
Ingreso a la nueva terminal		21	20
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	23	22
	Medio	23	22
	Frente	21	20
Calle Junín		20	19
Avenida Violín Chapaco		17	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°61. Espesores de pavimento con la metodología PCA

Método PCA			
Tramo		Espesor (cm) gestión actual	Espesor (cm) año de ejecución
Avenida circunvalación	Dirección mástil	23	21
	Dirección la torre	24	21
Ingreso a la nueva terminal		20	20
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	23	20
	Medio	23	21
	Frente	21	20
Calle Junín		18	17
Avenida Violín Chapaco		18	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°62. Espesores de pavimento con el software DIPAV

Software DIPAV			
Tramo		Espesor (cm) gestión actual	Espesor (cm) año de ejecución
Avenida circunvalación	Dirección mástil	25	20
	Dirección la torre	26	21
Ingreso a la nueva terminal		16	14
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	24	17
	Medio	24	18
	Frente	17	12
Calle Junín		17	13
Avenida Violín Chapaco		11	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°63. Espesores reales

Espesores reales		
Tramo		Espesor (cm)
Avenida circunvalación	Dirección mástil	20
	Dirección la torre	20
Ingreso a la nueva terminal		25
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	22
	Medio	22
	Frente	22
Calle Junín		20

Fuente: Elaboración propia

3.8. Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se tomará en cuenta tres parámetros.

3.8.1. Análisis de parámetros de entrada

Los parámetros de entrada que requieren las cuatro metodologías con las cuales se calculó son las siguientes:

Tabla N°64. Parámetros de entrada software DIPAV

Parámetros de entrada	PCA calculo	StreetPave	PCA (método manual)	DIPAV
Periodo de diseño	X	X	X	X
Ejes equivalentes	X		X	
Factor de seguridad	X		X	
Serviciabilidad inicial		X		X
Serviciabilidad final		X		X
Confiabilidad		X		X
Módulo de reacción de la subrasante	X	X	X	X
Módulo de rotura	X	X	X	X
Vehículos pesados		X		
Índice de crecimiento		X		
Desviación estándar				X

Coeficiente de drenaje				X
Coeficiente de transferencias de carga				X

Fuente: Elaboración propia

Para los dos softwares que se están comparando, se tienen valores de entrada que son iguales para ambos, los cuales son:

- Periodo de diseño
- Módulo de reacción de la subrasante
- Módulo de rotura

Para los valores de entrada en los cuales se diferencian los dos softwares son:

El software PCA requiere un factor de seguridad que mayorar las cargas de los vehículos que transitan por el tramo en diseño, en cambio el software StreetPave no mayorar las cargas de los vehículos y solo toma en cuenta los vehículos pesados; así también el software StreetPave requiere valores como ser la serviciabilidad y la confiabilidad, los cuales son factores nuevos a la metodología en la cual se basan ambos softwares. En cuanto a la metodología manual de la PCA y el software PCA cálculo, requieren los mismos datos de entrada.

Por otra parte, el software DIPAV que calcula con la metodología AASHTO, que se usa en los diseños de nuestra región, utiliza más datos de entrada que los softwares PCA cálculo y StreetPave.

Con el software PCA cálculo se diferencia mucho más ya que el DIPAV usa seis datos de entrada más y tampoco usa factores de seguridad para aumentar las cargas del tránsito. Los parámetros en los cuales coincide son el módulo de rotura, módulo de reacción de la subrasante y los ejes equivalentes.

Con el software StreetPave también se diferencia ya que el software DIPAV tiene más datos de entrada, como son el coeficiente de drenaje, desviación estándar y coeficiente de transferencia de cargas y los ejes equivalentes. Aunque coincide en más parámetros de entrada con el software DIPAV que este con el PCA cálculo.

3.8.2. Análisis de procedimiento

En cuanto al PCA cálculo, es un programa que consiste en iterar hasta encontrar el espesor de losa más óptimo basándose en el porcentaje de erosión y de fatiga. Usa un procedimiento sencillo porque solo contiene una hoja para colocar los parámetros de entrada y calcula de acuerdo al espesor con el cual se itere.

El programa StreetPave posee un procedimiento más extenso, ya que cuenta con tres ventanas más que el PCA cálculo, lo cual hace que su procedimiento de iteración sea más complejo y dé como resultado un espesor fiable respecto a los parámetros de entrada; entre estos podemos colocar de manera manual el módulo de reacción de la subrasante o colocar la opción que sea calculado por el mismo programa. Una de las mayores ventajas del StreetPave es que nos proporciona directamente el espesor de diseño de acuerdo a los datos y no es necesario buscar uno adecuado como en el programa PCA cálculo.

Ahora, analizando la metodología manual PCA, denotamos que el tiempo necesario para sus resultados finales tiene una variación considerable, de acuerdo al número de iteraciones para tener un espesor óptimo de diseño; a su vez el porcentaje de errores del procedimiento es mayor a la metodología del programa debido al error de paralaje, de acuerdo a la persona que visualice las gráficas y tome la decisión de que valor asumir al momento de introducir a la tabla requerida. Tras este análisis confirmamos que la metodología manual PCA y el programa PCA cálculo necesitan la búsqueda manual de los espesores para un resultado final óptimo.

El programa DIPAV tiene un procedimiento sencillo para su uso; cuenta con una ventana de introducción de datos en la cual se puede seleccionar el sistema de unidades. En esa misma ventana nos arroja el resultado final en el sistema internacional (mm).

3.8.3. Análisis de resultados

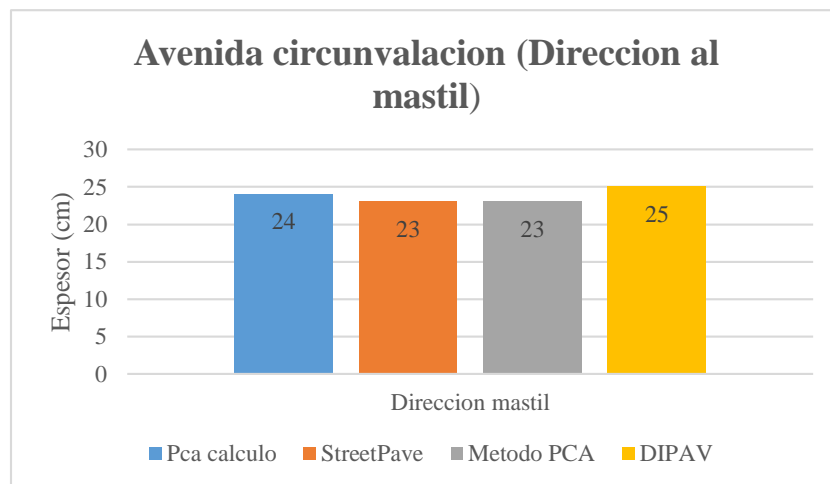
Para nuestro análisis de resultados, compararemos los espesores finales de cada programa, en sus dos tiempos de análisis, presente gestión y año de ejecución, resumidos en las siguientes ilustraciones, de acuerdo a cada tramo seleccionado para su estudio. Así también se hará un análisis de los resultados de valores extremos.

