

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos en general y específicamente los pavimentos rígidos están sujetos a cargas de tráfico las que deben ser soportadas por el paquete estructural del cual forma parte el pavimento, en esa interacción se produce la relación esfuerzo – desplazamiento que no siempre es fácil de medirla ni analizarla, sin embargo en los últimos años la herramienta de la informática ha coadyuvado a que se pueda analizar bajo diferentes condiciones esta relación. Uno de los últimos programas puesto a disposición de los profesionales del área es el EVERFE 2.24, el cual es fruto de la colaboración entre las Universidades de Washington y Maine¹, cuyos principios de elementos finitos puede hacer un análisis de comportamiento de cualquier losa de pavimento rígido.

El programa EVERFE 2.24 permite el análisis y la obtención de esfuerzos y desplazamientos, por medio de elementos finitos tridimensionales, que simulan el comportamiento del pavimento rígido con juntas, bajo la acción de cargas en ejes y efectos térmicos del medioambiente.

El programa computacional EVERFE 2.24 es un software de aplicación nueva, con el cual se pretende obtener la relación de esfuerzo – desplazamiento para diferentes cargas aplicadas en el tramo de estudio.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el diseño y construcción de carreteras, en lo que se refiere a pavimentos rígidos es importante hacer notar que éstos se encuentran sometidos a cargas de tráfico y factores medio ambientales (congelación, deshielo y variaciones de temperatura) que afectan la durabilidad del mismo, razón por la cual es importante tomar en cuenta todos estos

¹ VILLANUEVA Mena-BERNAL Javier. Estudio Comparado de los Métodos Analíticos de Dimensionamiento de Firmes y su Evolución (Pág. 53). Sevilla: Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Trabajo Fin de Grado, 2015.

factores que producen daños en la estructura del pavimento generando deformaciones, desgaste, fisuras, alabeo en losas, etc.

Por tal motivo es indispensable estudiar y analizar el comportamiento del concreto en escenarios de alta exigencia en cuanto a esfuerzo – deflexión, primordialmente con las cargas a las que se someterán, esta información permitirá determinar la forma más adecuada para aplicar el mejor diseño según las especificaciones técnicas del pavimento y el uso para el cual será destinado.

En nuestro país y particularmente en el Departamento de Tarija no existe la aplicación y/o utilización de un programa que nos permita analizar los esfuerzos – desplazamientos en pavimentos rígidos para la determinación de espesores requeridos en base a un modelo que refleje las condiciones actuales y futuras a las que estará sometido el diseño en cuanto a desplazamientos y tensiones por cargas iniciales y futuras. Es por este motivo que se plantea la utilización del software EVERFE 2.24 ya que el mismo es de fácil manejo y nos permite evaluar de manera rápida y precisa el comportamiento de los pavimentos bajo esfuerzos producidos por efectos de carga y medio ambiente.

En consecuencia es importante la utilización del software y la creación de un manual para su aplicación, el mismo que será de gran beneficio para profesionales del medio, estudiantes, instituciones y universidades que quieran la utilización dicho software.

Además el aporte académico será importante ya que se aplicarán los conocimientos adquiridos que se disponen en la actualidad y por ende lograr el grado académico de licenciatura en ingeniería civil.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA

En los últimos años en todo el país se ha tenido un importante avance al incremento de pavimentos tanto en el área urbana como en las carreteras, de éstos una buena parte

sobre todo en pavimentos urbanos son de hormigón por las ventajas a largo plazo de éstos.

Consecuente con ese incremento de pavimentos es necesario cada vez más el análisis del comportamiento de estos pavimentos con respecto a los esfuerzos a los que está sometido y los desplazamientos que tiene por estos esfuerzos, de manera que esté garantizado su durabilidad.

Los pavimentos rígidos de las áreas urbanas están permanentemente sometidos a esfuerzos que producen desplazamientos, para estimar cuales son esos esfuerzos admisibles y desplazamientos tolerables sin que el pavimento se fisure es necesario su evaluación, lamentablemente su análisis matemático es complicado y poco usual, basándose continuamente en el empirismo y la experiencia de campo, sin embargo en los últimos tiempos una herramienta importante es la informática siendo a través de ella que se ha ido creando diferentes software con fines específicos, uno de ellos es el EVERFE 2.24 que permite evaluar el estado de esfuerzos y desplazamientos que tienen diferentes losas de pavimentos rígidos.

El tipo de tráfico que circulará por los accesos a la Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija generara esfuerzos en los pavimentos, los mismos que producen desplazamientos que si éstas no se encuentran en los límites permisibles los pavimentos sufrirán deterioros, acortando la vida útil con la que fueron diseñados.

1.3.2. PROBLEMA

¿De qué manera se puede analizar el esfuerzo – desplazamiento en las losas de pavimento rígido cuando estas están sometidas a cargas producidas por el tráfico?

1.4. HIPÓTESIS

La aplicación del software EVERFE 2.24 nos permitirá realizar el análisis comparativo del esfuerzo – desplazamiento en las losas de pavimento rígido, las mismas que están sometidas a cargas de tráfico; de tal manera que determinamos su durabilidad en el periodo de vida útil.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo del esfuerzo – desplazamiento en las losas de pavimento rígido que están sometidas a cargas de tráfico, por medio del software EVERFE 2.24 que será aplicado a los accesos de la Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija, Avenida Circunvalación (calle Froilán Tejeria – Avenida Panamericana) y Avenida Jaime Paz Zamora (calle España – Avenida Padilla).

1.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el programa EVERFE 2.24 para la obtención de desplazamientos debido a los esfuerzos producidos por las cargas de tráfico en los tramos de estudio.
- Comparar el software EVERFE 2.24 en otros proyectos en lo que se refiere a la determinación de esfuerzos, además de espesores de paquete por otro método de cálculo.
- Evaluar los resultados del programa a través de un análisis comparativo mediante otros métodos para la determinación de esfuerzos – desplazamientos.
- Proponer un manual en español para la utilización del programa EVERFE 2.24 en pavimentos rígidos.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en función a los resultados obtenidos en el estudio.

1.6. VARIABLES

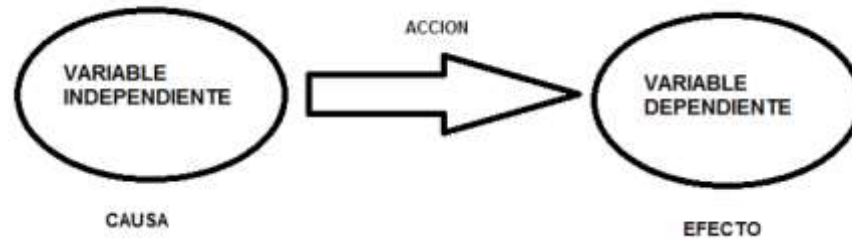
Variable Independiente:

LOSAS DE PAVIMENTO RÍGIDO

Variable dependiente:

ESFUERZO – DESPLAZAMIENTO.

FIGURA 1. 1: GRÁFICO VARIABLE DEPENDIENTE – VARIABLE INDEPENDIENTE



FUENTE: Elaboración Propia.

1.7. ALCANCE

Dentro del alcance que se tiene previsto para esta investigación se efectuará lo siguiente:

- Aplicar el software EVERFE 2.24 en los Accesos a la Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija, Avenida Circunvalación entre calle Froilán Tejerina - Avenida Panamericana y Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España - Avenida Padilla, para lo cual es necesario obtener el análisis de los parámetros que se detalla a continuación:
 - Determinar el módulo de balasto combinado de la sub rasante el cual será medido mediante la correlación de CBR.
 - Determinar el espesor de la losa mediante la extracción de muestras inalterables y encontrar el valor de resistencia del hormigón mediante la ruptura de dichas muestras.
 - Determinar las deflexiones producidas bajo la acción de una carga de tráfico mediante la utilización de la viga Benkelman.
- Comparar los parámetros con los que fue diseñado el pavimento con los obtenidos en campo.
- Realizar el análisis del espesor obtenido de las muestras inalterables con el espesor de diseño.

- Comparar las deflexiones encontradas a través de la viga Benkelman con los desplazamientos calculadas con ayuda del software para el cálculo de la variación.
- Se comprobará los siguientes parámetros:
 - El espesor obtenido en campo con el espesor calculado según la metodología AASHTO.
 - La calidad de la sub rasante y que esta cumpla con las condiciones requeridas para las solicitaciones de cargas productos del tráfico vehicular de diseño.
 - Comprobar los desplazamientos obtenidas con el EVERFE 2.24 y viga Benkelman para ver si las mismas son absorbidas por el paquete estructural.
- Validar los resultados obtenidos (esfuerzos y desplazamientos) mediante la aplicación del software EVERFE 2.24 a través de la comparación con los resultados calculados por métodos clásicos en sectores críticos de las losas.
- Por último se propondrá un manual en español para la correcta utilización del programa EVERFE 2.24, el cual tendrá una descripción de la introducción y procesamiento de datos. Este manual será puesto para su consideración de uso a profesionales del medio, instituciones y estudiantes del Departamento de Tarija.

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1. UNIDAD

Los elementos que serán medidos son los PAVIMENTOS.

1.8.2. POBLACIÓN

Es el conjunto de personas u objetos de los que se desea conocer algo en una investigación.²

La población son los esfuerzos – desplazamientos en pavimentos rígidos.

1.8.3. MUESTRA

La muestra es una pequeña parte de la población.

Los elementos de una población o un universo están compuestos por posibles muestras que tienen la probabilidad de ser seleccionados. Por esas consideraciones la probabilidad de una muestra al ser elegida permite obtener una información representativa del interior o total de la población.

Es un subconjunto o parte del universo o población en que se llevará a cabo la investigación.³

Para el presente estudio dicha muestra son los esfuerzos – desplazamientos producidos en los Accesos a la Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija, Avenida Circunvalación entre calle Froilán Tejerina - Avenida Panamericana y Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España - Avenida Padilla.

1.8.4. MUESTREO

Es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población.⁴

El muestreo es una herramienta de investigación cuya función es determinar que parte de la población será objeto a estudio.

Por las consideraciones el método muestral garantiza que cada uno de los individuos tenga la misma probabilidad de ser elegido para la muestra, al mismo tiempo permite

² PINEDA Beatriz – DE ALVARADO Eva Luz – DE CANALES Francisca. Metodología de la Investigación, Manual para el Desarrollo de Personal de Salud, Segunda Edición (Pág. 108). Organización Panamericana de la Salud. Washington, 1994.

³ PINEDA Beatriz – DE ALVARADO Eva Luz – DE CANALES Francisca. Metodología de la Investigación, Manual para el Desarrollo de Personal de Salud, Segunda Edición (Pág. 109). Organización Panamericana de la Salud. Washington, 1994.

⁴ MATA María Cristina – MACASSI Sandro. Como Elaborar Muestras para los Sondeos de Audiencias (Pág. 19). Asociación Latinoamericana de Educación Radifónica. Quito, 1997.

obtener una información representativa la cual puede interferir al total de la población o un universo con cierto margen de error muestral, razón por la cual se realizara mediciones conforme a lo que requiera la investigación, ya sea ensayos de suelos, mediciones en campo según indique bibliografía o profesionales del área.

1.8.5. MÉTODOS

Los métodos a utilizar en el presente trabajo son:

MÉTODOS GENERALES

- **Método Analítico**

El método analítico es el camino para llegar a un resultado mediante la descomposición de un fenómeno en sus elementos constitutivos.

El Método analítico es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular. Es necesario conocer la naturaleza del fenómeno y objeto que se estudia para comprender su esencia.

Este método nos permite conocer más del objeto de estudio, con lo cual se puede: explicar, hacer analogías, comprender mejor su comportamiento y establecer nuevas teorías.⁵

- **Método Hipotético – Deductivo**

El método hipotético-deductivo es el procedimiento o camino que sigue el investigador para hacer de su actividad una práctica científica. El método hipotético-deductivo tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

⁵ BABARESCO de Prieto Aura. (2013, Sep.). Método Analítico. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <http://es.slideshare.net/dudyacks/mtodo-analtico-26064628>

Este método obliga al científico a combinar la reflexión racional o momento racional (la formación de hipótesis y la deducción) con la observación de la realidad o momento empírico (la observación y la verificación).

El método deductivo es uno de los métodos más usados a instancias de lograr, obtener, conclusiones sobre diversas cuestiones. El rasgo distintivo de este método científico es que las conclusiones siempre se hallan impresas en las premisas, es decir, es posible inferir a la conclusión de las proposiciones que conforman un argumento, de ellas y solamente de ellas deviene.⁶

MÉTODOS PARTICULARES

- **Método de Análisis**

El análisis es un método de investigación de los objetos que nos permite separar algunas de las partes del todo para someterlas a estudio independiente. Posibilita estudiar partes separadas de éste, poner al descubierto las relaciones comunes a todas las partes y, de este modo, captar las particularidades, en la génesis y desarrollo del objeto. Todo concepto implica un análisis.⁷

- **Método Comparativo**

Es el procedimiento de la comparación sistemática de casos de análisis que en su mayoría se aplica con fines de generalización empírica y de la verificación de hipótesis.

El método comparativo en sentido estricto busca examinar nexos causales y trata de aislar los factores que pueden ser considerados como causa (variable independiente) de un efecto (variable dependiente).

En método comparativo consiste en poner dos o más fenómenos, uno a lado del otro, para establecer sus similitudes y diferencias y de ello sacar conclusiones que definan

⁶ Definición de Método Deductivo. (2012, Jul). [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <http://www.e-torredababel.com/Psicologia/Vocabulario/Metodo-Hipotetico-Deductivo.htm>

⁷ BABARESCO de Prieto Aura. (2013, Sep.). Método Analítico. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <http://es.slideshare.net/dudyacks/mtodo-analtico-26064628>

un problema o que establezcan caminos futuros para mejorar el conocimiento de algo. Este método nos ayuda a dar validez a un argumento.⁸

- **Método Propositivo**

Este método es una actuación crítica y creativa, caracterizado por planear opciones o alternativas de solución a los problemas suscitados por una situación.

El método propositivo plantea ideas que puedan colaborar en la solución de problemas o mejoras de una situación.⁹

- **Método de Diagnóstico**

Es un proceso dialéctico que utiliza un conjunto de técnicas y procedimientos con la finalidad de diagnosticar y resolver problemas fundamentales, encontrar respuestas a preguntas científicamente preparadas, estudiar la relación entre factores y acontecimientos o generar conocimientos científicos.¹⁰

- **Método Inductivo**

El método inductivo es aquel método científico que alcanza conclusiones generales partiendo de hipótesis o antecedentes en particular. Este es el método científico más utilizado.

Este método se caracteriza por tener 4 etapas:

- Observaciones y registro de todos los hechos.
- Análisis y clasificación de todos los hechos.
- Derivación inductiva de una generalización a partir de los hechos.
- Contrastación.

El razonamiento inductivo puede ser completo (en este caso se acerca a un razonamiento deductivo debido a que sus conclusiones no brindan más datos que los

⁸ OLGUIN García Roberto. (2015, Jun). Método Comparativo. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <http://es.slideshare.net/criminologa-cleu/eq3-montesgarciasuarez-rendon-metodo-comparativo4-b>

⁹ RIVERA Díaz Manuel. (2014, Oct). Estudios Propositivos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: https://prezi.com/ck_p_yfk4ffl/estudios-propositivos/

¹⁰ Investigación Diagnóstica. (2011, Feb). En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/256338347/Investigacion-Diagnostica-o-Propositiva#download>

aportados por las premisas) o incompleto (la conclusión trasciende a los datos aportados por la premisa; a medida que hay más datos, habrá una mayor probabilidad de verdad. La verdad de las premisas, de todos modos, no asegura que la conclusión sea verdadera).¹¹

1.8.6. TÉCNICAS

Las técnicas usadas para la realización del trabajo son:

MEDICIONES

Una Medición es lo que se obtiene a través de la acción de medir, la palabra medir proviene del latín “metiri” que significa comparar una cantidad obtenida de algo con una cantidad (medida) convencional, la cual se conoce previamente al estudio de medición. Esta cantidad o medida convencional viene dada por unidades, por ejemplo (metro o kilo), pero también puede ser obtenida a través de dimensiones, por ejemplo (peso, altura, superficie o volumen), esta unidad o dimensión es utilizada para comparar y determinar cuántas veces se encuentra contenida en la cantidad de la medición.

La medición es considerado uno de los procesos básicos en los estudios científicos la cual es utilizada para determinar la proporción que existe en la comparación de dos patrones, en donde uno de ellos ya está previamente establecido (es conocido a través de una magnitud física) y el otro se desea conocer. Es necesario recalcar que para que pueda existir una medición correcta tanto la dimensión de lo que se quiere como la unidad con la que se va a comparar correspondan a la misma naturaleza o magnitud.¹²

MODELACIÓN

Es aquello que sirve para representar o describir otra cosa, es decir crea prototipos (primer diseño).

El modelo puede tener una forma semejante o ser totalmente distinto del objeto real.

¹¹ Método Inductivo. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Inductivismo>

¹² Definición de Medición. (2015, Jun). [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <http://conceptodefinicion.de/medicion-2/>

Un modelo se puede definir como una representación simplificada de un sistema real, un proceso o una teoría, con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y posiblemente ayudar a controlar el sistema.

Existen tres formas de modelos:

- **Icónico**

Versión a escala del objeto real y con sus propiedades relevantes más o menos representadas.

- **Analógico**

Modelo con apariencia física distinta al original, pero con comportamiento representativo.

- **Analítico**

Relaciones matemáticas o lógicas que representen leyes físicas que se cree gobiernan el comportamiento de la situación bajo investigación.¹³

1.8.7. MEDIOS

Para la obtención de datos se necesitara la utilización de los siguientes equipos:

FIGURA 1. 2: NIVEL DE INGENIERO



FUENTE: <http://i.anunciosya.com.mx/i-a/oicr-21.jpg>

¹³ ORTIZ Soto Edgar. (2011, Feb). Conceptos Básicos de Modelación. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 25 de Agosto. Disponible desde la URL: <https://prezi.com/casddbbbg4p/conceptos-basicos-de-modelacion/>

FIGURA 1. 3: CRONÓMETRO



FUENTE: http://staticsteren-466e.kxcdn.com/media/catalog/product/C/r/Cronometro-deportivo-resistente-al-agua_xl.jpg

FIGURA 1. 4: CAMIÓN CARGADO Y DEFLECTÓMETRO BENKELMAN



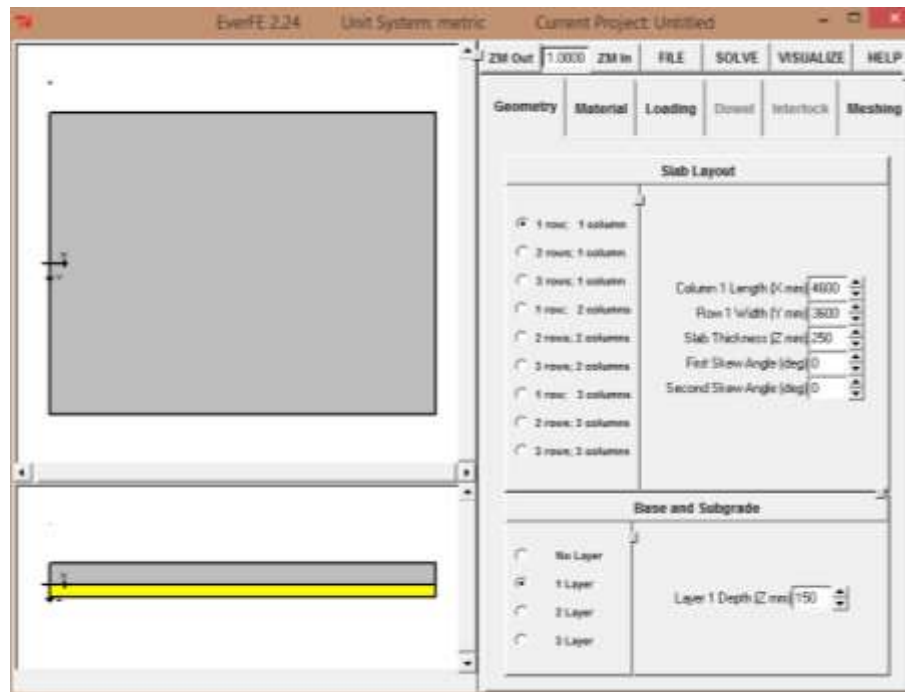
FUENTE: http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/08/foto_05.jpg

FIGURA 1. 5: ODÓMETRO



FUENTE: http://www.interfasetres.com.ar/src/img_up/18082011.3.jpg

FIGURA 1. 6: PROGRAMA EVERFE 2.24



FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 1. 7: EQUIPO DCP



FUENTE: http://www.myv-sg.com/wp-content/uploads/2015/11/DCP_myv.jpg

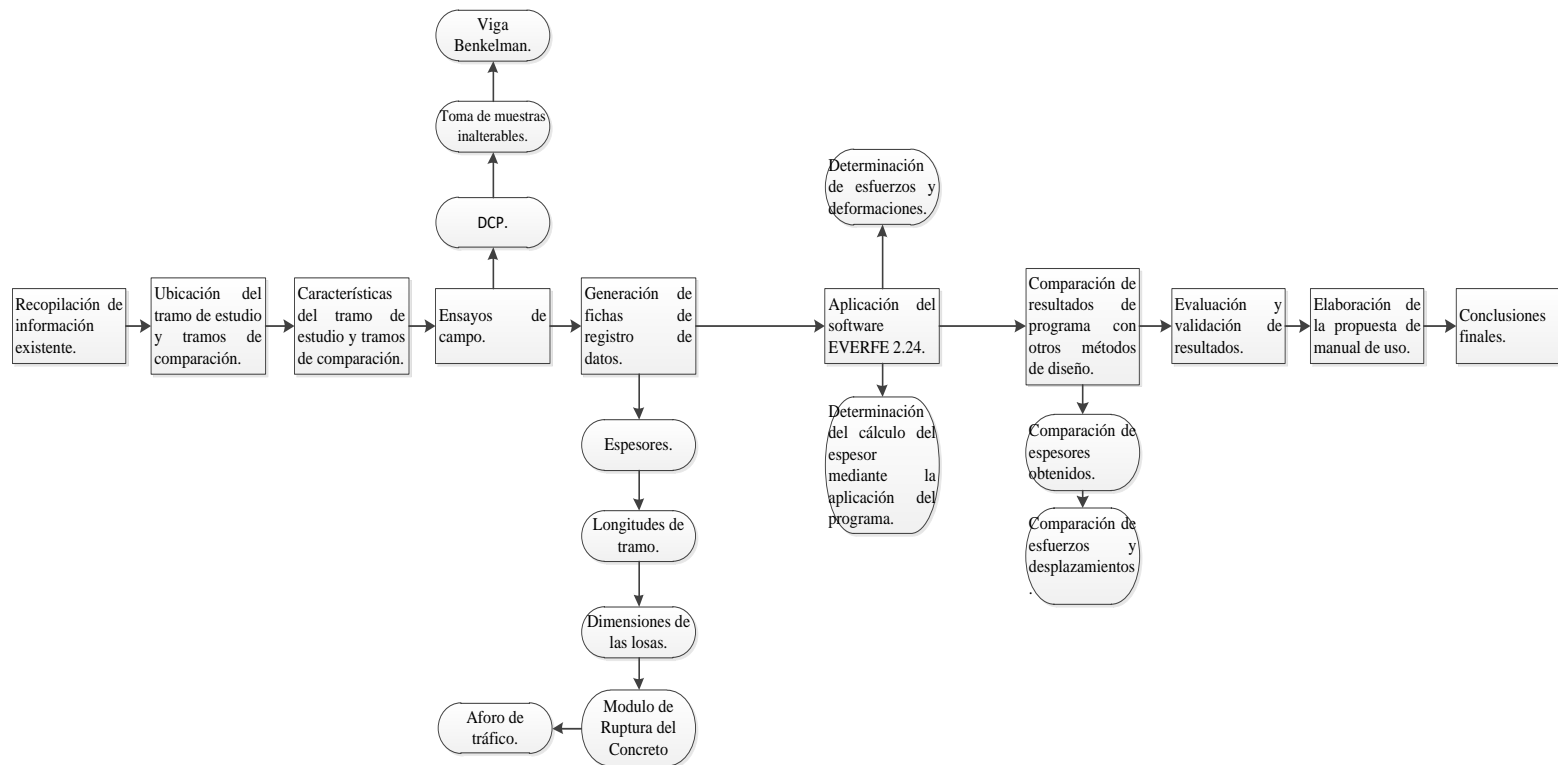
1.8.8. PROCESO METODOLÓGICO

La metodología a seguir en la aplicación del desarrollo del presente estudio:

- Recopilación de información existente.
- Ubicación del tramo de estudio y tramos de comparación.
- Características del tramo de estudio y tramos de comparación.
- Ensayos de campo.
 - DCP.
 - Toma de muestras inalterables.
 - Viga Benkelman.
- Generación de fichas de registro de datos.
 - Espesores.
 - Longitudes de tramo.
 - Dimensiones de las losas.
 - Módulo de ruptura del concreto.
 - Aforo de tráfico.
- Aplicación del software EVERFE 2.24.
 - Determinación de esfuerzos y desplazamientos.
- Comparación de resultados de programa con otros métodos de diseño.
 - Comparación de espesores obtenidos.
 - Comparación de esfuerzos y desplazamientos.
- Evaluación y validación de resultados.
- Elaboración de la propuesta de manual de uso.
- Conclusiones finales.

Para comprender la metodología a usar en el presente trabajo se sintetiza la misma en un flujo grama de procesos.

FIGURA 1. 8: FLUJOGRAMA DEL PROCESO METODOLÓGICO



FUENTE: Elaboración Propia.

1.8.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

1.8.9.1. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La Estadística descriptiva registra los datos en tablas y los representa en gráficos. Calcula los parámetros estadísticos (medidas de centralización, posición y de dispersión), que describen el conjunto estudiado. Es la rama de las matemáticas que recolecta, presenta y caracteriza un conjunto de datos.

1.8.9.2. PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Es un número que se obtiene a partir de los datos de una distribución estadística.

Los parámetros estadísticos sirven para sintetizar la información dada por una tabla o por una gráfica.

Hay tres tipos parámetros estadísticos:

- De centralización.
- De posición.
- De dispersión.

MEDIDAS DE CENTRALIZACIÓN

Nos indican en torno a qué valor (centro) se distribuyen los datos.

Las medidas de centralización son:

- **Media aritmética**

La media aritmética es el valor promedio de la distribución.

FIGURA 1. 9: FÓRMULA DE LA MEDIA ARITMÉTICA

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

FUENTE: <http://www.catedramaster.com/wp-content/uploads/2015/08/for-La-media-aritmetica.png>

- **Mediana**

La mediana es la puntuación de la escala que separa la mitad superior de la distribución y la inferior, es decir divide la serie de datos en dos partes iguales.

FIGURA 1. 10: CÁLCULO DE LA MEDIANA

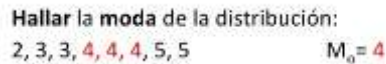


FUENTE: <http://app-prod-icarito.s3-us-west-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2009/12/10195625/668574.jpg>

- **Moda**

La moda es el valor que más se repite en una distribución.

FIGURA 1. 11: CÁLCULO DE LA MODA



FUENTE: <http://image.slidesharecdn.com/mediana-100715195108-phpapp01/95/mediana-8-728.jpg?cb=1279223561>

MEDIDAS DE POSICIÓN

Las medidas de posición dividen un conjunto de datos en grupos con el mismo número de individuos.

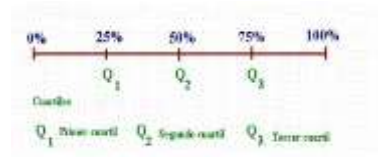
Para calcular las medidas de posición es necesario que los datos estén ordenados de menor a mayor.

Las medidas de posición son:

- **Cuartiles**

Los cuartiles dividen la serie de datos en cuatro partes iguales.

FIGURA 1. 12: CÁLCULO DE CUARTILES



FUENTE: https://cuartil.wikispaces.com/file/view/clip_image001.gif/59749590/416x228/clip_image001.gif

- **Deciles**

Los deciles dividen la serie de datos en diez partes iguales.

FIGURA 1. 13: CÁLCULO DE DECILES

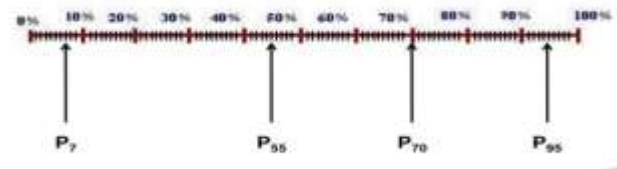


FUENTE: http://dieumsnh.qfb.umich.mx/estadistica/deciles_archivos/image002.jpg

- **Percentiles**

Los percentiles dividen la serie de datos en cien partes iguales.

FIGURA 1. 14: CÁLCULO DE PERCENTILES



FUENTE: <http://image.slidesharecdn.com/estad104sumatoriamtcymd1-121207000245-phpapp02/95/estadistica-sumatoriamtcymd-45-638.jpg?cb=1354838731>

MEDIAS DE DISPERSIÓN

Las medidas de dispersión nos informan sobre cuánto se alejan del centro los valores de la distribución.

Las medidas de dispersión son:

- **Rango o recorrido**

El rango es la diferencia entre el mayor y el menor de los datos de una distribución estadística.

FIGURA 1. 15: CÁLCULO DEL RANGO

$$\text{Rango} = \text{DatoMayor} - \text{DatoMenor}$$

FUENTE: <http://image.slidesharecdn.com/estadistica22-130322105114-phpapp02/95/estadistica-2-2-9-638.jpg?cb=1363949548>

- **Desviación media**

La desviación media es la media aritmética de los valores absolutos de las desviaciones respecto a la media.

FIGURA 1. 16: FÓRMULA DE LA DESVIACIÓN MEDIA

$$D.M = \frac{\sum |x - \bar{x}|}{N}$$

FUENTE: <https://paraquenossirvelaestadistica.files.wordpress.com/2014/08/desviacion-media.jpg>

- **Varianza**

La varianza es la media aritmética del cuadrado de las desviaciones respecto a la media.

FIGURA 1. 17: FÓRMULA DE LA VARIANZA

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{N} \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}$$

FUENTE: <http://image.slidesharecdn.com/varianza-120201085955-phpapp01/95/varianza-2-638.jpg?cb=1422672391>

- **Desviación típica.**

La desviación típica es la raíz cuadrada de la varianza.

FIGURA 1. 18: FÓRMULA DE LA DESVIACIÓN TÍPICA

$$D.T. = \sqrt{\sigma^2}$$

FUENTE: *Elaboración Propia.*

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

2.1. ANTECEDENTES

Desde el momento del planteamiento del problema, surge la necesidad de recurrir a los elementos teóricos existentes alrededor del tema en estudio, con el fin de construir un marco conceptual y teórico que permita mayor profundidad y alcance en el análisis, comprensión y explicación del problema seleccionado para la investigación.

El marco conceptual y teórico permite describir, comprender, explicar e interpretar el problema desde un plano teórico.¹⁴

Por eso mismo, en el presente Trabajo de investigación con los marcos que planteamos, nos aproximaremos a detallar el “status of art” de la problemática de la investigación científica, las connotaciones sociales e institucionales del proceso investigativo, tratando de señalar sus bases esenciales, para recién abordar la investigación.

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. PROPIEDADES INICIALES DE LOS SUELOS

Las propiedades de los suelos son uno de los datos más importantes en el diseño de un pavimento. Estas propiedades siempre estarán presentes aunque cambien mediante tratamientos especiales tales como estabilización, compactación, etc. Para conocer estas propiedades es necesario un muestreo muy amplio que abarque toda la traza, del proyecto. La granulometría, humedad, límites de Atterberg, contenido de humedad óptimo, CBR y clasificación son las principales propiedades que se debe analizar en un suelo.¹⁵

¹⁴ PINEDA Beatriz – DE ALVARADO Eva Luz – DE CANALES Francisca. Metodología de la Investigación, Manual para el Desarrollo de Personal de Salud, Segunda Edición (Pág. 55). Organización Panamericana de la Salud. Washington, 1994.

¹⁵ INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93), (pág. 60). La Paz – Bolivia, 2006.

2.2.1.1. CONCEPTO DE GRANULOMETRÍA

La variedad de tamaños de partícula que ofrece un suelo caracteriza a este, por lo que la granulometría, que hace referencia a estos tamaños es, posiblemente, la propiedad más característica de un suelo. El tamaño de las partículas de un suelo establece ya una primera clasificación de los mismos en bloques, bolos, gravas, arenas, arcillas y limos.¹⁶

2.2.1.2. CONCEPTO DE HUMEDAD

El contenido de humedad en los suelos es la cantidad de agua que el suelo contiene en el momento de ser extraído.¹⁷

2.2.1.3. CONCEPTO DE CONTENIDO ÓPTIMO DE HUMEDAD

Es el contenido de agua del terreno que permite obtener una densidad máxima mediante su compactación.

La relación entre humedad y densidad para un suelo compactado juega un papel muy importante en las propiedades del mismo, especialmente en cuanto a su resistencia y deformabilidad. Así se tienen los ensayos Proctor T-99 (estándar) y T-180 (modificado) que permiten determinar la humedad óptima, es decir la humedad a la que el suelo alcanza su densidad máxima y por lo tanto presenta sus mejores propiedades mecánicas.

El valor de esta humedad óptima depende de la energía de compactación brindada al suelo, y en caso de incrementarse ésta, la humedad óptima será menor y la densidad seca máxima mayor.¹⁸

¹⁶ LA ENCICLOPEDIA DE LA CARRETERA. Concepto de Granulometría. Fecha de consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Clasificaci%C3%B3n_seg%C3%BA_n_la_granulometr%C3%ADa

¹⁷ WIKIPEDIA. Concepto de humedad. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad>

¹⁸ INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93), (pág. 62). La Paz – Bolivia, 2006.

2.2.1.4. CONCEPTO DE LÍMITES DE ATTERBERG

Los límites de Atterberg, o límites de consistencia, sirven para cuantificar la plasticidad de un suelo.

Dos suelos finos con granulometría muy similar pueden tener propiedades muy diferentes según su plasticidad, esta propiedad se analiza con los límites de Atterberg que son:

- Límite líquido (LL). Porcentaje de humedad máximo que puede tener un suelo para poder ser amasado.
- Límite plástico (LP). Porcentaje de humedad mínimo que puede tener un suelo para ser amasado.
- Límite de contracción (LC). Porcentaje de humedad por debajo del cual el suelo no pierde más volumen.

En ingeniería vial interesan principalmente el LL y el LP, cuya diferencia es el índice de plasticidad, que indica la plasticidad del material o sea el rango de humedades dentro del cual el suelo puede ser amasado.¹⁹

2.2.1.5. CONCEPTO DE DENSIDAD

Se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente.

- Densidad aparente. Se define como la masa contenida en la unidad de volumen que ocupa la muestra.
- Densidad real. La densidad real es la relación que existe entre la masa de las partículas secas y el volumen real de la fase sólida (no el volumen aparente) conformada por las mismas, en contraste con la densidad aparente.²⁰

¹⁹ INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93), (pág. 61). La Paz – Bolivia, 2006.

²⁰ HEREDIA Mendosa Eric. Densidad Real y Aparente. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: https://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO

2.2.1.6. CONCEPTO DE COMPACTACIÓN

La compactación es el proceso realizado generalmente por medios mecánicos, por el cual se produce una densificación del suelo, disminuyendo su relación de vacíos.

Es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad.²¹

2.2.1.7. CONCEPTO DE CBR

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte.

2.2.1.8. CONCEPTO DE CBR IN SITU

Es un método adecuado para determinar la capacidad de soporte de un material en el lugar donde será sometido a las solicitaciones de la estructura que soportará.²²

2.2.1.9. CONCEPTO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación de suelos es un indicador universalmente aceptado de las propiedades físicas de los suelos. La clasificación que mejor se adapta para reflejar las propiedades de un suelo es la de la AASHTO. Sus variables de entrada son la granulometría y plasticidad.