3.8.3.1. Análisis de resultados para la presente gestión

- **Tramo N°1: Avenida circunvalación**

Carril 1, con dirección al mástil

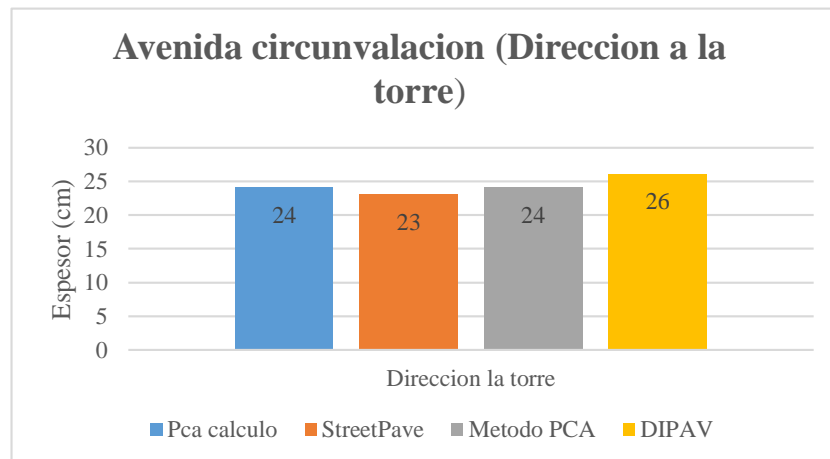
IlustraciónN°100.Espesores para el tramo avenida circunvalación (Dirección mástil)



Fuente: Elaboración propia

Carril 2, con dirección a la torre

IlustraciónN°101.Espesores para el tramo avenida circunvalación (Dirección la torre)

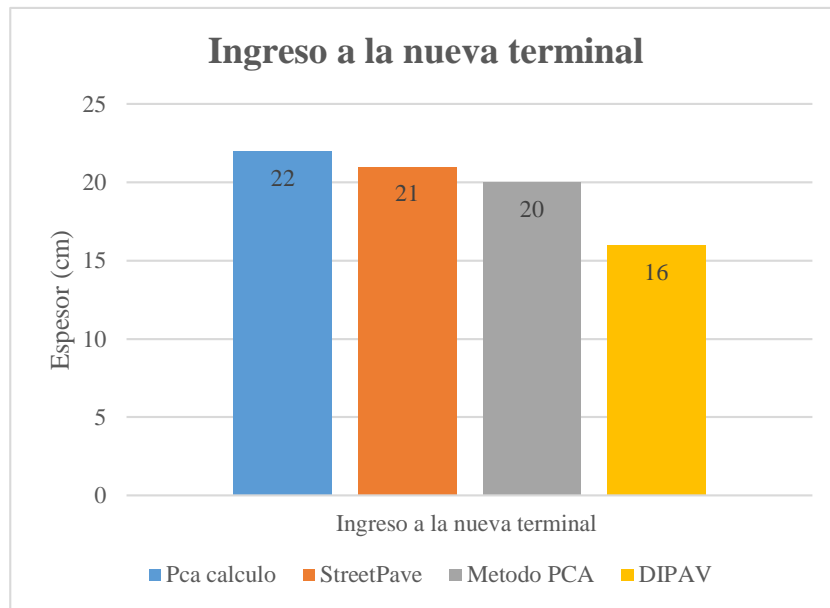


Fuente: Elaboración propia

En el tramo de la avenida circunvalación observamos que los espesores arrojados por los programas PCA cálculo y StreetPave son similares entre sí en ambos carriles, teniendo una variación de 1 cm lo cual se debe a que el programa StreetPave solo considera la cantidad de tráfico pesado, aunque tal variación no es mucho si esto también lo analizamos con el método manual PCA, ya que nos arroja un valor parecido al de sus programas computacionales.

- **Tramo N°2: Ingreso a la nueva terminal**

IlustraciónN°102.Espesores para el tramo ingreso a la nueva terminal

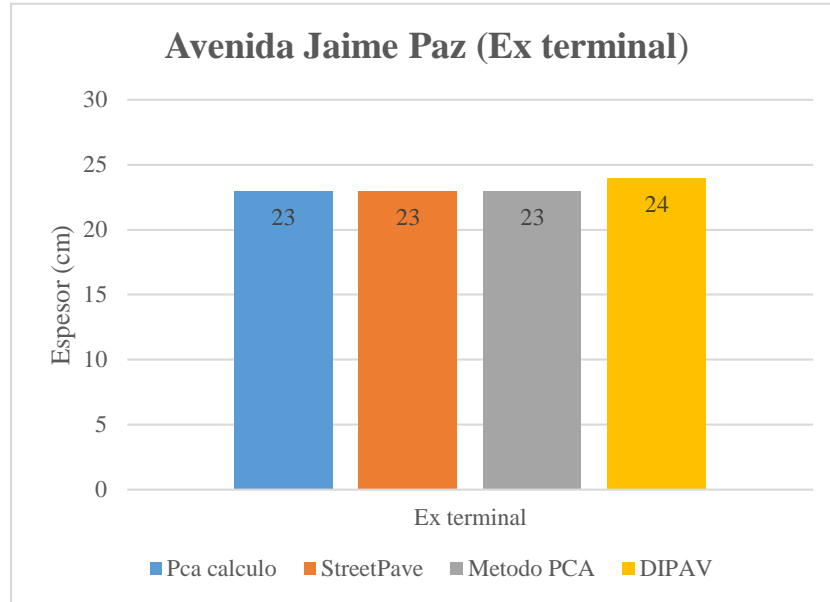


Fuente: Elaboración propia

Analizando los espesores finales de los programas del ingreso a la nueva terminal, observamos que los espesores del PCA cálculo, StreetPave y el método manual PCA nos arrojan resultados parecidos, mientras el DIPAV nos da un espesor de 16 cm variando 5 grados en un promedio 21 cm. Lo cual nos hace pensar en los motivos de esta variación; y reanalizando los datos de entrada y procesamiento, el valor del volumen de tráfico es el que sobresale. Donde a menor tráfico mayor variación en el programa DIPAV ya que este no utiliza factores de seguridad en la multiplicación de los ejes equivalentes, los cuales están basados en el volumen de tráfico.