En general un suelo, de acuerdo a su granulometría, se divide en:

- Grava: tamaño < 76.2 mm (3") hasta tamiz No. 10 (2 mm),
- Arena gruesa: tamaño < 2 mm, tamiz No. 10 hasta tamiz No. 40 (0.425 mm),
- Arena fina: tamaño < 0.425 mm tamiz No. 40 hasta tamiz No. 200 (0.075 mm),
- Limos y arcillas: tamaños menores de 0.075 mm (pasa tamiz 200).²³

²¹ BARROS Edison. Compactación de los Suelos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <http://es.slideshare.net/edisonbarros98/compactaciones-de-los-suelos>

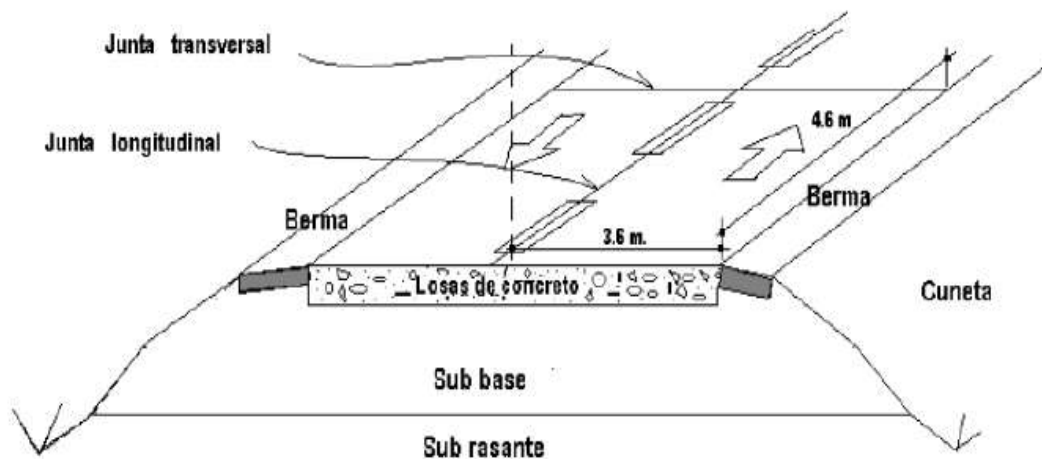
²² CHANG Chang Luis. CBR (California Bearing Ratio) (página 4). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Laboratorio Geotécnico, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. Trabajo de disertación, 2010.

²³ INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93), (pág. 61). La Paz – Bolivia, 2006.

2.2.2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE PAVIMENTOS RÍGIDOS

Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en ciertos grados, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de las resistencias de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.²⁴

FIGURA 2. 1: ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

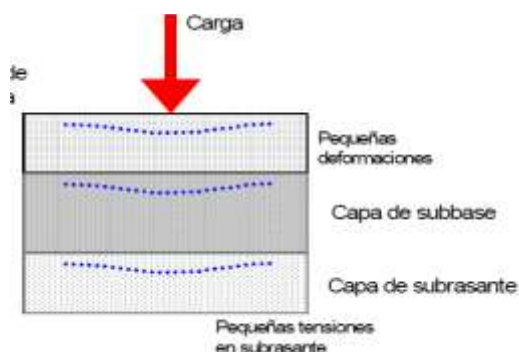


FUENTE: MONSALVE ESCOBAR Lina Mercedes - GIRALDO VASQUEZ Laura Cristina – GAVIRIA Jessyca Maya. *Diseño de Pavimento Flexible y Rígido*. Colombia: Universidad del Quindío, Programa de Ingeniería Civil – Facultad de Ingeniería, 2012.

²⁴ MONTEJO Fonseca Alfonso. *Ingeniería de los Pavimentos*, Tomo 1 – Fundamentos, Estudios básicos y diseño, Tercera Edición (Pág. 5). Panamericana Formas e Impresos, S.A. Bogotá, 2006.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub rasante.²⁵

FIGURA 2. 2: COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO RÍGIDO FRENTE A CARGAS DE TRÁNSITO



FUENTE: CORONADO Iturbe Jorge. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (Cap. 5, Pág. 1). Secretaria de Integración Económica Centroamericana. Guatemala, 2002.

En los pavimentos rígidos se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El concreto absorbe casi todos los esfuerzos.
- La transferencia de cargas es de suma importancia.
- La sub-base granular provee soporte a la losa; sin bombeo ni expansión/contracción.
- La sub-rasante debe ser compactada.

En pavimentos rígidos, la resistencia al agrietamiento de la losa es una función tanto de la carga, el espesor de la losa, la resistencia a la flexión del hormigón y la capacidad de soporte del sistema sub rasante/sub base (estabilizada o no). Para proveer la resistencia a la abrasión de tráfico, la seguridad por fricción y la regularidad de la superficie para el contacto pavimento-vehículo el uso de buen agregado y buenas

²⁵ CORONADO Iturbe Jorge. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (Cap. 5, Pág. 1). Secretaria de Integración Económica Centroamericana. Guatemala, 2002.

prácticas constructivas según las especificaciones son de vital importancia para garantizar la funcionalidad y seguridad de la vía.

Entre las principales ventajas de un pavimento rígido podemos enumerar las siguientes:

- Durabilidad.
- Bajo Costo de Mantenimiento.
- Seguridad.
- Altos Índices de Servicio
- Mejor Distribución de Esfuerzos bajo las Losas.

Durabilidad

Una de las ventajas más significativas de los pavimentos rígidos es la durabilidad del concreto, para lograr esta durabilidad es importante considerar además de la resistencia adecuada del concreto ante las solicitaciones mecánicas todos los agentes externos de exposición a los que estará sujeto el pavimento para elaborar la mezcla apropiada y definir las recomendaciones para la colocación del concreto hidráulico. Se deben de realizar los proporcionamientos de mezcla adecuados, con ciertas relaciones agua / cemento, utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que den la trabajabilidad adecuada al concreto aun con revenimientos bajos como los utilizados en autopistas.

Otro aspecto importante para lograr esta durabilidad tiene que ver con los materiales que forman la estructura de soporte, es importante conocer con detalle las características de los mismos y sus grados de compactación apoyados con los estudios de mecánica de suelos de la ruta.

Es importante contar con la suficiente información para poder estimar de forma precisa el volumen de tráfico y las cargas vehiculares que estarán transitando por el pavimento con el objeto de realizar un diseño estructural adecuado.

Bajo Costo de Mantenimiento

Los pavimentos rígidos se han caracterizado por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto es sin duda una de las ventajas mayores que ofrecen estas alternativas de pavimentación. La significativa reducción en los costos de mantenimiento de una vía permite que el concreto sea una opción muy económica. Esto normalmente se puede visualizar al realizar un análisis del costo ciclo de vida que puede ser comparado con algunas otras alternativas de pavimentación. El análisis del costo ciclo de vida es una herramienta que nos ayuda para soportar la toma de decisiones.

El mantenimiento que requieren los pavimentos rígidos es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempo y forma adecuados para garantizar las propiedades del pavimento.

Seguridad

Los pavimentos rígidos tienen una superficie de rodamiento con alto grado de planicidad y dada su rigidez esta superficie permanece plana durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas las cuales disminuyen el área de contacto entre llanta y pavimento produciendo el efecto de acu aplaneo en los días de lluvia. Otro fenómeno que se evita con la utilización del concreto hidráulico es la formación de severas deformaciones en las zonas de arranque y de frenado que hacen a los pavimentos ser más inseguros y maltratan fuertemente los vehículos.

Por el color claro del pavimento de concreto hidráulico se tiene una mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en la oscuridad de días nublados.

Altos Índices de Servicio

Los pavimentos rígidos permiten ser construidos con altos índices de servicio, como se menciona en el punto anterior se puede lograr un alto grado de planicidad o un índice de perfil muy bueno, adicionalmente siguiendo las recomendaciones de construcción adecuadas se puede proveer al pavimento de una superficie altamente antiderrapante.

La utilización de pasa juntas permite mantener estos índices de servicio, evitando la presencia de escalonamientos en las losas sobretodo en tramos donde el tráfico es significativamente pesado.

Mejor Distribución de Esfuerzos bajo las Losas

Dada la rigidez de la losa los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles en donde las cargas vehiculares concentran un gran porcentaje de su esfuerzo exactamente debajo del punto de aplicación de la carga y que se van disminuyendo conforme se alejan de la misma. La distribución uniforme de las cargas permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean significativamente menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.²⁶

2.2.3. CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

Los pavimentos rígidos están conformados por la sub rasante, sub base y capa de rodadura que está compuesta de hormigón, la cual va dar una alta resistencia a la flexión.

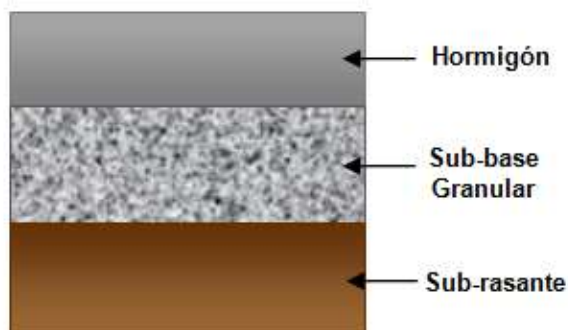
La función de cada una de las capas del pavimento son las siguientes:

Distribuir las tensiones provenientes de la parte superior reduciéndolas hasta valores admisibles para las capas inferiores.

Ser suficientemente resistentes por sí mismas para soportar, sin deformaciones permanentes, las cargas a las cuales están sujetas.

²⁶ CEMEX. Pavimentos de Concreto Cemex, Impulsando el Desarrollo de México (Cap. 1, Pág. 21). Arco Norte, Editorial de México. Hidalgo – Puebla.

FIGURA 2. 3: CAPAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO



FUENTE: <http://docplayer.es/docs-images/29/13169337/images/22-0.png>

2.2.3.1. CONCEPTO DE CAPA SUB RASANTE

Constituye la capa superior de la terracería y puede estar formada por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado, o por material seleccionado procedente de un banco, si el material natural es inadecuado. Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.²⁷

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 sub rasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de

²⁷ ZARATE Aquino Manuel. Pavimentos de Concreto para Carreteras, Parte I (Cap. 1, Pág. 5). Instituto Mexicano de Cemento y del Concreto (IMCYC). México, 2002.

un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la sub rasante.²⁸

La sub rasante puede mejorarse por medio del drenaje, compactación, o estabilización del suelo. En casos de un suelo extremadamente pobre, la remoción y el reemplazo de la sub rasante con un material compatible puede ser la mejor opción.

FIGURA 2. 4: TRABAJO DE COMPACTADO DE SUB RASANTE



FUENTE: <http://www.fcpa.org.pe/imagenes/galeria/248.jpg>

Se debe tener las siguientes consideraciones para la construcción de esta capa:

- Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.
- Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub - base de material seleccionado.
- Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub - base.

Los materiales que se utilicen para la construcción de esta capa, deben ser de preferencia, del tipo: GW (mezclas de gravas y arena con poco o nada de finos), SW

²⁸ CORONADO Iturbe Jorge. Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (Cap. 5, Pág. 2). Secretaria de Integración Económica Centroamericana. Guatemala, 2002.

(arena con grava con poco o nada de finos), SM (mezcla de arena y limo), ML (limos arenosos o arcillosos), e incluso SC (arenas arcillosas), siempre que la porción fina, ósea la arcilla, no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95 al 100% de la prueba de compactación estándar. Cuando los materiales sean del tipo CL (arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad), MH (limos inorgánicos), CH (arcillas inorgánicas de alta plasticidad) y CL-ML y cuando su límite líquido (LL) esté comprendido entre 50% y 100%, se analizará la posibilidad de mejorarlos, con la finalidad de reducir los valores del LL y, en consecuencia, del LP. Cuando el terreno de apoyo sea del tipo MH (limos inorgánicos), CH (arcillas inorgánicas de alta plasticidad) y OH (arcillas orgánicas de media a alta plasticidad) con LL = 100%, serán desechados como material de apoyo. Para ello se recomienda una sustitución del material en espesores mínimos de 30 cm. En todos los casos en que se encuentren bolsas de material con alto contenido de materia orgánica se deberá proceder a su sustitución total con material limoso mezclado con arena y/o grava. Cuando en el corte de suelos naturales afloren fragmentos de roca, éstos no serán admitidos como lecho de apoyo. De ser así, se deberá proceder a la remoción de estos fragmentos endurecidos.²⁹

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener el pavimento rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por refuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción).

Los cambios de volumen de un suelo de sub rasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en

²⁹ SALAZAR Rodríguez Aurelio. Guía para la Construcción de Pavimentos Rígidos (Cap. 1, Pág. 6). Instituto Mexicano de Cemento y Concreto (IMCYC). México, 1997.

impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, una de las mejores opciones es la estabilización de suelos con cal.³⁰

2.2.3.2. CONCEPTO DE CAPA SUB BASE

La sub base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la sub rasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La sub base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.³¹

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 sub rasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la sub base. La sub base 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 sub rasante o sub base adecuada.³²

FIGURA 2. 5: COMPACTADO DE LA CAPA SUB BASE

³⁰ MONTEJO Fonseca Alfonso. Ingeniería de los Pavimentos, Tomo 1 – Fundamentos, Estudios básicos y diseño, Tercera Edición (Pág. 9). Panamericana Formas e Impresos, S.A. Bogotá, 2006.

³¹ MORALES OLIVARES Javier Paul. Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo (Pág. 4). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

³² ARROYO HILTON Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos (Pág. 14). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.



FUENTE: [http://www.canteradecombia.com/panelwi/materiales/d161f2_DSC03196%20\(Medium\).JPG](http://www.canteradecombia.com/panelwi/materiales/d161f2_DSC03196%20(Medium).JPG)

La capa sub base de un pavimento rígido tiene como funciones:

- Impedir la acción de bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la sub rasante facilitando así su evacuación a la bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de la losa.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación del agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la sub rasante y disminuir al mínimo la acción superficial de los cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la sub rasante.³³
- Incrementar el modulo (k) de reacción de la sub rasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.

³³ MONTEJO Fonseca Alfonso. Ingeniería de los Pavimentos, Tomo 1 – Fundamentos, Estudios básicos y diseño, Tercera Edición (Pág. 7). Panamericana Formas e Impresos, S.A. Bogotá, 2006.

- Proporcionar una plataforma trabajo para los equipos de construcción.
- El material deberá cumplir con los siguientes requisitos:
 - El material de la sub base debe ser seleccionada y tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado.
 - El material ha de tener las características de un suelo A1 o A2 aproximadamente.
 - Su límite líquido debe ser inferior al 35% y su índice plástico no mayor a 6.
 - El CBR no podrá bajar del 15%.
 - Si la función principal de la sub base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular y la cantidad de material fino que pasa el tamiz No 200 no deberá ser mayor al 8%.
 - El material compuesto para la capa sub base debe estar libre de material vegetal y terrones o bolas de tierra.
 - El material deberá tener una granulometría adecuada para lograr un grado de compactación aunque después de poner en operación el pavimento tenga lugar a una densificación mínima.
- La sub base se colocará en capas no mayores de 20 cm. de espesor, medido antes de la compactación, y mantendrá un contenido de humedad cercano al óptimo para compactarse a un mínimo del 95% de la densidad máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.³⁴

2.2.3.3. CONCEPTO DE LOSA DE HORMIGÓN

³⁴ MORALES OLIVARES Javier Paul. Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo (Pág. 4). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

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 sub rasante, dado que no usan capa de base.³⁵

Las funciones primordiales que tiene la losa del pavimento rígido son:

- Proporcionar una superficie de rodamiento uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos producto de las cargas de tráfico.
- Impermeabilizar hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.
- Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.³⁶

FIGURA 2. 6: LOSA DE HORMIGÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO



FUENTE: <http://www.scielo.cl/fbpe/img/ric/v27n3/art05-18.jpg>

2.2.4. TIPOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.2.4.1. CONCEPTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE

³⁵ ARROYO HILTON Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos (Pág. 15). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

³⁶ MONTEJO Fonseca Alfonso. Ingeniería de los Pavimentos, Tomo 1 – Fundamentos, Estudios básicos y diseño, Tercera Edición (Pág. 5). Panamericana Formas e Impresos, S.A. Bogotá, 2006.

- **Sin pasadores**

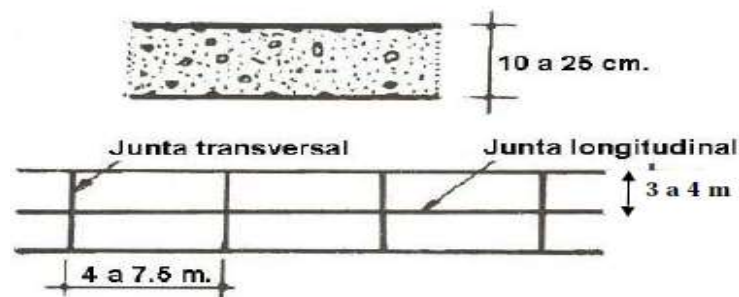
Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento 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, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm.

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

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

FIGURA 2. 7: PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE SIN PASADORES



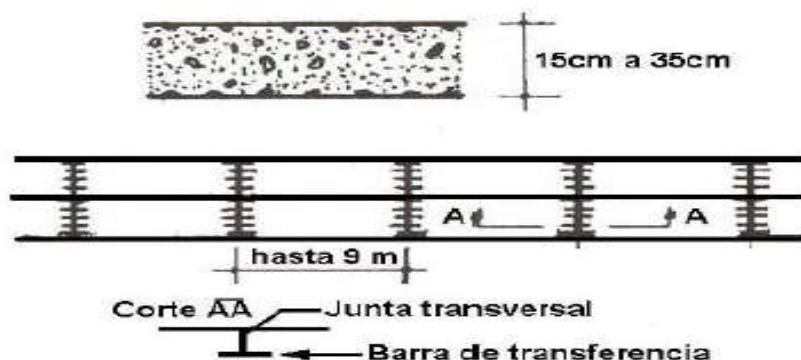
FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 6). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

- **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).³⁷

FIGURA 2. 8: PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE CON PASADORES



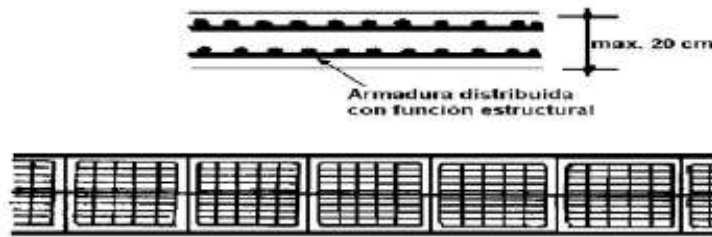
FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 6). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

2.2.4.2. CONCEPTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO CON JUNTAS

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero 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.