- **Tramo N°3: Avenida Jaime Paz**
Carril 1, dirección a la UAJMS

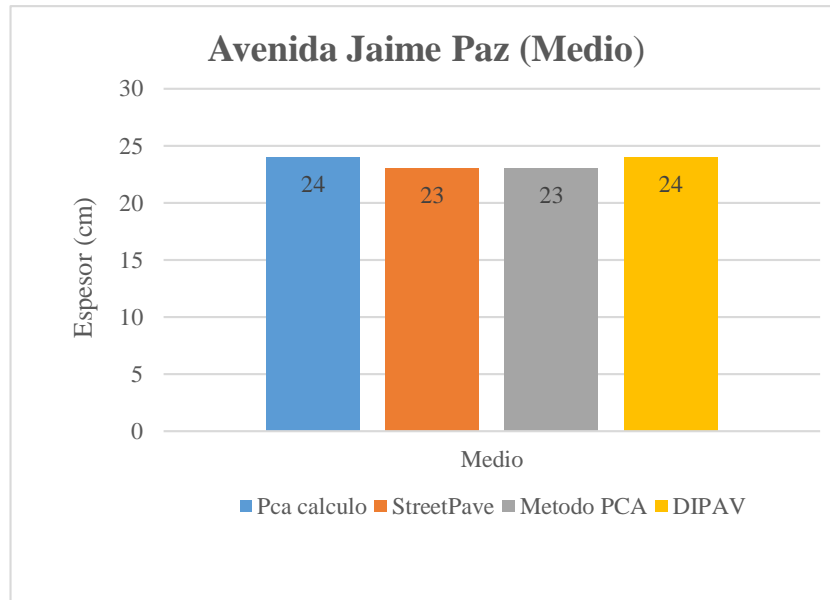
IlustraciónN°103.Espesores para el tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)



Fuente: Elaboración propia

Carril 2, carril central

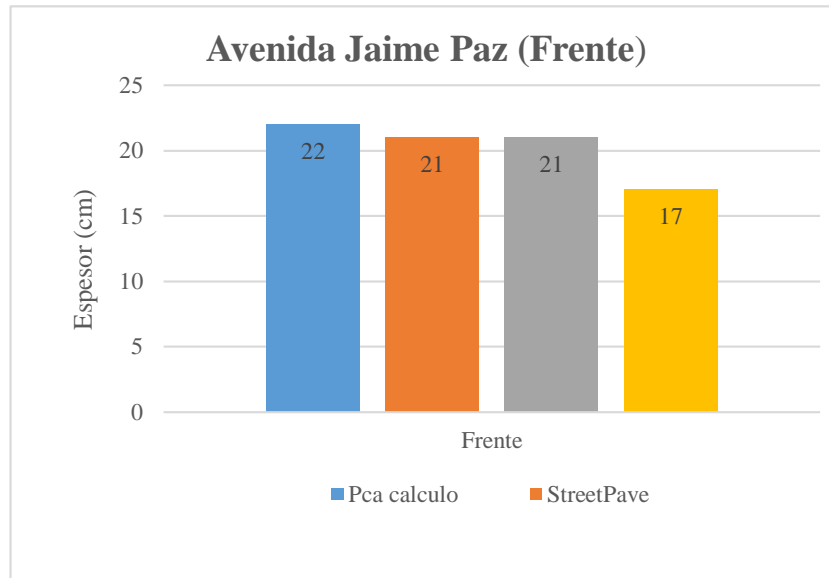
IlustraciónN°104.Espesores para el tramo avenida Jaime Paz (Medio)



Fuente: Elaboración propia

Carril 3, con ambas direcciones

IlustraciónN°105.Espesores para el tramo avenida Jaime Paz (Frente)

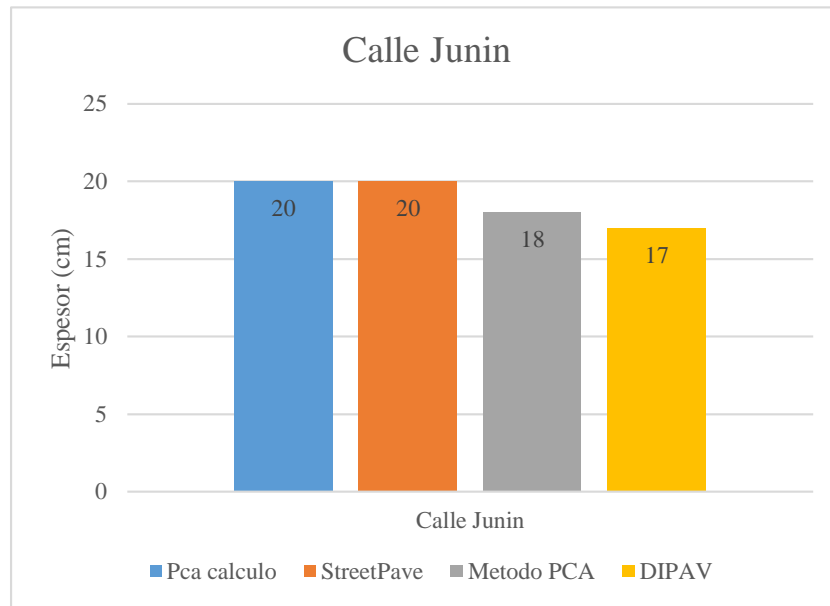


Fuente: Elaboración propia

Para analizar este tramo tomaremos en cuenta dos perspectivas, la primera será para los carriles con una sola dirección, correspondientes a los que cuentan con mayor volumen de tráfico y parecidos entre sí; estos al igual que en la avenida circunvalación no tiene gran variación de espesores entre los softwares PCA caculo, StreetPave y su método manual PCA, pero si varia 1 cm en el software DIPAV, contrario al carril que posee ambas direcciones, lo que nos lleva a la segunda perspectiva; en esta observamos que la variación del programa DIPAV es mayor y esto se debe a que su volumen de tráfico tiene gran variación respecto a los otros carriles, aunque para este se consideró la dirección con mayor volumen no fue suficiente para corresponder a los espesores de sus paralelos.

- **Tramo N°4: Calle Junín**

IlustraciónN°106.Espesores para el tramo calle Junín

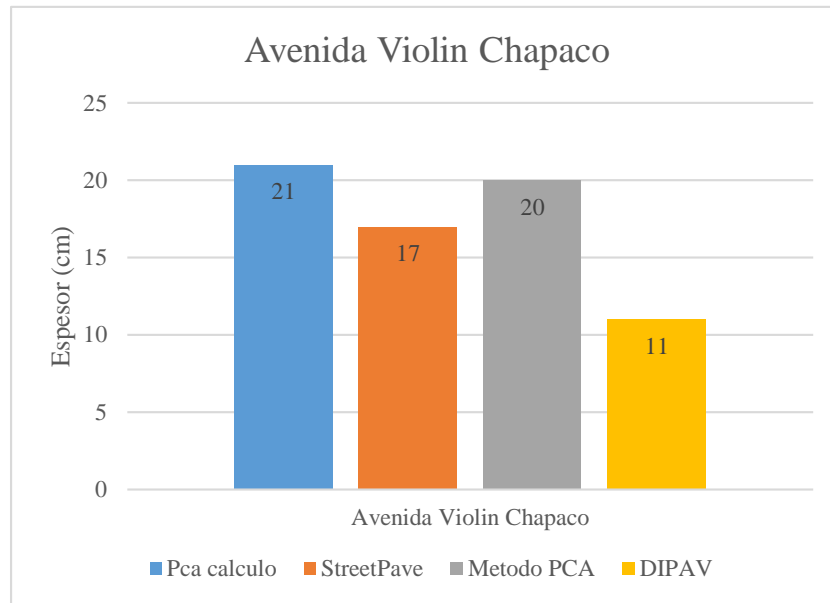


Fuente: Elaboración propia

Los programas PCA cálculo y StreetPave poseen espesores iguales, mientras el método manual PCA tiene un espesor menor, lo cual no varía y esto puede deberse al error de paralaje realizado por el autor del proyecto, mientras la variación del DIPAV se debe al factor de seguridad implementado en los otros cálculos y no este programa.

- **Tramo N°5: Avenida violín Chapaco**

IlustraciónN°107.Espesores para el tramo avenida Violín Chapaco



Fuente: Elaboración propia

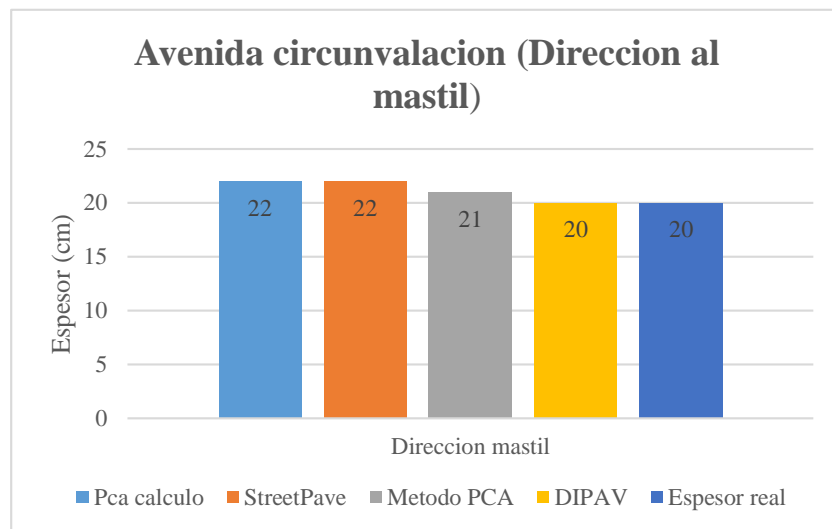
Valorando los espesores, a simple vista observamos que el método manual PCA y el PCA cálculo tienen una variación mínima, mientras la comparación con el StreetPave es considerable, esto se debe a la baja cantidad de tráfico pesado, tipo vehicular que considera el programa; y si analizamos el DIPAV ese valor solo se reduce, por el hecho que el tráfico general en esta avenida es demasiado bajo, con un aproximado de 30 veh/día de acuerdo a los aforos realizados.

3.8.3. Análisis de resultados para el año de ejecución

Para nuestro análisis de resultados, compararemos los espesores finales de cada programa, resumidos en las siguientes ilustraciones, de acuerdo a cada tramo seleccionado para su estudio.

- **Tramo N°1: Avenida circunvalación
Carril 1, con dirección al mástil**

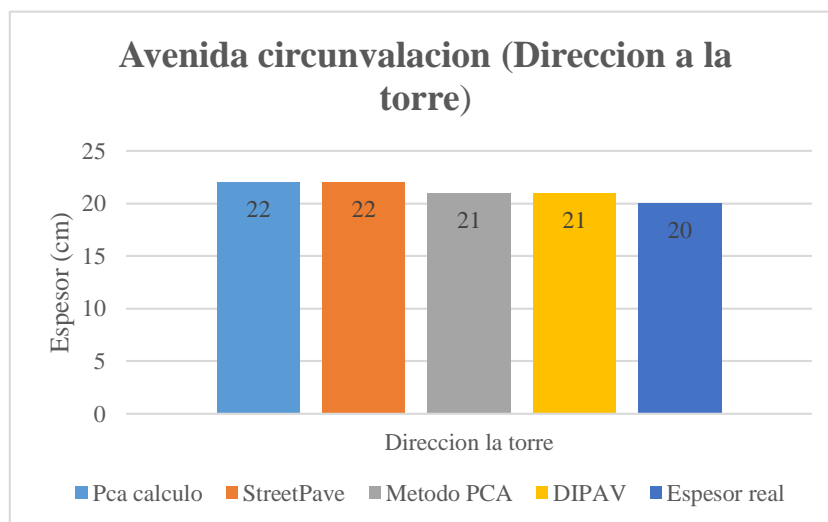
IlustraciónN°108.Espesores para el tramo avenida circunvalación (Dirección mástil)