FIGURA 2. 9: PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO

³⁷ MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 6). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

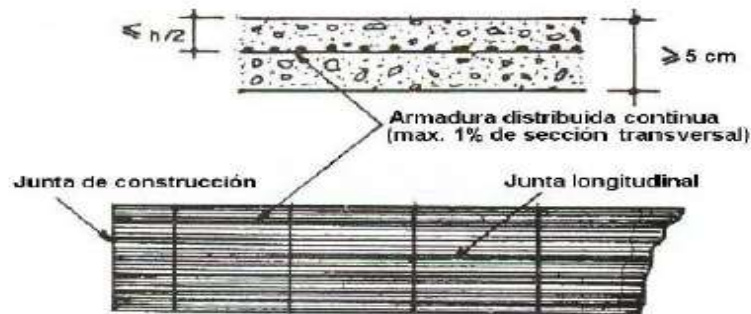


FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 7). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

2.2.4.3. CONCEPTO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.³⁸

FIGURA 2. 10: PAVIMENTO CON REFUERZO CONTINUO



FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 7). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

2.2.5. CONCEPTO DE JUNTAS EN PAVIMENTO RÍGIDO

³⁸ MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 7). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

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

Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.³⁹

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

Las juntas deben estar diseñadas para transferir una porción de la carga entre losas adyacentes minimizando así deflexiones verticales en la junta producidas por las cargas de vehículos. El reducir deflexiones disminuye el potencial bombeo de materiales de la capa sub base, además del escalonamiento.⁴⁰

2.2.5.1. TIPOS DE JUNTAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

En función de su posición con respecto al avance del hormigonado, las juntas en un pavimento de hormigón se pueden clasificar como juntas longitudinales, que son paralelas a dicho avance, y como juntas transversales, que son las perpendiculares al mismo.

Cada una de ellas puede clasificarse a su vez, según la función que realice, en otros tres tipos: juntas de contracción, juntas de construcción y juntas de dilatación o expansión.

³⁹ MORALES OLIVARES Javier Paul. Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo (Pág. 8). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

⁴⁰ INSTITUTO BOLIVIANO DEL CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). Lineamientos Generales para el Diseño Geométrico de Juntas (pág. 1-3). Bolivia, 2005.

FIGURA 2. 11: TIPOS DE JUNTAS

Junta	Tipo	Espaciado	Conexión	Función
Transversal	Contracción	< 4 m (sin pasador) < 5 m (con pasador)	Ninguna o con pasador	Controlar la fisuración provocado por la retracción causada por los cambios de temperatura y de humedad
	Construcción	De acuerdo con proceso constructivo	Con pasador o con barra de atado	Compatibilizar comportamiento de diferentes losas producidas por la interrupción del proceso constructivo
Longitudinal	Contracción	< 5 m	Con barra de atado	Controlar la fisuración provocado por la retracción causada por los cambios de temperatura y de humedad
	Construcción	De acuerdo con proceso constructivo	Con barra de atado	Compatibilizar comportamiento de diferentes losas producidas por la interrupción del proceso constructivo
Expansión	Expansión	Localizados cerca de elementos fijos en la vía (por ejemplo estribos de puente)	Con pasador adaptado	Limitar tensiones debido a la variación de temperatura o cerca de elementos fijos en la vía

FUENTE: AGUADO A. – CARRASCÓN S. – CAVALARO S. – PUIG I. – SENÉS C. MANUAL PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y GESTIÓN DE PAVIMENTOS BICAPA DE HORMIGÓN (pág. 23). Iniland. Barcelona, 2010.

2.2.5.1.1. CONCEPTO DE JUNTAS DE CONTRACCIÓN

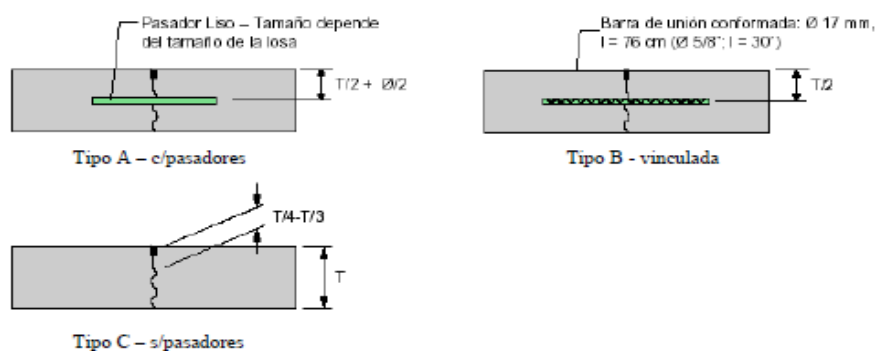
Son las más frecuentes en un pavimento de hormigón y pueden ser tanto transversales como longitudinales. Su misión fundamental es limitar las dimensiones de las losas con objeto de disminuir, hasta valores admisibles, las tensiones producidas tanto por los fenómenos de retracción como por los gradientes térmicos, de forma que no se produzcan fisuras por ello.

La distancia a la que deben disponerse las juntas de contracción depende de factores tales como la mayor o menor retracción del hormigón, su coeficiente de dilatación, el espesor del pavimento, la amplitud de las variaciones de temperatura, el rozamiento existente con la capa de base, etc.

Dicha distancia entre juntas se conoce empíricamente y se puede obtener a partir del espesor de la losa, no debiendo ser más de 20 a 25 veces el mismo.⁴¹

Se emplean para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.⁴²

FIGURA 2. 12: TIPOS DE JUNTAS DE CONTRACCIÓN



FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 7). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

2.2.5.1.2. CONCEPTO DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La

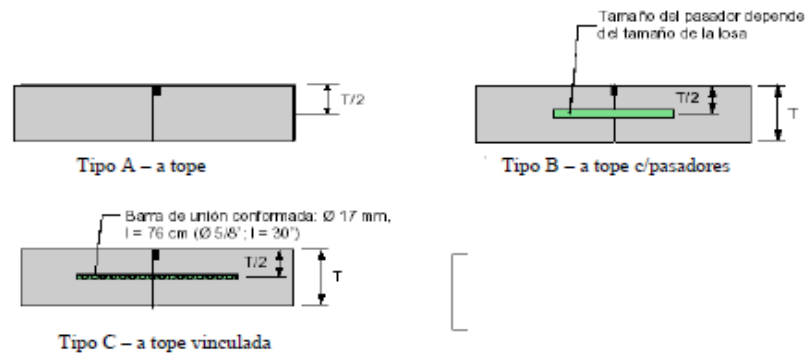
⁴¹ INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA). *Diseño y Ejecución de Juntas en Pavimentos y Soleras de Hormigón* (pág. 2). España, 2013.

⁴² MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 8). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales.⁴³

La junta longitudinal de construcción se usa en la unión de carriles adyacentes, guarniciones y cunetas.

FIGURA 2. 13: TIPOS DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN



FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 9). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

2.2.5.1.3. CONCEPTO DE JUNTAS DE EXPANSIÓN

Se denominan de esta forma a aquéllas que se prevén para absorber las expansiones provocadas por los aumentos de temperatura, evitando empujes indeseables que podrían producir la rotura del pavimento.⁴⁴

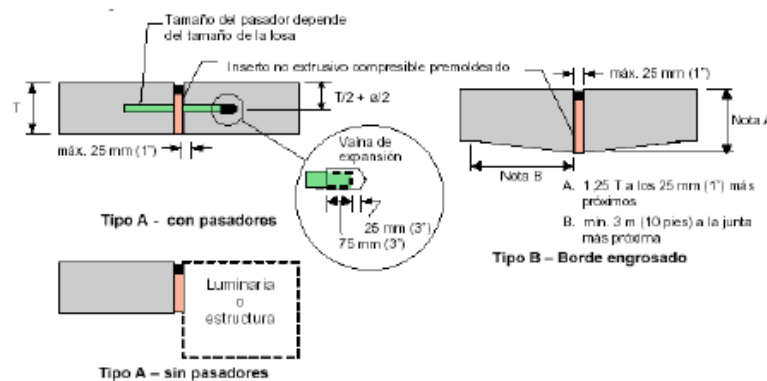
Las juntas de expansión tienen la finalidad de permitir el movimiento vertical u horizontal del pavimento sin causar concentraciones de tensión y daños a estructuras adyacentes o al propio pavimento. Dichas juntas incluyen las juntas a toda la

⁴³ MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 9). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

⁴⁴ INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA). *Diseño y Ejecución de Juntas en Pavimentos y Soleras de Hormigón* (pág. 5). España, 2013.

profundidad y a todo el ancho cerca a los apoyos o estribos de puentes, intersecciones con otros pavimentos y juntas alrededor de estructuras en el interior del pavimento.⁴⁵

FIGURA 2. 14: TIPOS DE JUNTAS DE EXPANSIÓN



FUENTE: MORALES OLIVARES Javier Paul. *Técnicas de Rehabilitación de Pavimentos de Concreto Utilizando Sobre Capas de Refuerzo* (Pág. 9). Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Trabajo fin de Grado, 2005.

2.2.6. ENSAYOS DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

2.2.6.1. CONCEPTO DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTO

La evaluación de un pavimento es la acción de estimar, apreciar, calcular o señalar el valor de algo.

⁴⁵ AGUADO A. – CARRASCÓN S. – CAVALARO S. – PUIG I. – SENÉS C. MANUAL PARA EL PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y GESTIÓN DE PAVIMENTOS BICAPA DE HORMIGÓN (pág. 23). Iniland. Barcelona, 2010.

La evaluación de un pavimento es un proceso de información, interpretación y valoración para la toma de decisiones para la mejora.⁴⁶

2.2.6.1.1. CONCEPTO EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

A través de la evaluación estructural se obtienen respuestas sobre el comportamiento del pavimento como estructura, sometida a las sollicitaciones impuestas por las cargas generadas por el tráfico vehicular y la acción de los agentes ambientales, como temperatura, humedad, etc.

- **Concepto de Viga Benkelman**

Es un instrumento sencillo y es el método más usado para medir las deflexiones en pavimentos. Las mediciones se realizan ubicando la punta de la viga entre las dos ruedas del eje, y midiendo en el dial indicador el rebote que se produce cuando el vehículo se aleja.

- **Concepto Muestras inalterables**

Éste tipo de evaluación se fundamenta en la toma de muestras representativas de los materiales que conforman las diferentes capas del pavimento.

- **Concepto DCP**

Es una herramienta simple y sencilla que permite realizar una evaluación geotécnica en sitio de las capas de suelos que constituyen bases, sub-bases y sub-rasantes de pavimentos.

2.2.6.1.2. CONCEPTO DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

Con la evaluación superficial se busca reflejar el estado del pavimento a través de sus características superficiales, presentes en el momento de la evaluación.⁴⁷

- **Concepto de PCI**

⁴⁶ CUEVA DEL INGENIERO. Evaluación de Pavimentos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <http://www.cuevadecivil.com/2010/03/evaluacion-de-pavimentos.html>

⁴⁷ CIVIL BLOG. Métodos de Evaluación de Pavimentos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 05 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11227828.pdf?repositoryId=342>

Indicador numérico que califica la condición superficial de un pavimento a través del análisis visual de la frecuencia y severidad de los daños del pavimento observados sobre secciones seleccionadas aleatoriamente. El Índice de Condición del Pavimento (PCI) varía entre 0 y 100, para la peor y mejor condición posible, respectivamente.

- **Concepto de PSI**

Se define el Índice de Serviciabilidad como la condición necesaria de un pavimento para proveer a los usuarios un manejo seguro y confortable en un determinado momento.

- **Concepto de IFI**

En lo que respecta a la fricción o resistencia al deslizamiento del pavimento, se considera la condición más desfavorable aquella en la que el pavimento se encuentra mojado.⁴⁸

2.2.7. ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.2.7.1. CONCEPTO DE ESFUERZO

Los esfuerzos a que está sometido un pavimento rígido se originan por una gran diversidad de causas, entre las que se puede mencionar los cambios uniformes y no uniformes de temperatura, cambios de humedad y cargas del tránsito.

2.2.7.1.1. TIPOS DE ESFUERZOS

2.2.7.1.1.1. ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CAMBIO DE TEMPERATURA

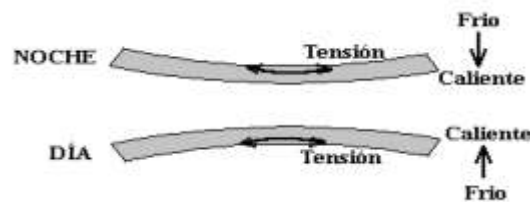
ALABEO POR GRADIENTE TÉRMICO

- Al cambiar la temperatura ambiente durante el día, también cambia la temperatura del pavimento.

⁴⁸ CORROS Maylin. Manual de Evaluación de Pavimentos, Modulo III. Venezuela, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción. Maestría en Vías Terrestres, 2009.

- Este ciclo térmico crea un gradiente térmico en la losa, el cual produce un alabeo en la misma.
- El peso propio de la losa y su contacto con la superficie de apoyo restringen el movimiento, generándose esfuerzos.
- Dependiendo de la hora del día, estos esfuerzos se pueden sumar o restar de los efectos producidos por las cargas del tránsito.

FIGURA 2. 15: ALABEO DE LAS LOSAS DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO



FUENTE: SANCHEZ Sabogal Fernando. Curso Básico de Diseño de Pavimentos, Modulo 3. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/213312262/Curso-Basico-de-Pavimentos-Sabogal>

CONTRACCIONES DURANTE EL FRAGUADO

- La fricción entre la losa y la fundación, debido a la caída de temperatura durante el fraguado del concreto, produce esfuerzos en el concreto y en la armadura que contenga.
- El diseño de la armadura de refuerzo de un pavimento rígido se basa en la consideración de los esfuerzos de fricción

Los esfuerzos friccionales solo son importantes en losas de gran longitud.

EXPANSIÓN Y CONTRACCIÓN POR CAMBIOS UNIFORMES DE TEMPERATURA

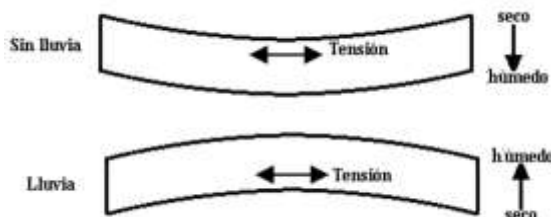
- Las aberturas de las juntas cambian a causa de los cambios de temperatura, alterando las condiciones de transferencia de carga.
- Las características de contracción controlan la abertura de las juntas transversales del pavimento.

- El material que se coloque para sellar las juntas deberá ser capaz de soportar, sin despegarse, los movimientos del concreto cuando ocurra la máxima contracción.⁴⁹

2.2.7.1.1.2. ESFUERZOS PRODUCIDOS POR CAMBIOS DE HUMEDAD

El humedecimiento y secado del concreto genera un fenómeno similar al que se produce cuando se presentan gradientes térmicos. Los cambios de humedad generan un encogimiento, o un alargamiento, de menor magnitud a los que se producen por los gradientes térmicos y se deben tener en cuenta al calcular los cambios dimensionales. Los gradientes de humedad en el espesor generan encorvamientos (alabeos) en la superficie de los elementos de concreto, que pueden afectar el comportamiento de cualquier pieza puesta sobre esa superficie.

FIGURA 2. 16: ALABEO POR CAMBIO DE HUMEDAD



FUENTE: SANCHEZ Sabogal Fernando. Curso Básico de Diseño de Pavimentos, Modulo 3. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/213312262/Curso-Basico-de-Pavimentos-Sabogal>

2.2.7.1.1.3. ESFUERZOS PRODUCIDOS POR LAS CARGAS DEL TRÁNSITO

Las losa de concreto hidráulico al estar expuestas a cargas de tránsito presentan los siguientes esfuerzos:

- Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.

⁴⁹ SANCHEZ Sabogal Fernando. Curso Básico de Diseño de Pavimentos, Modulo 3. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/213312262/Curso-Basico-de-Pavimentos-Sabogal>

- Esfuerzos directos de compresión y cortante causados por las cargas de las ruedas.
- Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la de flexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.

Los esfuerzos más importantes debido a las cargas son los de flexión, dado el alto impacto que tiene sobre la estructura.⁵⁰

2.2.7.2. CONCEPTO DE DEFORMACIÓN

Un pavimento se deforma bajo la acción de una carga, que depende tanto de la magnitud de la carga como de su área de aplicación y posición dentro de la losa. La resistencia a la deformación depende de la rigidez del medio de soporte y de la rigidez de la losa.⁵¹

2.2.7.3. CONCEPTO DE ELEMENTOS FINITOS

El método de los elementos finitos (MEF en castellano o FEM en inglés) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas.⁵²

2.3. MARCO TEÓRICO

2.3.1. DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.3.1.1. MÉTODOS DE DISEÑO

2.3.1.1.1. MÉTODO AASTHO

⁵⁰ SANCHEZ Sabogal Fernando. Curso Básico de Diseño de Pavimentos, Modulo 3. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: <https://es.scribd.com/doc/213312262/Curso-Basico-de-Pavimentos-Sabogal>

⁵¹ SANCHEZ Sabogal Fernando. Pavimentos Tomo 1 – Fundamentos Teóricos y Guías para el Diseño, Primera Edición (pág. 35). Universidad la Gran Colombia. Bogotá, 1984.