Fuente: Elaboración propia

Carril 2, con dirección a la torre

IlustraciónN°109.Espesores para el tramo avenida circunvalación (Dirección la torre)

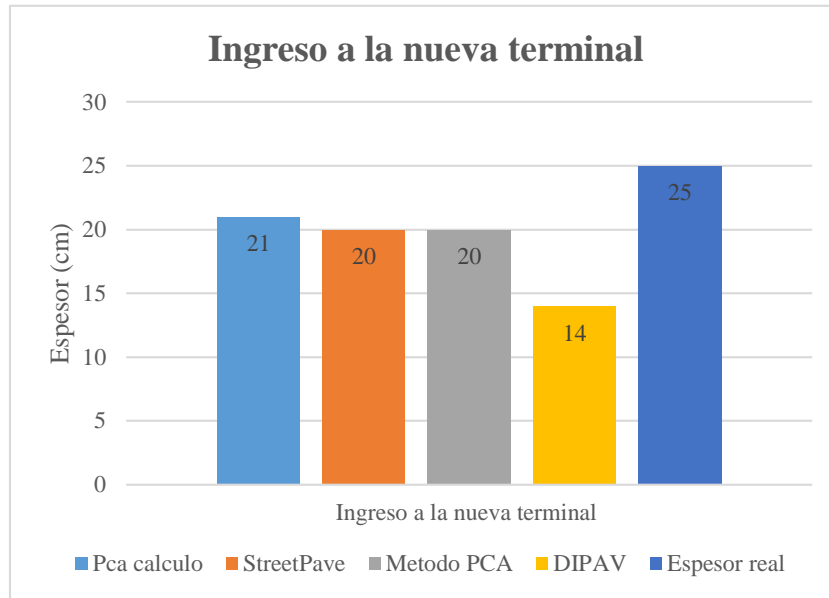


Fuente: Elaboración propia

En el tramo de la avenida circunvalación observamos que los espesores arrojados por el programa DIPAV, es el más relacionado al espesor real en ambos carriles

Tramo N°2: Ingreso a la nueva terminal

Ilustración N°110. Espesores para el tramo ingreso a la nueva terminal

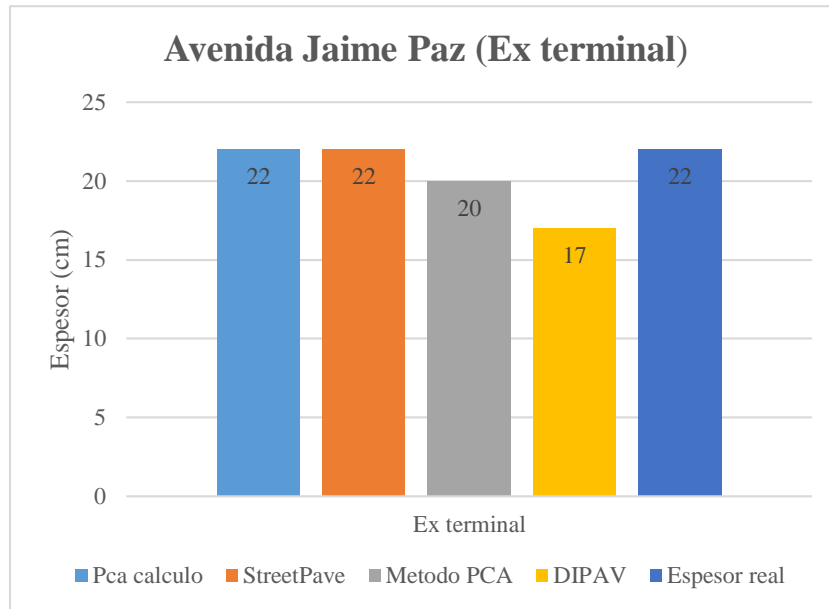


Fuente: Elaboración propia

Analizando los espesores finales de los programas del ingreso a la nueva terminal, observamos que ninguna metodología se aproxima al espesor real; esto podría deberse que al momento del diseño real se toma un tráfico supuesto, dado que cuando se construyó este tramo no circulaban muchos vehículos, en cambio para realizar el espesor de diseño proyectado con los programas se basó en un aforo real de vehículos que circulaban por el tramo actualmente.

- **Tramo N°3: Avenida Jaime Paz**
Carril 1, dirección a la UAJMS

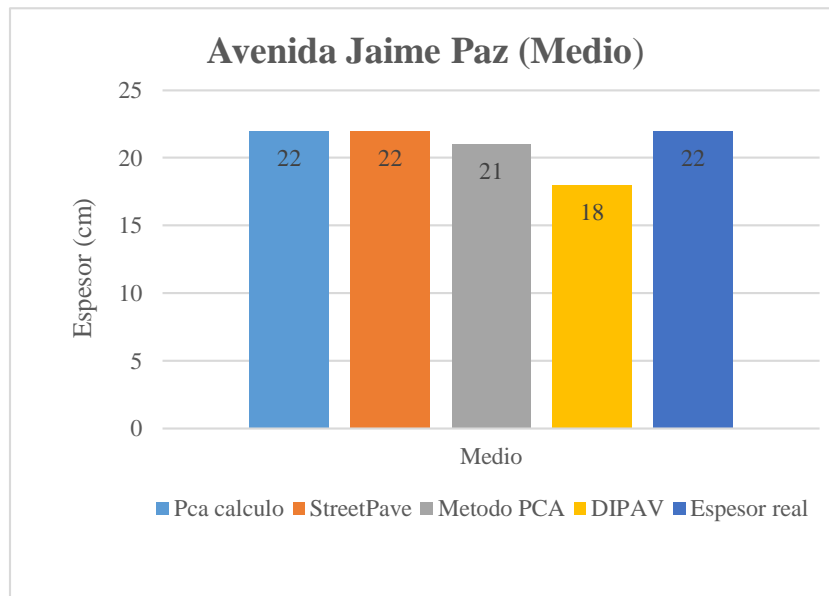
IlustraciónN°111.Espesores para el tramo avenida Jaime Paz (Ex terminal)



Fuente: Elaboración propia

Carril 2, carril central

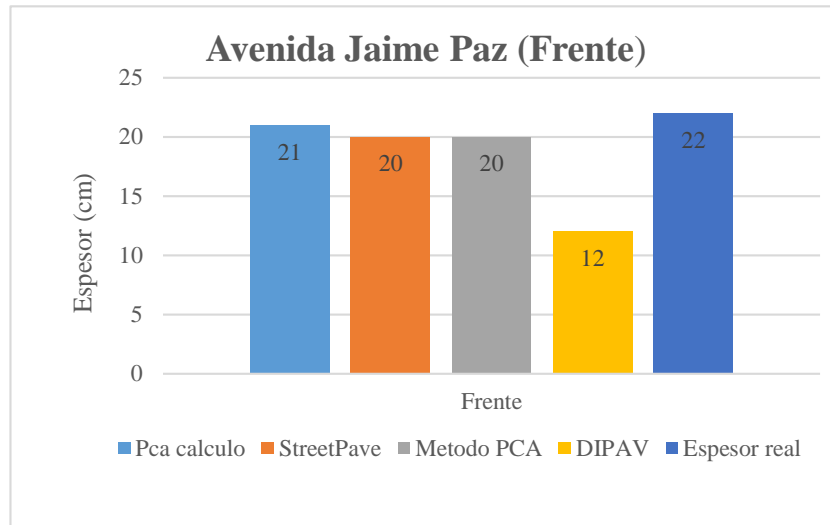
IlustraciónN°112.Espesores para el tramo avenida Jaime Paz (Medio)



Fuente: Elaboración propia

Carril 3, con ambas direcciones

IlustraciónN°113.Espesores para el tramo avenida Jaime Paz (Frente)

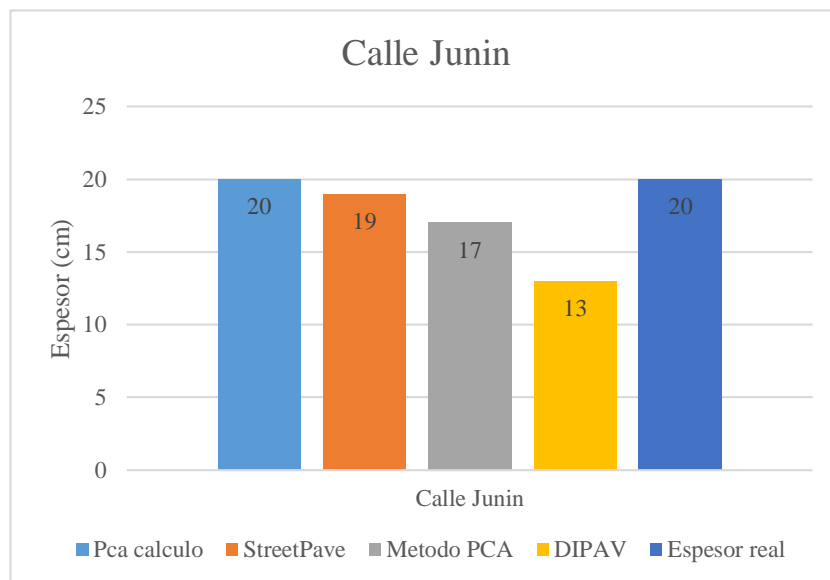


Fuente: Elaboración propia

Analizando los espesores del tramo de la avenida Jaime Paz, en sus 3 sentidos, apreciamos que el programa PCA cálculo es el más semejante al espesor real, diferenciándose de los anteriores tramos.

- **Tramo N°4: Calle Junín**

IlustraciónN°114.Espesores para el tramo calle Junín



Fuente: Elaboración propia

El programa PCA cálculo para el tramo de la calle Junín, es el que tiene un espesor igual al real, así también el espesor del programa Street Pave se asemeja al real con una diferencia ínfima de 1 cm.

Analizando los resultados de los espesores del año de ejecución, se puede observar que los programas PCA cálculo y Street Pave calculan espesores cercanos e iguales a los de diseño real, los cuales fueron diseñados mediante la metodología AASHTO y para tal metodología se verifico utilizando el programa DIPAV, con el cual se obtuvo valores alejados a los reales; esto se puede observar en los tramos con bajo flujo vehicular, mientras que en los tramos donde se acercan los resultados de espesores reales son en los tramos con flujo media a alto.

Comparando los resultados de manera general entre el software PCA cálculo y StreetPave, se puede observar que los resultados entre estos programas los espesores obtenidos por el StreetPave son menores en todos los tramos. Esto se debe a que este programa solo considera el tráfico pesado y en los tramos donde existe mayor variación, con los espesores, se debe a que predominan los vehículos livianos.

Con la metodología manual PCA no hay mucha diferencia entre los espesores resultantes con el programa PCA cálculo, esta diferencia se debe de valores extraídos de graficas por el método manual; pero la diferencia con el software StreetPave es un considerablemente mayor dado que este software trabaja con la metodología PCA, pero no considera el factor de seguridad para la carga vehicular.

Así también el software PCA tiene la ventaja que recomienda las dimensiones de las barras de amarre y de anclaje, si se cuenta con los datos del acero.

Por otra parte, el software StreetPave calcula espesores equivalentes a pavimentos flexibles si se cuenta con los datos del asfalto.