⁵² WIKIPEDIA. Método de los Elementos Finitos. [En Línea]. Fecha de Consulta: 2016, 04 de Septiembre. Disponible desde la URL: https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos

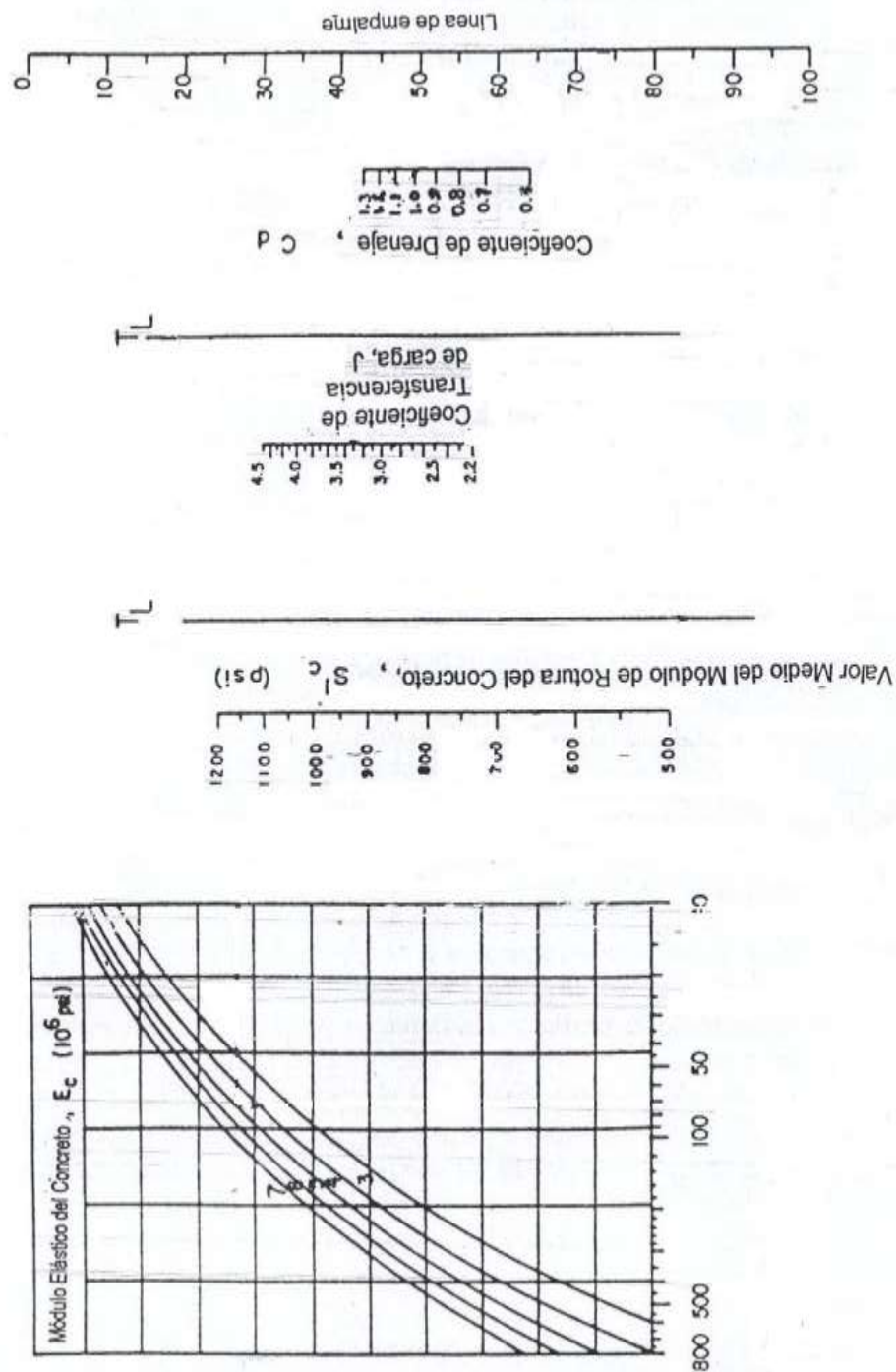
Para determinar el espesor de la losa de forma manual se puede emplear la fórmula de diseño, procedimiento algo tedioso por lo complicado de la misma o por el uso de ábacos de diseño.

FIGURA 2. 17: FÓRMULA PARA DETERMINAR ESPESOR DE LOSA EN PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN AASHTO

$$\log_{10}(E18) = \left\{ \begin{array}{l} \text{Desviación normal estándar} \uparrow \\ \text{Error estándar combinado} \uparrow \\ \text{Espesor} \uparrow \\ Z_r \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.006 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} \\ \text{Serviciabilidad final} \leftarrow \\ + (4.22 - 0.32 \times Pt) \times \log_{10} \left[\frac{\text{Módulo de ruptura} \uparrow \quad \text{Coeficiente de drenaje} \uparrow}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right]} \right] \\ \text{Módulo de transferencia de carga} \leftarrow \quad \text{Módulo de elasticidad} \leftarrow \quad \text{Módulo de reacción} \leftarrow \end{array} \right\}$$

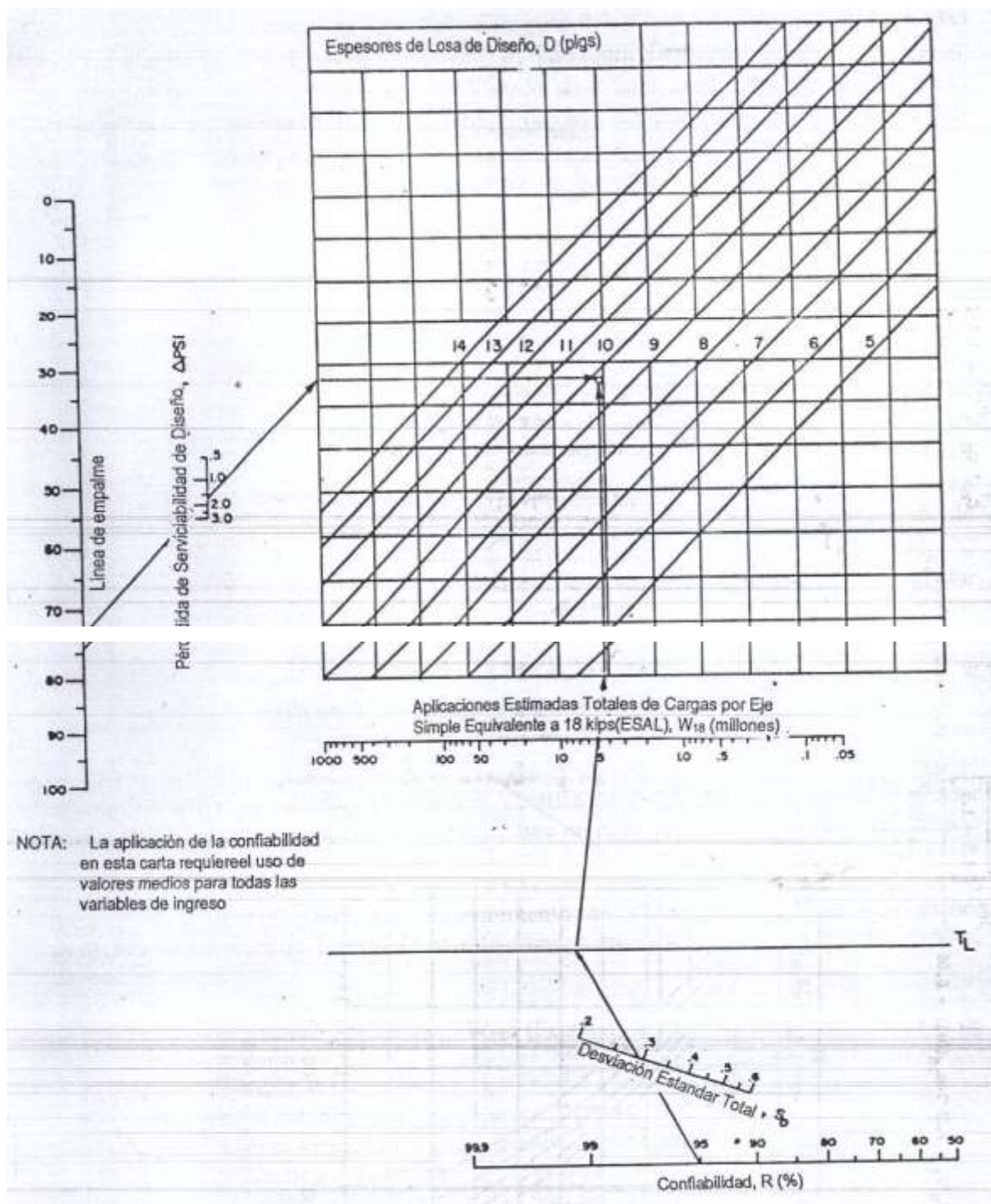
FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 16). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

FIGURA 2. 18: ÁBACO I PARA DETERMINAR ESPESOR DE LOSA EN PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN AASHTO



FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 38). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

FIGURA 2. 19: ÁBACO II PARA DETERMINAR ESPESOR DE LOSA EN PAVIMENTOS RÍGIDOS SEGÚN AASHTO



FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos (Pág. 39). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

2.3.1.1.1. VARIABLES DE DISEÑO

Las variables de diseño de un pavimento rígido son:

- Espesor.
- Serviciabilidad.
- Tránsito.
- Transferencia de carga.
- Propiedades del concreto.
- Resistencia a la subrasante.
- Drenaje.
- Confiabilidad.

a) Espesor

El espesor del pavimento de concreto es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño, el resultado del espesor se ve afectado por todas las demás variables que interviene en los cálculos.

b) Serviciabilidad

En el diseño del pavimento se deben elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, P_o , es función del diseño del pavimento y de la calidad de la construcción. La final o terminal, P_t , es función de la categoría del camino y es adoptada en base a ésta y al criterio del proyectista.

Serviciabilidad inicial:

$$P_o = 4.5 \text{ para pavimentos rígidos}$$

Serviciabilidad final:

$$P_t = 2.5 \text{ o más para caminos muy importantes}$$

$$P_t = 2.0 \text{ para caminos de menor tránsito}^{53}$$

⁵³ INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93), (pág. 172). La Paz – Bolivia, 2006.

La diferencia entre ambos índices es: $\Delta PSI = P_o - P_t$, que se define como pérdida de serviciabilidad.













c) Tránsito

El tránsito es una de las variables más significativas del diseño del pavimento y sin embargo es una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse. Es importante hacer notar que debemos contar con la información más precisa posible del tráfico para el diseño, ya que de no ser así podríamos tener diseños inseguros o con un grado importante de sobre diseño, debido a esto, en este trabajo se tratará de manera sencilla esta parte.

El método AASHTO utiliza en su formulación el número de repeticiones esperadas de carga de Ejes Equivalentes, es decir, que antes de entrar a las fórmulas de diseño, debemos transformar los Ejes de Pesos Normales de los vehículos que circulan por el camino, en Ejes Sencillos Equivalentes de 18 kip (8.2Ton) también conocidos como ESAL's.⁵⁴

FIGURA 2. 20: CONFIGURACIÓN VEHICULAR POR TIPO DE EJES

⁵⁴ ARROYO HILTON Nancy Francia. Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos (Pág. 19 - 20). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

Código	Tipo de Vehículos	Figura
1	Automóviles y Vagonetas	
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	
MB	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	
B2	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	
B3	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	
C2m	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	
C2	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	
C3	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	
CSR	Camiones Semiremolque	
CR	Camiones Remolque	
12	Otros Vehículos	

FUENTE: ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS (ABC). Bolivia, 2008.

d) Transferencia de carga

El concepto de transferencia de cargas, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde.⁵⁵

FIGURA 2. 21: COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGAS

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

FUENTE: INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). *Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93)*, (pág. 199). La Paz – Bolivia, 2006.

e) Propiedades del concreto

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil.

- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c)

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión ($S'c$) o Módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.⁵⁶

⁵⁵ INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). *Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93)*, (pág. 198). La Paz – Bolivia, 2006.

⁵⁶ ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 25). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

FIGURA 2. 22: MÓDULO DE RUPTURA RECOMENDADO

Tipo de pavimento	MR recomendado	
	kg/cm ²	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas industriales	45.0	640.1
Urbanas principales	45.0	640.1
Urbanas secundarias	42.0	597.4

FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 26). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura, 2010.

El módulo de elasticidad del concreto (E_c) está relacionado con su módulo de ruptura y se determina mediante la norma ASTM C469. En su defecto correlacionarlo con otras características del material como puede ser su resistencia a la compresión (f'_c). Esto es:

FIGURA 2. 23: ECUACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

$$E_c = 21000 \times f'_c^{1/2}$$

FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 27). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

f) Resistencia a la sub rasante

El módulo de reacción del suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde se soportará el cuerpo del pavimento.

La determinación de este valor usualmente estimado por correlación a una prueba simple, tal como la Relación de Soporte de California (CBR).

FIGURA 2. 24: TIPOS DE SUELOS DE SUB RASANTE Y VALORES APROXIMADOS DE K

TIPOS DE SUELO	SOPORTE	RANGO DE VALORES DE K (PCI)
Suelo de grano fino en el cual el tamaño de las partículas de limo y arcilla predominan	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena con gravas, con una cantidad considerable de limo y arcilla	Medio	130 – 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 – 220
Subbase tratada con cemento	Muy alto	250 - 400

FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 28). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

g) Drenaje

En cualquier tipo de pavimento, el drenaje es un factor importante en el comportamiento de la estructura del pavimento a lo largo de su vida útil y por lo tanto en el diseño del mismo.

Se puede evaluar mediante el coeficiente de drenaje (Cd) el cual depende de:

- Calidad del drenaje.
- Viene determinado por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada de la estructura del pavimento.
- Exposición a la saturación.

Porcentaje de tiempo durante el año en que un pavimento está expuesto a niveles de humedad que se aproximan a la saturación. Este valor depende de la precipitación media anual y de las condiciones del drenaje. Para el caso se definen varias condiciones del drenaje:

FIGURA 2. 25: CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de drenaje	Tiempo en que tarde el agua en ser evacuada
Excelente	El suelo libera el 50% de agua en 2 horas
Bueno	El suelo libera el 50% de agua en 1 día
Mediano	El suelo libera el 50% de agua libre en 7 días
Malo	El suelo libera el 50% de agua libre en 1 mes
Muy malo	El agua no evacua

FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 29). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

Combinando todas las variables que interviene para llegar a determinar el coeficiente de drenaje Cd, se llega a los valores de la siguiente Tabla:⁵⁷

FIGURA 2. 26: VALORES PARA EL COEFICIENTE DE DRENAJE

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1% - 5%	5% - 25%	más del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Mediano	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Mala	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Muy malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 30). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

h) Confiabilidad

Los factores estadísticos que influyen en el comportamiento de los pavimentos son:

- Confiabilidad R.
- Desviación estándar (valores entre 0,3 – 0,4 para pavimentos rígidos).

⁵⁷ FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 28 - 29). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

La confiabilidad está definida como la probabilidad de que el sistema de pavimento se comporte de manera satisfactoria durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación.⁵⁸

FIGURA 2. 27: NIVELES DE CONFIABILIDAD EN FUNCIÓN AL TIPO DE CARRETERA

Clasificación del camino	Urbano	Rural
Autopistas	85% - 99.9%	80% - 99.9%
Arterias principales	80% - 99%	75% - 99%
Colectoras	80% - 95%	75% - 95%
Locales	50% - 80%	50% - 80%

FUENTE: ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 31). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

La confiabilidad se relación con el valor Z_r (desviación normal estándar):

FIGURA 2. 28: RELACION DE CONFIABILIDAD Y VALOR DE ZR

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_0
50	0.000
60	0.253
70	0.524
75	0.674
80	0.841
85	1.037
90	1.282
91	1.340
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99.9	3.090
99.99	3.750

FUENTE: INSTITUTO BOLIVIANO DE CEMENTO Y HORMIGÓN (IBCH). *Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93)*, (pág. 196). La Paz – Bolivia, 2006.

2.3.1.1.1.1. DETERMINACIÓN DE TRÁFICO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Concepto de tránsito

⁵⁸ ARROYO HILTON Nancy Francia. *Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos* (Pág. 30). México DF, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería. Tesis de Licenciatura., 2010.

Los vehículos de todo tipo, con sus respectivas cargas, considerados aisladamente o en conjunto mientras utilizan cualquier vía.

Volumen de Tránsito

Número de vehículos que pasan por una sección dada de un canal o vía durante un período determinado

Promedio Diario de Tránsito (PDT o TPDA)

Volumen promedio de tránsito en veinticuatro (24) horas, obtenido al dividir el volumen total de un determinado período de tiempo, generalmente un (1) año, entre el número de días del mismo período.

Volumen de tránsito Actual

Es aquel que circularía por una vía si ésta fuera abierta al tránsito. En el caso de vías existentes, donde se cuenta con datos estadísticos, el tránsito actual se puede obtener proyectando para la fecha en consideración la tendencia de los registros históricos.

En el caso de vías que van a ser mejoradas, el tránsito actual estará compuesto por el existente antes de la mejora más el tránsito atraído de otras vías cercanas por las ventajas que ésta ofrece. En el caso de vías nuevas todo el tránsito será atraído.

Tasa de Crecimiento (TC)

Es el incremento anual del volumen de tránsito en una vía, expresado en porcentaje. Se determina en base a los datos de las estaciones de conteo, extrapolando la tendencia de los datos estadísticos.⁵⁹

2.3.2. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

⁵⁹ CORROS Maylin. Manual de Evaluación de Pavimentos, Modulo III (Cap. 2 – pág. 2). Venezuela, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Tecnología de la Construcción. Maestría en Vías Terrestres, 2009.

2.3.2.1. CÁLCULO DE ESFUERZOS MEDIANTE SOFTWARE EVERFE 2.24

Este programa permite modelar de forma fácil en 3D elementos finitos y simula la repuesta de sistemas de pavimento en hormigón articulados sometidos a cargas axiales y a (acciones) fenómenos ambientales, y a encogimientos.

EverFE permite modelar hasta 9 losas en una configuración de máximo 3 por 3, pudiendo considerar hasta 3 capas base elásticas, permitiendo que la superior pueda ser modelada como adherida o no adherida a la losa.

En lo que a cargas se refiere, se pueden definir distintas configuraciones de ejes. Los efectos térmicos y de humedad a través del espesor de la losa, como también el acortamiento del hormigón, pueden ser simulados mediante gradientes térmicos lineales, bilineales y trilineales.

La losa y las capas subyacentes son tratadas como un medio tridimensional, linealmente elástico e isotrópico.

EverFE puede considerar la transferencia de corte que ocurre por la fricción y la trabazón de agregados que existe entre la losa y la capa base, como así también puede simular de forma lineal o no lineal, la transferencia de carga en las juntas por trabazón de agregados.

El análisis de los resultados se hace efectivo en la visualización gráfica de las tensiones, desplazamientos de las distintas capas, fuerzas y momentos internos generados en las barras.

Una vez realizadas las corridas en el software EverFE y obtenidos los resultados para cada uno de los casos considerados, se han obtenido las tensiones máximas de tracción solicitantes, aquellas que podrían comprometer la resistencia admisible que el hormigón puede llegar a resistir.

2.3.2.2. DETERMINACIÓN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS POR EL MÉTODO DE WESTERGAARD

Westergaard analiza tres diferentes casos para el cálculo de esfuerzos y desplazamientos dentro de una losa (borde, interior y esquina), los mismos que son consideramos como los más críticos.

- Carga en el interior de la losa. Ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, lejana a los bordes.
- Carga en la esquina de la losa. Ocurre cuando el centro de la carga está en la esquina de la losa.
- Carga en el borde de la losa. Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a las esquina.⁶⁰

2.3.2.3. DETERMINACIÓN DE LA DEFLEXIÓN MEDIANTE VIGA BENKELMAN

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman”.

Se entiende por deflexión aquella deformación que sufre el pavimento por el efecto de las flexiones internas.

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple, para el caso de la deflexión máxima, (Do) se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para en caso de la deflexión a 25 cm (D25) se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final, de igual manera encontrar la diferencia para 50, 100, 150, 200 y 500 cm con la lectura final. Estas diferencias deben multiplicarse por un factor de corrección debido a la relación de brazos de la Viga Benkelman, que para todas las deflexiones calculadas la relación es de 1:1, por lo tanto este factor es 1.

Es de vital importancia tomar en cuenta la temperatura del pavimento al momento de realizar la prueba, ya que ésta tiene una influencia directa sobre las Deflexiones registradas.

⁶⁰ MONTEJO Fonseca Alfonso. Ingeniería de los Pavimentos, Tomo 1 – Fundamentos, Estudios básicos y diseño, Tercera Edición (Pág. 187). Panamericana Formas e Impresos, S.A. Bogotá, 2006.

FIGURA 2. 29: FÓRMULA PARA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CALCULADAS

$$D_{20} = \frac{D_t}{(K \times (T^{\circ} - 20^{\circ}) \times e + 1)}$$

FUENTE: ALVAREZ Quintero María de la Caridad. Metodología para la Evaluación de Pavimento de Carretera, para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la Medida de Deflexiones con Viga Benkelman. La Habana – Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Vial, 2012.

Se debe calcular el radio de curvatura, el cual es una característica fundamental para determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción, que sufren las capas del pavimento al aplicar una carga puntual o móvil. Este valor con ayuda de la deflexión auxiliar D25.

FIGURA 2. 30: FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA

$$R = \frac{10 \times (25)^2}{2 \times (D_0 - D_{25})}$$

FUENTE: ALVAREZ Quintero María de la Caridad. Metodología para la Evaluación de Pavimento de Carretera, para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la Medida de Deflexiones con Viga Benkelman. La Habana – Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Vial, 2012.

Luego se debe calcular la deflexión característica Dc, la cual es igual a $D_c = D_p + 1.645 \times \text{Desv. Estándar}$.⁶¹

⁶¹ ALVAREZ Quintero María de la Caridad. Metodología para la Evaluación de Pavimento de Carretera, para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la Medida de Deflexiones con Viga Benkelman. La Habana – Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Vial, 2012.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL PROGRAMA EVERFE 2.24 PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS LOS TRAMOS DE ESTUDIO

CAPÍTULO III

3.1. INTRODUCCIÓN

El programa EVERFE 2.24 permite el análisis y la obtención de esfuerzos y desplazamientos, por medio de elementos finitos tridimensionales, que simulan el comportamiento del pavimento rígido con juntas, bajo la acción de cargas en ejes y efectos térmicos del medioambiente.

El programa computacional EVERFE 2.24 es un software de fácil y versátil aplicación, con él se puede obtener la relación de esfuerzo – desplazamiento para las cargas de tráfico aplicadas a los tramos de estudio.

3.2. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Los tramos de estudio para el presente trabajo son 3, los cuales están ubicados en el Departamento de Tarija en la provincia Cercado en zonas urbanas de la ciudad.

Los tramos de estudios son:

- Tramo 1: Accesos Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija.
- Tramo 2: Avenida Circunvalación entre calle Froilán Tejerina y Avenida Panamericana.
- Tramo 3: Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y Avenida Padilla.

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

Este tramo se encuentra a 15 minutos de la Plaza Principal de la Ciudad de Tarija hacia la tranca del Portillo (carretera el chaco), presenta un la progresiva inicial 0+000 que refleja las coordenadas latitud sur $21^{\circ}33'48.76''$ – longitud oeste $64^{\circ}40'32.22''$ y el punto final en la progresiva 1+1200 que se encuentra en las coordenadas latitud sur $21^{\circ}33'43.75''$ – longitud oeste $64^{\circ}40'37.78''$.

IMAGEN 3. 1: UBICACIÓN TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA



FUENTE: Imagen Google Earth.

Elaboración Trazo: Propia.

TABLA 3. 1: UBICACIÓN DE PUNTOS EN EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		
PROGRESIVA	LATITUD	LONGITUD
0+000	21°33'48.76"S	64°40'32.22"O
0+150	21°33'44.90"S	64°40'29.01"O
0+300	21°33'41.12"S	64°40'25.91"O
0+450	21°33'37.25"S	64°40'22.83"O
0+650	21°33'32.83"S	64°40'25.52"O
0+870	21°33'34.87"S	64°40'30.66"O
1+020	21°33'38.46"S	64°40'33.58"O
1+170	21°33'42.51"S	64°40'36.81"O
1+200	21°33'43.75"S	64°40'37.78"O

FUENTE: Elaboración Propia.

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA

Este tramo como su nombre lo indica es el primero anillo de circunvalación que se realizó en la ciudad de Tarija, que en la actualidad es el más utilizada por el transporte pesado y tráfico vehicular del are circundante, tramo que se encuentra a 10 minutos aproximadamente de la Plaza Principal de la Ciudad de Tarija.

El punto inicial en este tramo se encuentra a la altura de la calle Froilán Tejerina, teniendo como progresiva 0+000, el mismo que presenta las coordenadas de latitud sur $21^{\circ}30'50.47''$ – longitud oeste $64^{\circ}44'14.21''$ y el punto final en la progresiva 1+110 que se encuentra en las coordenadas latitud sur $21^{\circ}30'38.96''$ – longitud oeste $4^{\circ}44'49.96''$.

IMAGEN 3. 2: UBICACIÓN TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA



FUENTE: Imagen Google Earth.

Elaboración Trazo: Propia

TABLA 3. 2: UBICACIÓN DE PUNTOS EN EL TRAMO 2

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN (ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA).		
PROGRESIVA	LATITUD	LONGITUD
0+000	21°30'50.47"S	64°44'14.21"O
0+150	21°30'48.50"S	64°44'18.96"O
0+300	21°30'46.70"S	64°44'23.80"O
0+450	21°30'45.06"S	64°44'28.69"O
0+600	21°30'43.55"S	64°44'33.71"O
0+750	21°30'42.07"S	64°44'38.60"O
0+900	21°30'40.67"S	64°44'43.60"O
1+050	21°30'39.34"S	64°44'48.58"O
1+100	21°30'38.96"S	64°44'49.96"O

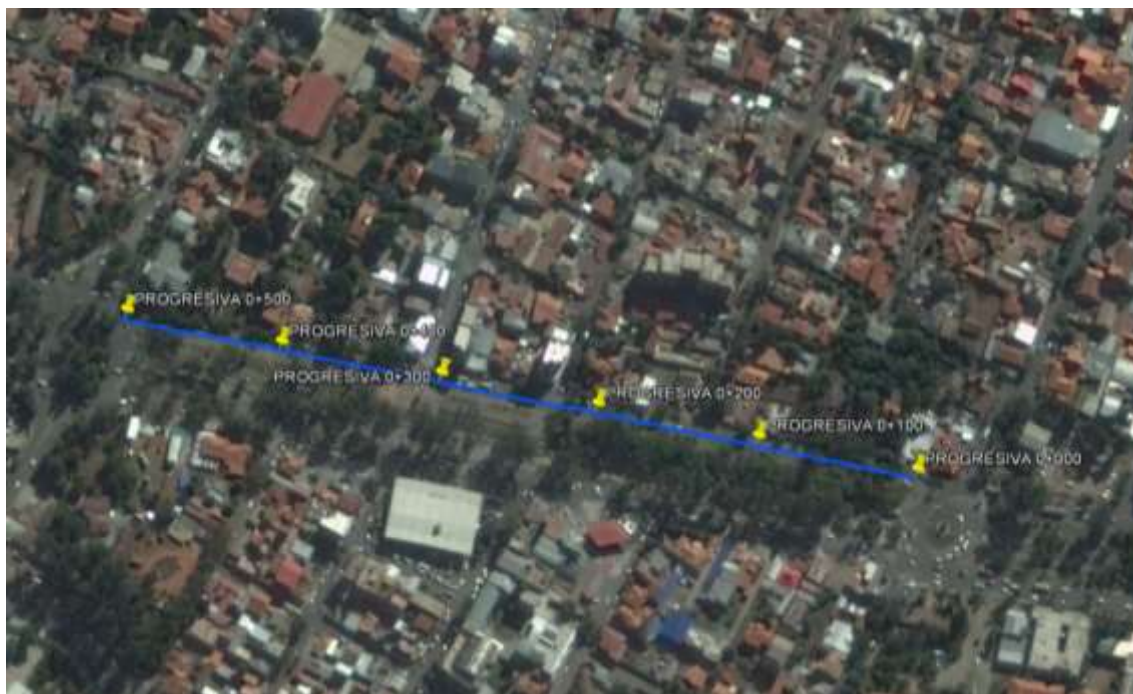
FUENTE: Elaboración Propia.

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA

Este tramo se encuentra emplazado sobre la avenida principal de la ciudad de Tarija a la altura del barrio El Tejar que se encuentra a 10 min de la plaza principal de la ciudad, por el mismo circulan movilidades de pequeño y mediano tonelaje.

El punto de inicio de este tramo se encuentra sobre la progresiva 0+000, el mismo que se halla en las coordenadas latitud sur 21°32'29.51" – longitud oeste 64°43'19.75" y el punto final en la progresiva 0+500 que se encuentra en las coordenadas latitud sur 21°32'26.31" – longitud oeste 64°43'36.74".

IMAGEN 3. 3: TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA



FUENTE: Imagen Google Earth.

Elaboración trazo: Propia.

TABLA 3. 3: UBICACIÓN DE PUNTOS EN EL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA (ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA).		
PROGRESIVA	LATITUD	LONGITUD
0+000	21°32'29.51"S	64°43'19.75"O
0+100	21°32'28.84"S	64°43'23.18"O
0+200	21°32'28.19"S	64°43'26.63"O
0+300	21°32'27.57"S	64°43'29.99"O
0+400	21°32'26.95"S	64°43'33.41"O
0+500	21°32'26.31"S	64°43'36.74"O

FUENTE: Elaboración Propia.

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Los tres tramos que serán objeto de estudio en el presente trabajo de investigación se encuentran en diferentes zonas urbanas de la ciudad de Tarija, los cuales pertenecen a la provincia Cercado del Departamento de Tarija.

La provincia Cercado es una de las 6 que conforman el Departamento de Tarija, está se encuentra ubicada en el centro-oeste del departamento y limita al noroeste con la Provincia Méndez, al este con la Provincia de Burdet O'Connor, al sur con la Provincia Arce y al suroeste con la Provincia Avilés. Tarija es la capital de todo el Departamento.

La ciudad de Tarija tiene un clima templado con una temperatura promedio de 25 °C.

Sus recursos hídricos están distribuidos en dos cuencas: la del río Santa Ana y la de los ríos Tolomosa y Sella, siendo este último afluente del río Guadalquivir.

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

El tramo perteneciente a los Accesos a la Nueva Terminal de Buses de la Ciudad de Tarija fue concluido hace casi dos años, el cual hasta el momento aún no se encuentra en estado de operación, solo con tránsito de movilidades livianas de uso particular.

Las características de este tramo se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 3. 4: CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		
Espesor de Losa =	25	cm
Dimenciones de Losa =	3,0*1,9	m
Resistencia a la Compresion del Concreto (f _c) =	366	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	2	%
CBR Capa Sub Rasante Mejorada =	39	%
CBR Capa Sub Base =	44	%
Espesor de Capa Sub Base =	38	cm
Espesor de Capa Sub Rasante Mejorada =	24	cm
Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) =	3873380	

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En Anexos se presenta el reporte fotográfico y planillas para la obtención de estos valores.

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA

En la Avenida Circunvalación el tramo inicia a la altura de la calle Froilán Tejerina y va hasta la salida a la Avenida Panamericana, el pavimento en esta zona es un pavimento rígido, por el cual circula un tránsito compuesto por movilidades de tipo liviano, mediano y pesado.

Las características de este tramo se detallan en la siguiente tabla:

TABLA 3. 5: CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO 2

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.		
Espesor de Losa =	21	cm
Dimensiones de Losa =	4,15*3,75	m
Resistencia a la Compresion del Concreto (f'c) =	428	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3,7	%
CBR Capa Sub Rasante Mejorada =	18	%
CBR Capa Sub Base =	45	%
Espesor de Capa Sub Base =	27	cm
Espesor de Capa Sub Rasante Mejorada =	34	cm
Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) Carril Derecho =	4054420	
Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) Carril Izquierdo =	5439595	

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En Anexos se presenta el reporte fotográfico y planillas para la obtención de estos valores.

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA

En la Avenida Jaime Paz Zamora el tramo comienza en calle España hasta la Avenida Padilla, por esta zona circula tráfico liviano de uso particular y público, tráfico mediano y tráfico pesado en pequeña proporción, este tramo presenta una circulación en ambos sentidos.

TABLA 3. 6: CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.		
Espesor de Losa =	22	cm
Dimensiones de Losa =	4*3,3	m
Resistencia a la Compresion del Concreto (f'c) =	370	kg/cm ²
CBR Capa Sub Rasante Terreno Natural =	3	%
CBR Capa Sub Rasante Mejorada =	16	%
CBR Capa Sub Base =	40	%
Espesor de Capa Sub Base =	32	cm
Espesor de Capa Sub Rasante Mejorada =	19	cm
Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) Carril Derecho =	2967085	
Trafico Promedio Diario Anual (TPDA) Carril Izquierdo =	604075	

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En Anexos se presenta el reporte fotográfico y planillas para la obtención de estos valores.

3.3.1. DATOS REQUERIDOS PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZO Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

3.3.1.1. DATOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS CON EL PROGRAMA EVERFE 2.24

Para la determinación de esfuerzos y desplazamientos con ayuda del software EVERFE 2.24 se necesita ingresar los siguientes datos, los cuales se detallan en las tablas que se presentan a continuación:

**TABLA 3. 7: DATOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS –
DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EVERFE 2.24 EN EL TRAMO 1**

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.	
Dimensiones de losa (mm)	3000*1900
Espesor de pavimento (mm)	250
Espesor de Capa Sub Base (mm)	380
Módulo de elasticidad del concreto (MPa)	28329,22
Coefficiente de Poisson del concreto	0.15
Coefficiente de expansión térmica	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Densidad de la losa (kg/m^3)	2400
Módulo de elasticidad del acero (MPa)	200000
Coefficiente de Poisson del acero	0.3
Módulo de elasticidad de la capa sub base (MPa)	120
Coefficiente de Poisson de la capa sub base	0.15
Densidad de la capa sub base (kg/m^3)	1700
Valor de reacción combinado de la sub rasante (MPa/mm)	0.120
Carga (KN)	80
Número de pasadores	3

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos de presenta reportes fotográficos y tablas para la obtención de estos valores.

**TABLA 3. 8: DATOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS –
DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EVERFE 2.24 EN EL TRAMO 2**

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.	
Dimensiones de losa (mm)	4150*3750
Espesor de pavimento (mm)	210
Espesor de Capa Sub Base (mm)	270
Módulo de elasticidad del concreto (MPa)	30634,87
Coefficiente de Poisson del concreto	0.15
Coefficiente de expansión térmica	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Densidad de la losa (kg/m^3)	2400
Módulo de elasticidad del acero (MPa)	200000
Coefficiente de Poisson del acero	0.3
Módulo de elasticidad de la capa sub base (MPa)	120
Coefficiente de Poisson de la capa sub base	0.15
Densidad de la capa sub base (kg/m^3)	1700
Valor de reacción combinado de la sub rasante (MPa/mm)	0.0725
Carga (KN)	80
Número de pasadores	6

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se presenta reportes fotográficos y tablas para la obtención de estos valores.

TABLA 3. 9: DATOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EVERFE 2.24 EN EL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.	
Dimensiones de losa (mm)	4000*3300
Espesor de pavimento (mm)	220
Espesor de Capa Sub Base (mm)	320
Módulo de elasticidad del concreto (MPa)	28483,61
Coefficiente de Poisson del concreto	0.15
Coefficiente de expansión térmica	$1.1 \cdot 10^{-5}$
Densidad de la losa (kg/m^3)	2400
Módulo de elasticidad del acero (MPa)	200000
Coefficiente de Poisson del acero	0.3
Módulo de elasticidad de la capa sub base (MPa)	120
Coefficiente de Poisson de la capa sub base	0.15
Densidad de la capa sub base (kg/m^3)	1700
Valor de reacción combinado de la sub rasante (MPa/mm)	0.064
Carga (KN)	80
Número de pasadores	7

FUENTE: Elaboración Propia.