3.8.3.3. Resultados de valores extremos

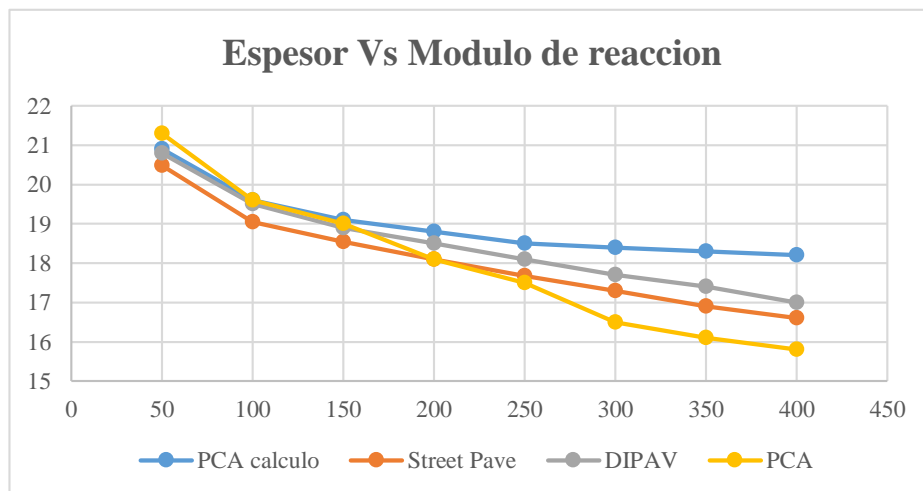
Módulo de reacción de la subrasante

Tabla N°65. Valores extremos espesor vs módulo de reacción

Valores extremos para módulo de reacción				
Módulo de reacción	Espesor PCA calculo (cm)	Espesor Street Pave (cm)	Espesor PCA (cm)	Espesor DIPAV (cm)
50	20.900	20.480	21.300	20.800
100	19.600	19.040	19.600	19.500
150	19.100	18.540	19.000	18.900
200	18.800	18.100	18.100	18.500
250	18.500	17.670	17.500	18.100
300	18.400	17.300	16.500	17.700
350	18.300	16.900	16.100	17.400
400	18.200	16.600	15.800	17.000

Fuente: Elaboración propia

Ilustración N°115. Grafica Espesor vs Modulo de reacción



Fuente: Elaboración propia

Analizando la gráfica observamos que no se tiene demasiada variación en espesores para los primeros módulos de reacción, pero en los últimos módulos de reacción se puede ver la variación de espesores, donde la metodología PCA tiene espesores bajos y el software PCA calculo brinda espesores altos.

Considerando los resultados de esta aplicación, se refleja que el módulo de reacción no afecta directamente al diseño del espesor dado que los valores de módulo de reacción con los que se trabajó son valores entre 150-200 pci y esta zona muestra espesores similares en todos los métodos.

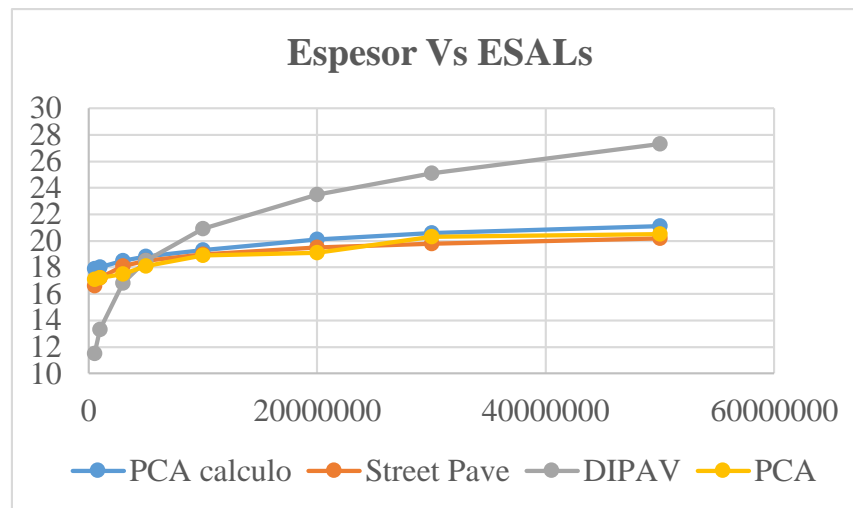
Ejes equivalentes

Tabla N°66. Valores extremos espesor vs ESALs

Valores extremos para ejes equivalentes				
ESALs	Espesor PCA calculo (cm)	Espesor Street Pave (cm)	Espesor PCA (cm)	Espesor DIPAV (cm)
500000	17.900	16.600	17.100	11.500
1000000	18.000	17.200	17.200	13.300
3000000	18.500	18.100	17.500	16.800
5000000	18.800	18.500	18.100	18.500
10000000	19.300	19.000	18.900	20.900
20000000	20.100	19.500	19.100	23.500
30000000	20.600	19.800	20.300	25.100
50000000	21.100	20.200	20.500	27.300

Fuente: Elaboración propia

IlustraciónN°116. Grafica Espesor vs ESALs



Fuente: Elaboración propia

En las gráficas podemos apreciar que el método AASHTO, para el cual usamos el programa DIPAV, presenta espesores demasiados bajos cuando se cuenta con poco tráfico, esto se puede apreciar en los tramos de la avenida Jaime Paz y avenida Violín Chapaco donde se tuvo espesores menores en comparación a los otros métodos.

Así también en los otros métodos se puede apreciar la misma tendencia, donde observamos que los espesores del programa Street Pave son menores debido que este método no aplica factores de seguridad para mayorar los ejes equivalentes.

CAPÍTULO IV
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo general de comparar el dimensionamiento de pavimentos rígidos entre las metodologías PCA cálculo y StreetPave en el ingreso, procesamiento y resultados, aplicados a nuestra región.
- Dentro del análisis de los parámetros de entrada el programa PCA calculo tiene los algunos parámetros que el StreetPave, los cuales son los periodos de diseño, módulos de rotura y módulos de reacción de la subrasante; pero cada programa a su vez posee datos iniciales diferentes, resumidos en la siguiente tabla.

PCA cálculo	StreetPave
<ul style="list-style-type: none">● Ejes equivalentes● Factor de seguridad	<ul style="list-style-type: none">● Volumen del tráfico pesado● Índice de crecimiento del parque automotor● Serviciabilidad● Confiabilidad

En la cual el volumen de tráfico es un factor importante, aunque sean ingresados en diferentes formas a cada programa.

- Respecto al procedimiento aplicativo de cada software, el manejo del programa PCA es más fácil de entender y utilizar una vez se tengan todos los datos necesarios, mientras el programa StreetPave es más dinámico por las cuatro ventanas para la introducción de datos que posee.
- En cuanto al procedimiento de la metodología manual de la PCA es más extenso, debido a que trabaja con varias iteraciones de espesores utilizando gráficas donde se mayor el margen de error debido a la buena/mala visión del diseñador, pero brindando resultados cercanos a los softwares que se basan en esta metodología.
- Se logró aplicar los softwares PCA cálculo y StreetPave a nuestra región con el dimensionamiento de los 5 tramos estudiados, obteniendo resultados confiables

y realistas de una manera más rápida que las metodologías tradicionales, resumidos en la siguiente tabla:

Tramo		Espesor (cm) PCA calculo	Espesor (cm) StreetPave
Avenida circunvalación	Dirección mástil	24	23
	Dirección la torre	24	23
Ingreso a la nueva terminal		22	21
Avenida Jaime Paz Zamora	Ex terminal	23	23
	Medio	24	23
	Frente	22	21
Calle Junín		20	20
Avenida Violín Chapaco		21	17

Donde podemos observar que los espesores mediante el PCA cálculo son mayores debido a que el programa considera el tráfico en general, mientras el StreetPave solo considera el tráfico pesado; siendo este una de las variables considerables.

- Los espesores obtenidos para la avenida Violín Chapaco, varían demasiado, esto debido al flujo vehicular bajo que posee, ya que el método PCA bota un valor de 20 cm y el DIPAV de 11 cm.
- Los resultados de comparación entre los programas y el espesor real de los tramos seleccionados se evidencian que el programa PCA calculo tiene mayor coincidencia en cuanto al diseño de espesor que los demás programas, ya que el programa Street Pave tiene una variación de +/- 1.5 en promedio y el programa DIPAV en cual se basa la metodología AASHTO de diseño tienen gran variación ya que dependen mucho del volumen general vehicular.
- La diferencia en comparación al software DIPAV, el cual usa la metodología AASHTO que se trabaja en la región se puede deber a que esta metodología no mayorar las cargas como la metodología en la cual se basan los softwares haciendo afectar los espesores finales.

- El software StreetPave a diferencia del PCA cálculo trabaja con solo tráfico pesado, obteniendo así espesores menores, pero no tan distantes, dado que este tipo de vehículos son los que más influyen en las cargas del tráfico.
- Los datos más influyentes en la determinación de espesores son el módulo de reacción de la subrasante y el volumen de tráfico, como se vio en el análisis de valores extremos ya que de estos depende el resultado final de espesores.
- El programa DIPAV calcula espesores bajos o conservadores cuando se tiene volúmenes de tráfico menores en comparación a los programas Street Pave y PCA cálculo.
- Para facilitar la decisión del uso de uno de los programas de este proyecto, de acuerdo a una perspectiva personal; se presentará una tabla comparativa con las ventajas y desventajas de cada uno.

Software	Ventajas	Desventajas
PCA cálculo	<ul style="list-style-type: none"> ● El programa realiza todos los cálculos que corresponden cada vez que se varían los espesores ● Calcula una opción de barras de anclaje y pasadores ● Solo cuenta con una hoja para ingresar los datos entrada y calcular de manera fácil ● No es necesario calcular el módulo de reacción combinado de la subrasante, solo se requiere los datos de las capas para calcularse 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se requiere probar con varios espesores hasta llegar al óptimo
StreetPave	<ul style="list-style-type: none"> ● El programa calcula un espesor óptimo del pavimento ● No es necesario calcular el módulo de reacción de la subrasante, ya que con los datos de las capas se calcula en el programa 	<ul style="list-style-type: none"> ● Trabaja en el idioma inglés

	<ul style="list-style-type: none"> ● El programa calcula los ejes equivalentes solo con el dato del volumen. ● Calcula un equivalente a pavimento flexible 	
--	--	--

- De acuerdo al trabajo realizado se concluye que ambos programas computarizados son aplicables a nuestra ciudad Tarija; ya que los datos de entrada son fáciles de obtener y/o determinar; puesto que nuestra universidad posee los equipos necesarios en sus laboratorios en caso de ser necesario. En cuanto al procesamiento se puede escoger cualquiera de los softwares, ya que su utilización es fácil y confiable en cuanto a los resultados finales, tal cual se puede apreciar en el presente proyecto de aplicación.

4.2.Recomendaciones

- Dado que ambos softwares son de fácil manejo y además aplicables a nuestra región, es imprescindible el uso de estos ya que nos ayudarán a realizar una mayor cantidad de cálculos en diferentes escenarios posibles, dejando así atrás a las metodologías manuales que llegan a ser más morosas en su cálculo.
- El proyectista que trabaje con los softwares PCA cálculo y StreetPave requiere un conocimiento previo sobre pavimentos rígidos, los manuales de los softwares y el funcionamiento de la metodología PCA que es en la cual se basan, para la correcta aplicación de los softwares.
- Para el uso del programa StreetPave se recomienda tener un conocimiento técnico del idioma extranjero para su aplicación, puesto que la versión que existe está en este idioma.
- Se deben realizar rigurosos estudios previos en la determinación de los datos de entrada, en especial para los datos del tráfico y las características de las capas del pavimento ya que estos son los que más afectan en la determinación de los espesores.
- Se recomienda implementar el uso de softwares en la materia de Carreteras II, ya que con la ayuda de estos se puede realizar cálculos más rápidos y como se vio en el presente proyecto los resultados no son de gran variación.

- Para el tramo de la avenida circunvalación se puede observar la presencia de numerosas grietas medias a severas y ahuellamientos, esto debido a que por este tramo circulan una cantidad alta de vehículos pesados y así también por la vida que lleva este tramo dado que se construyó en el año 1998, por lo que se recomienda realizar una evaluación del pavimento para así determinar su calidad y planificar las obras de rehabilitación necesarias.
- Se recomienda que para el tramo de la calle Junín se realicen las evaluaciones pertinentes para determinar el nivel de condición que tiene este tramo dado que presenta demasiadas grietas severas y se necesitan realizar los mantenimientos necesarios, esto debido a que este tramo es de una gran importancia por su ubicación, parte trasera del hospital San Juan de Dios y es necesario tener un tramo en buenas condiciones.
- Para el tramo de la avenida Jaime Paz no se necesita una evaluación de su condición dado que este tramo por ser el más antiguo de todos los tramos en estudio (1990) ya tuvo sus obras de mantenimiento, siendo la última un recapamiento, estando ahora en muy buenas condiciones para la circulación de vehículos.
- En cuanto al tramo del ingreso a la nueva terminal no se recomiendan ningún tipo de evaluación puesto que es el tramo más nuevo todos, siendo construido en el año 2014 y a su vez siendo un tramo por el cual no hay mucha circulación de vehículos, por lo cual se encuentra en buenas condiciones.
- Una de las recomendaciones personales para el diseño de pavimentos sería la de implementar una base de datos de CBRs de nuestra ciudad mediante la materia de Mecánica de suelos, ya que son datos necesarios en los diseños y son difíciles de conseguir, en especial si son vías ya están ejecutadas y más si se presentan cambios de autoridades.