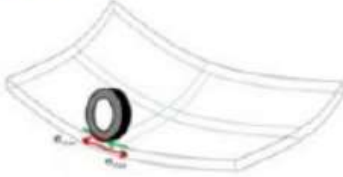
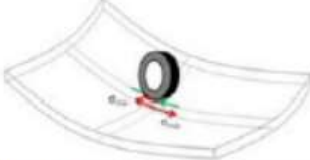
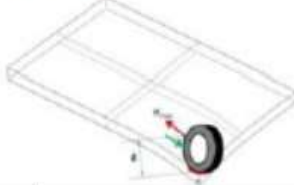
Nota: En anexos de presenta reportes fotográficos y tablas para la obtención de estos valores.

3.3.1.2. DATOS REQUERIDOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EL MÉTODO WESTERGAARD

El primer modelo completo desarrollado para describir el comportamiento completo de los pavimentos de concreto fue el de Westergaard. Este modelo analiza las losas de concreto están en equilibrio y se comportan como un sólido homogéneo elástico.

El método de Westergaard analiza los esfuerzos y desplazamientos debido a las cargas de tránsito en los puntos más críticos dentro de una losa (interior, borde y esquina).

FIGURA 3. 1: FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS PARA DIFERENTES UBICACIONES DE CARGA DENTRO DE LAS LOSAS SEGÚN WESTERGAARD

Ilustración	Formula
<p>Borde de losa</p> 	$\delta_{\text{borde (circulo)}} = \frac{\sqrt{2 + 1.2\nu} \cdot P}{\sqrt{Eh^3k}} \left[1 - \frac{(0.76 + 0.4\nu)a}{l} \right]$ $\sigma_b = \frac{0.572P}{h^2} \left[4\log\left(\frac{l}{b}\right) + 0.359 \right]$
<p>Interior de losa</p> 	$\delta_{\text{interior}} = \frac{P}{8k l^2} \left\{ 1 + \frac{1}{2\pi} \left[\ln\left(\frac{a}{2l}\right) - 0.673 \right] \left(\frac{a}{l}\right)^2 \right\}$ $\sigma_i = \frac{0.3162P}{h^2} \left[4\log\left(\frac{l}{b}\right) + 1.069 \right]$
<p>Esquina de losa</p> 	$\sigma_e = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)^{0.6} \right]$ $\delta_{\text{esquina}} = \frac{P}{k \cdot l^2} \left[1.1 - 0.88 \left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right) \right]$
$\sigma_b, \sigma_i, \sigma_e$	Esfuerzos máximos en las localizaciones respectivas
P	Carga por rueda
h	Espesor de la losa
a	Radio del área cargada
l	Radio de rigidez relativa
b	Radio de la sección resistente $b = \sqrt{1.6(a)^2 + h^2} - 0.675(h)$

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)k}}$$

FUENTE: PRIETO PEÑA María Mónica - ÁNGEL RAMOS Liz Stephany. Modelación Numérica de Pisos Industriales Considerando la Variabilidad en la Solicitud de Cargas. Bogotá – Colombia: Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil, 2014.

**TABLA 3. 10: DATOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS
– DESPLAZAMIENTOS SEGÚN WESTERGAARD EN EL TRAMO 1**

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		
Carga por Rueda (P)=	40,2	KN
Espesor de losa (h)=	0,25	m
Radio del Area Cargada (a)=	0,15	m
Radio de la Rigidez Relativa (l)=	0,749	m
Radio de la Seccion Resistente (b)=	0,145	m
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec)=	28329,22	Mpa
Coefficiente de Poisson (μ)=	0,15	
Modulo de Reaccion Combinado de la Sub Rasante (k)=	120	Mpa/m

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos de presenta reportes fotográficos y tablas para la obtención de estos valores.

**TABLA 3. 11: DATOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS
– DESPLAZAMIENTOS SEGÚN WESTERGAARD EN EL TRAMO 2**

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.		
Carga por Rueda (P)=	40,2	KN
Espesor de losa (h)=	0,21	m
Radio del Area Cargada (a)=	0,15	m
Radio de la Rigidez Relativa (l)=	0,760	m
Radio de la Seccion Resistente (b)=	0,141	m
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec)=	30634,87	Mpa
Coefficiente de Poisson (μ)=	0,15	
Modulo de Reaccion Combinado de la Sub Rasante (k)=	72,5	Mpa/m

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos de presenta reportes fotográficos y tablas para la obtención de estos valores.

**TABLA 3. 12: DATOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE ESFUERZOS
– DESPLAZAMIENTOS SEGÚN WESTERGAARD EN EL TRAMO 3**

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.		
Carga por Rueda (P)=	40,2	KN
Espesor de losa (h)=	0,22	m
Radio del Area Cargada (a)=	0,15	m
Radio de la Rigidez Relativa (l)=	0,797	m
Radio de la Seccion Resistente (b)=	0,142	m
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec)=	28483,61	Mpa
Coefficiente de Poisson (μ)=	0,15	
Modulo de Reaccion Combinado de la Sub Rasante (k)=	64	Mpa/m

FUENTE: Elaboración Propia.

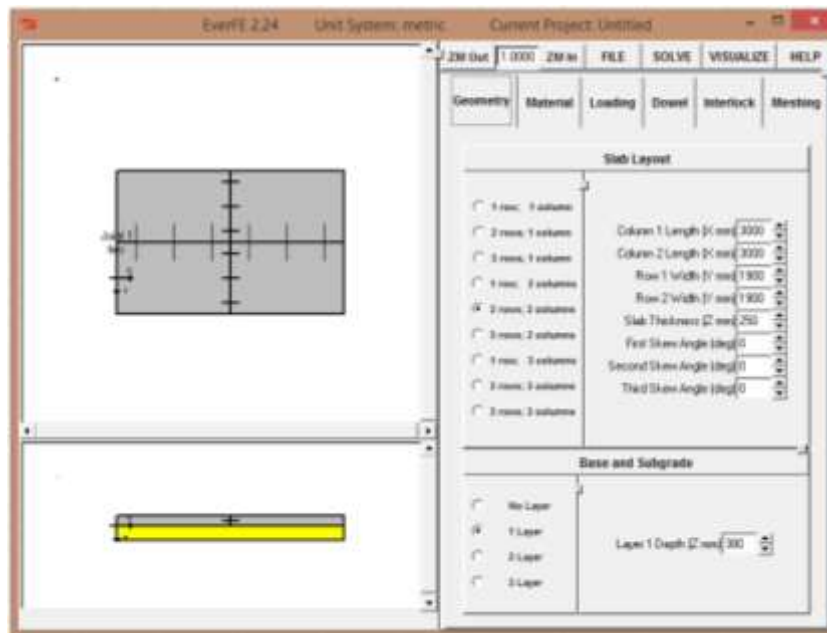
Nota: En anexos de presenta reportes fotográficos y tablas para la obtención de estos valores.

3.4. INTRODUCCIÓN DE DATOS AL PROGRAMA EVERFE 2.24 PARA EL CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Se presenta la introducción de datos para las diferentes ubicaciones de carga dentro de las losas en los tramos de estudio.

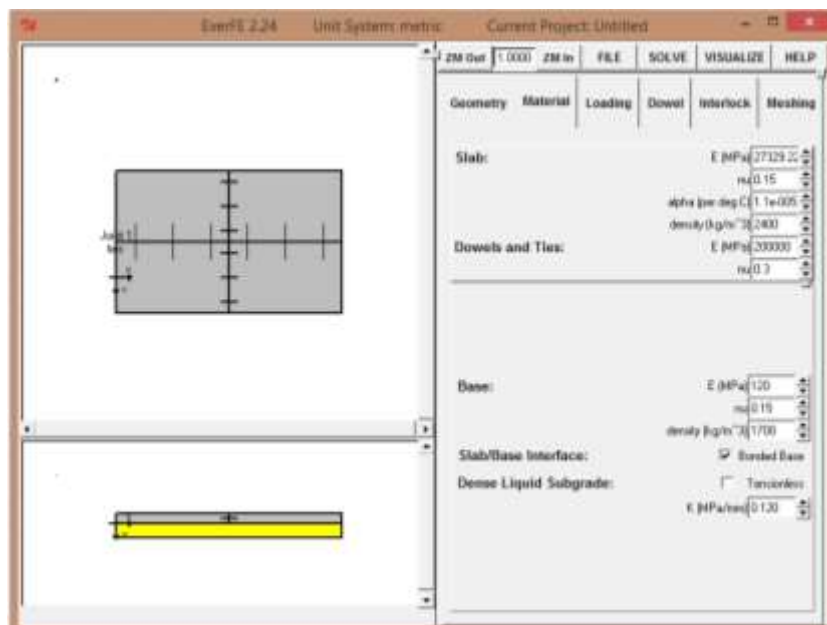
TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

FIGURA 3. 2: INGRESO DE DATOS GEOMÉTRICOS



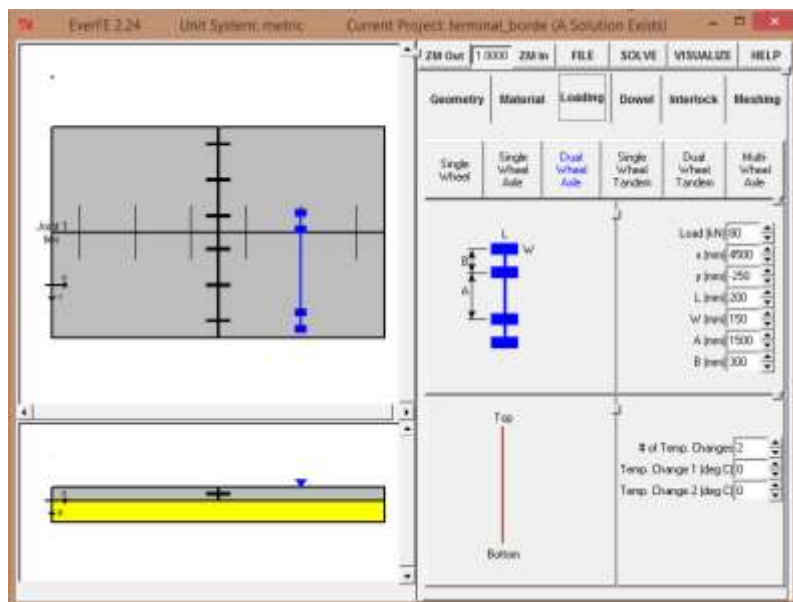
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 3: INGRESO DE DATOS DE MATERIALES



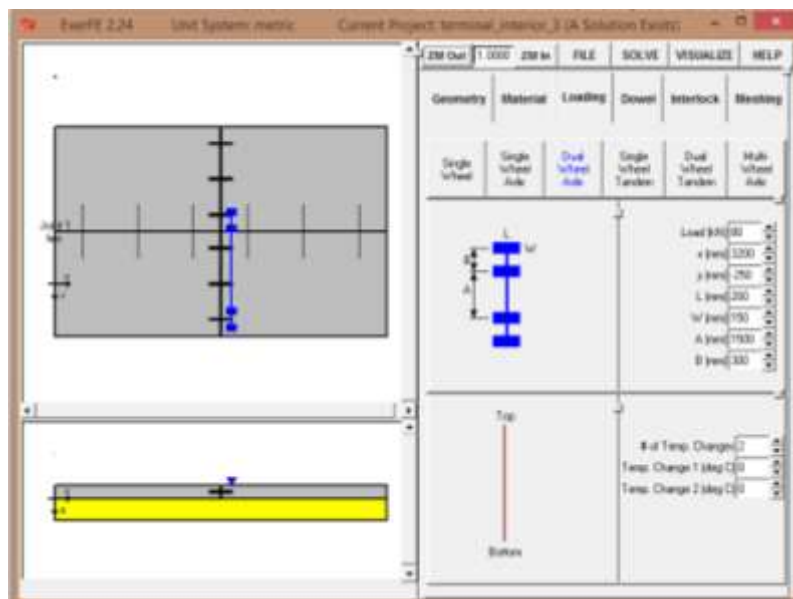
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 4: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN EL BORDE DE LA LOSA



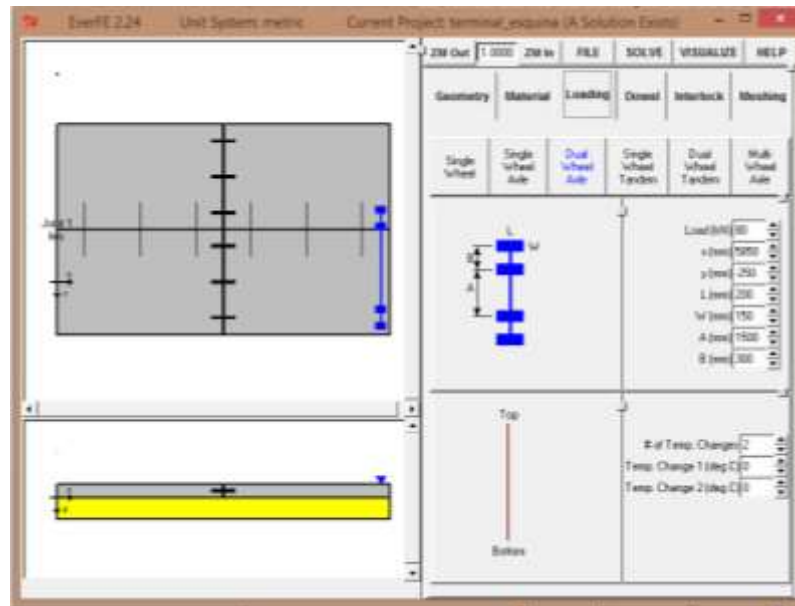
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 5: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN EL INTERIOR DE LA LOSA



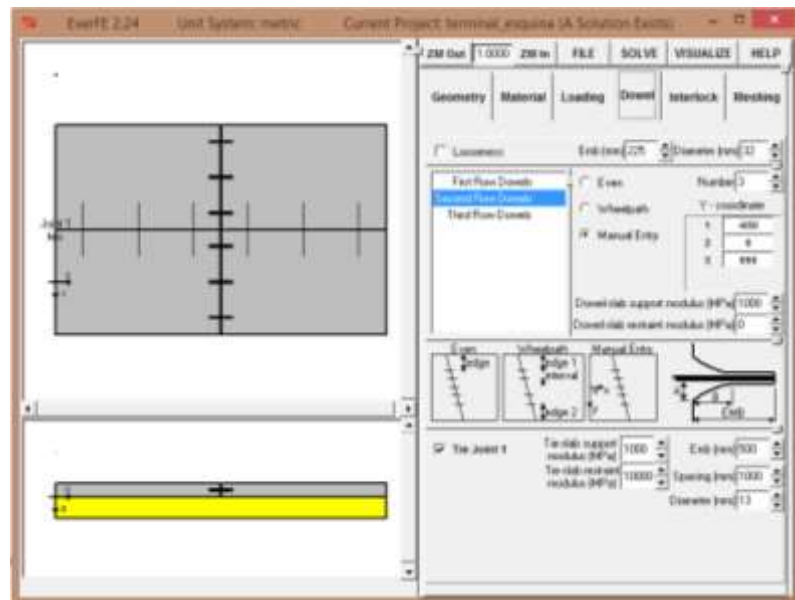
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 6: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

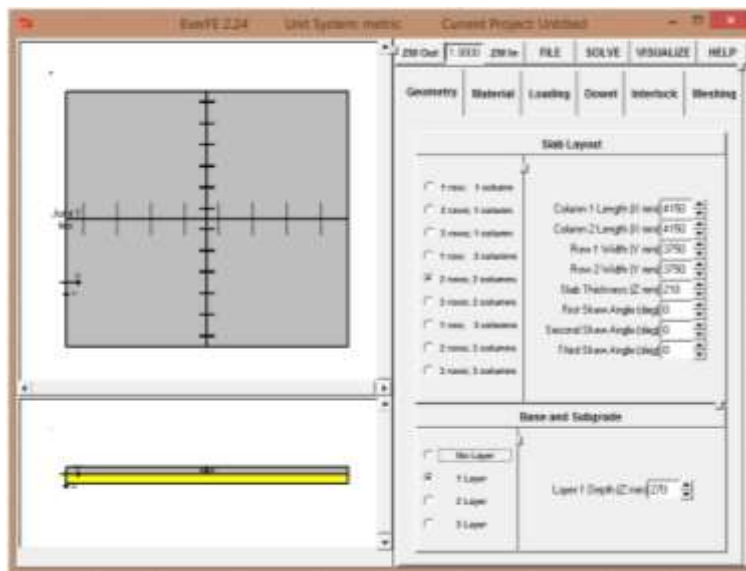
FIGURA 3. 7: INGRESO DE DATOS PARA LOS PASADORES



FUENTE: Elaboración Propia.

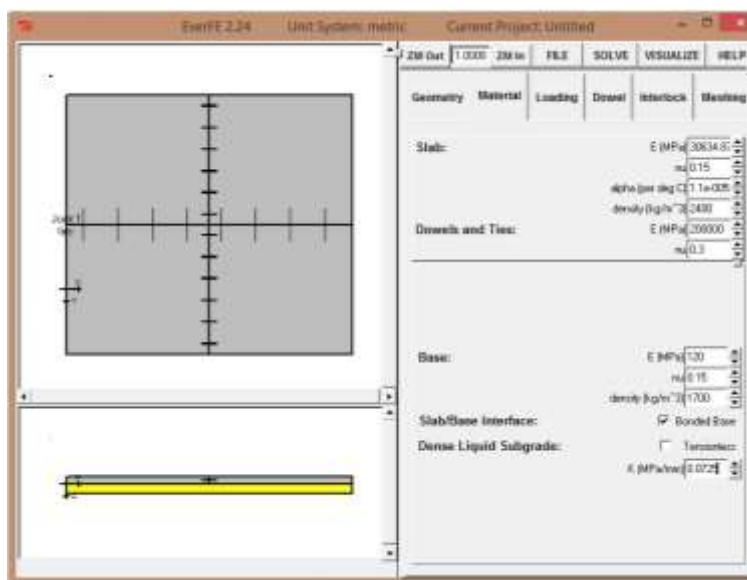
TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA

FIGURA 3. 8: INGRESO DE DATOS GEOMÉTRICOS



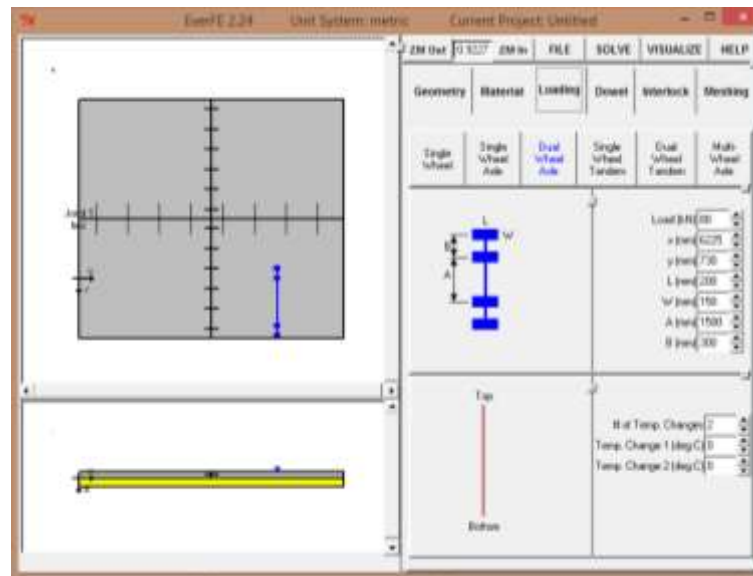
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 9: INGRESO DE DATOS DE MATERIALES



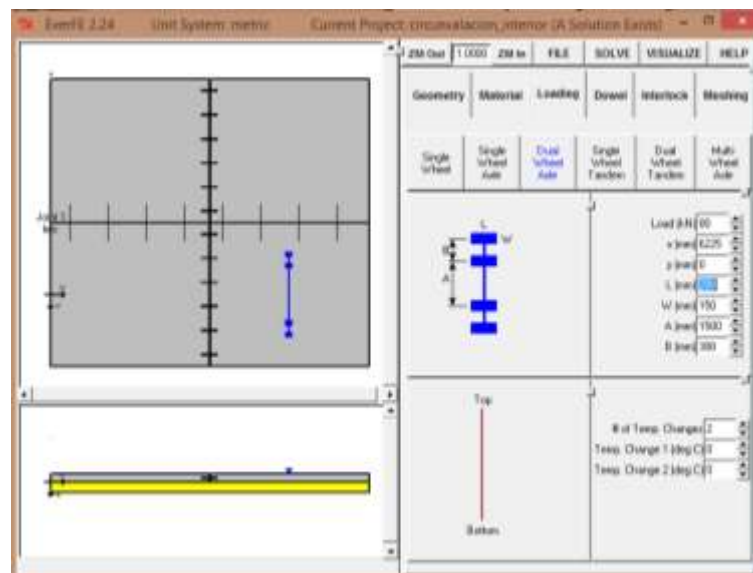
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 10: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN EL BORDE DE LA LOSA



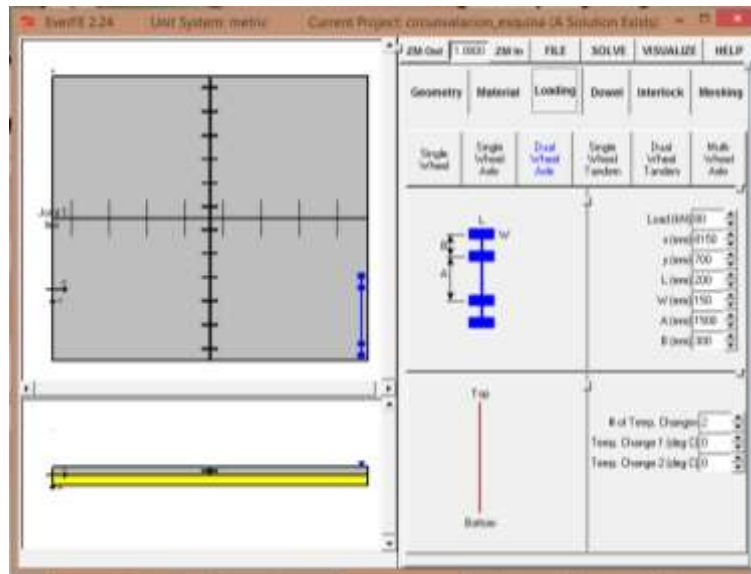
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 11: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN EL INTERIOR DE LA LOSA



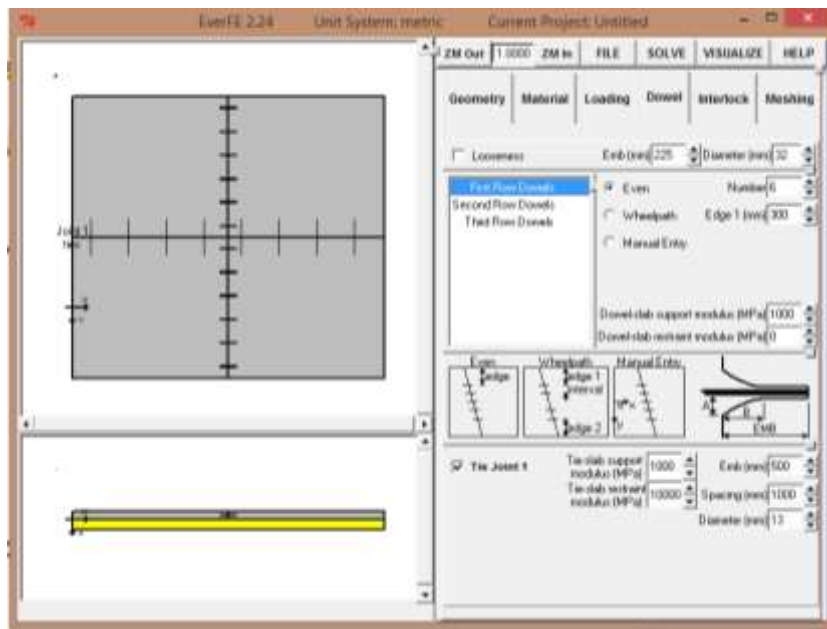
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 12: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

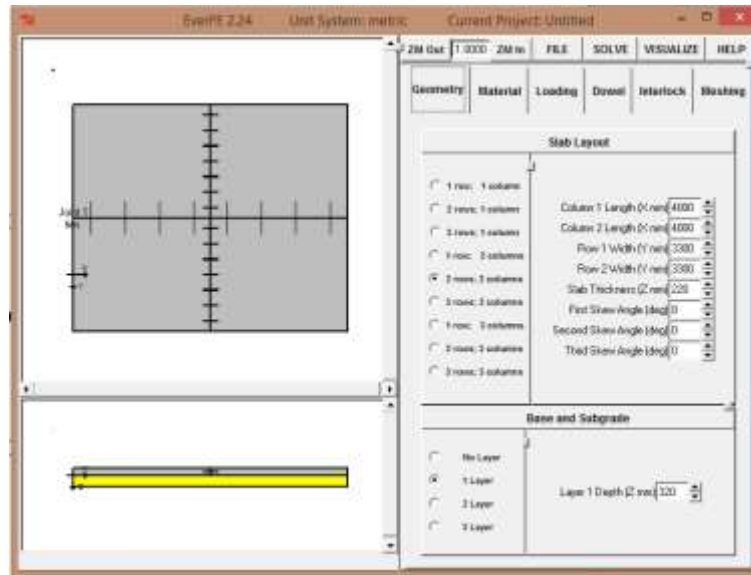
FIGURA 3. 13: INGRESO DE DATOS PARA LOS PASADORES



FUENTE: Elaboración Propia.

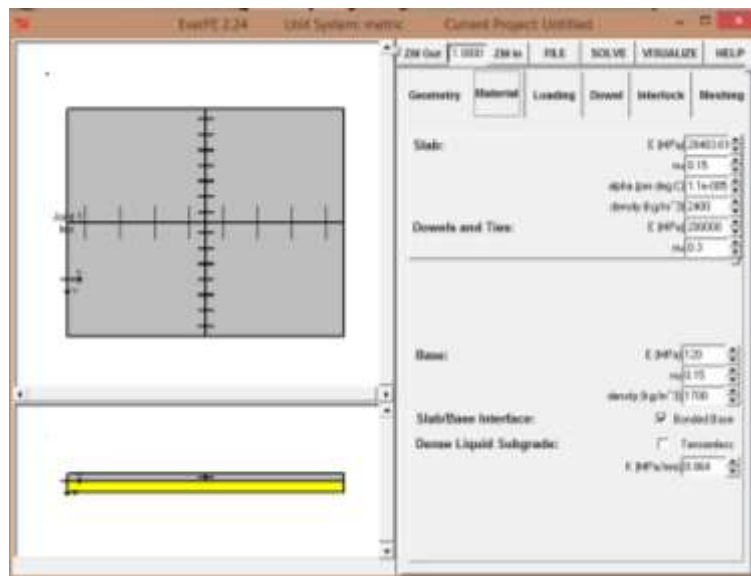
TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA

FIGURA 3. 14: INGRESO DE DATOS GEOMÉTRICOS



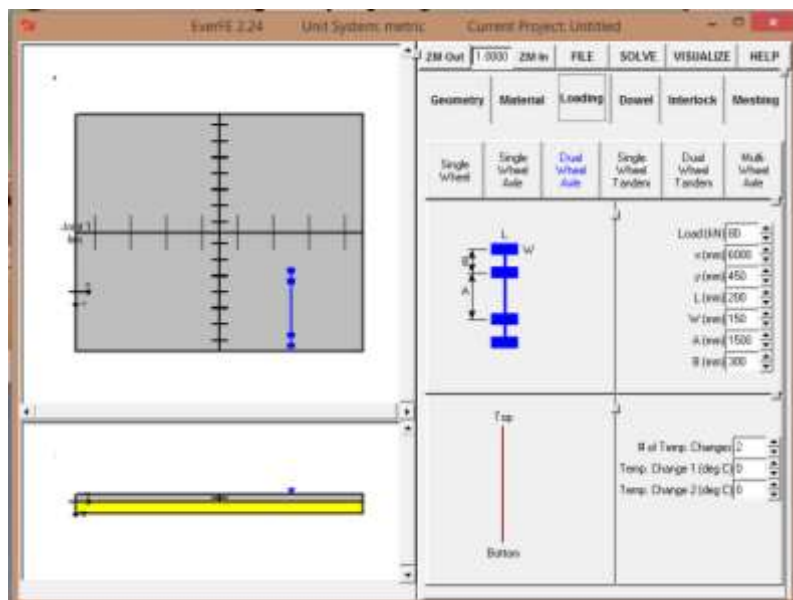
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 15: INGRESO DE DATOS DE MATERIALES.



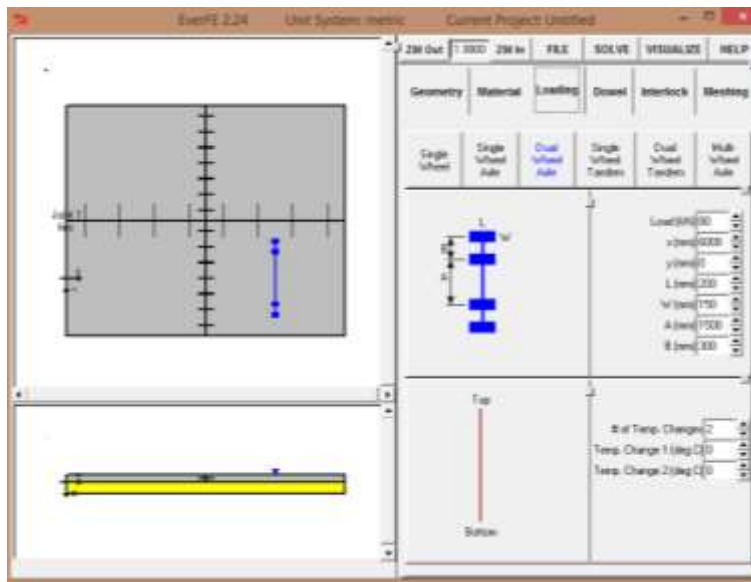
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 16: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN EL BORDE DE LA LOSA



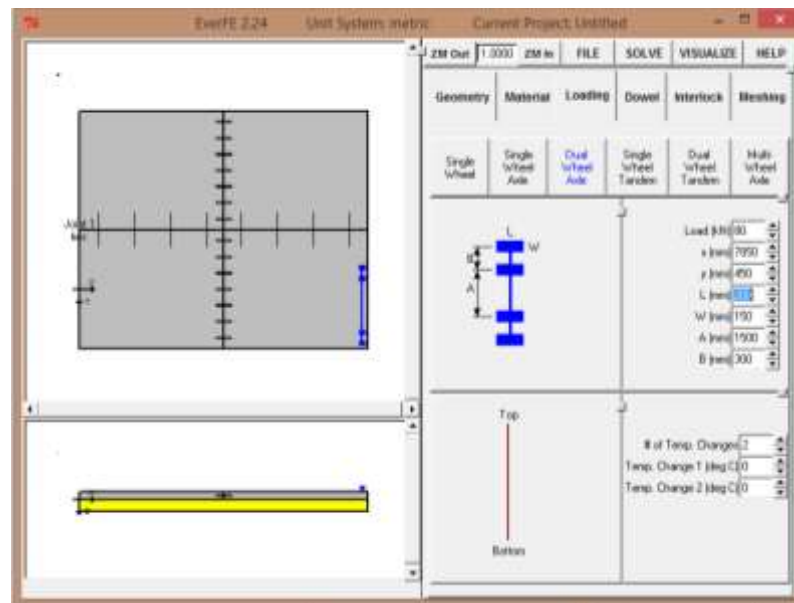
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 17: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN EL INTERIOR DE LA LOSA



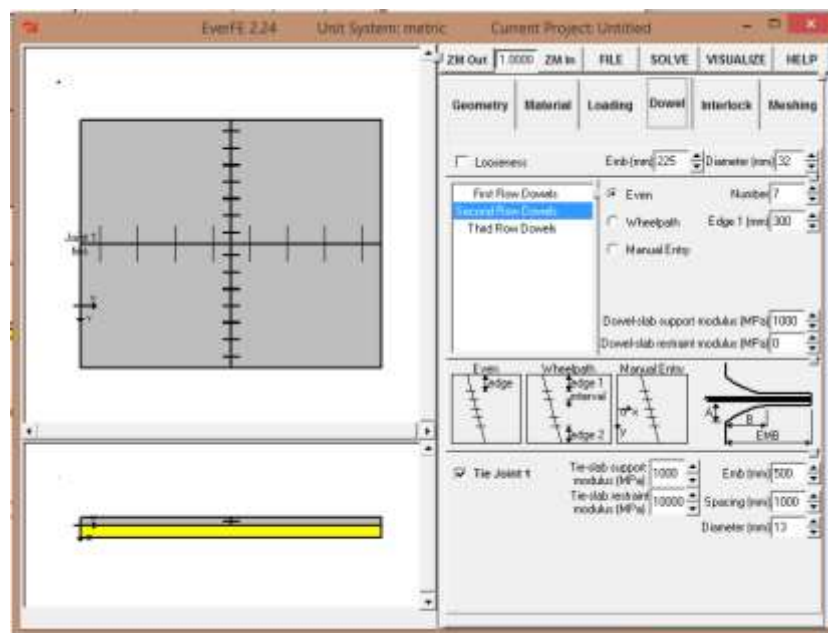
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 18: INGRESO DE DATOS DE CARGA EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 19: INGRESO DE DATOS PARA LOS PASADORES



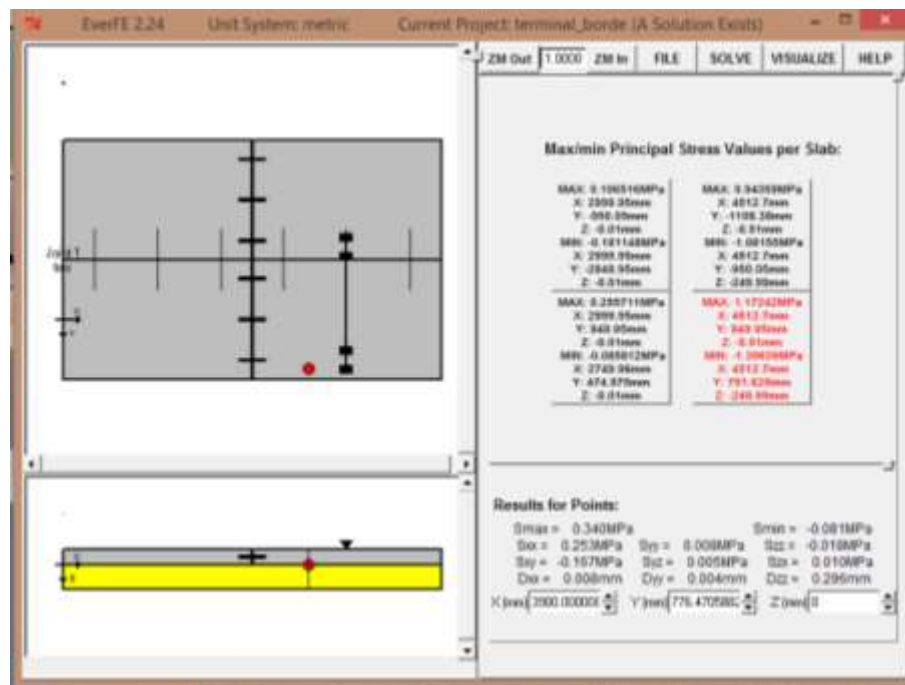
FUENTE: Elaboración Propia.

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS Y CÁLCULO DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS

3.5.1. CÁLCULO ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS CON EL PROGRAMA COMPUTACIONAL EVERFE 2.24 EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

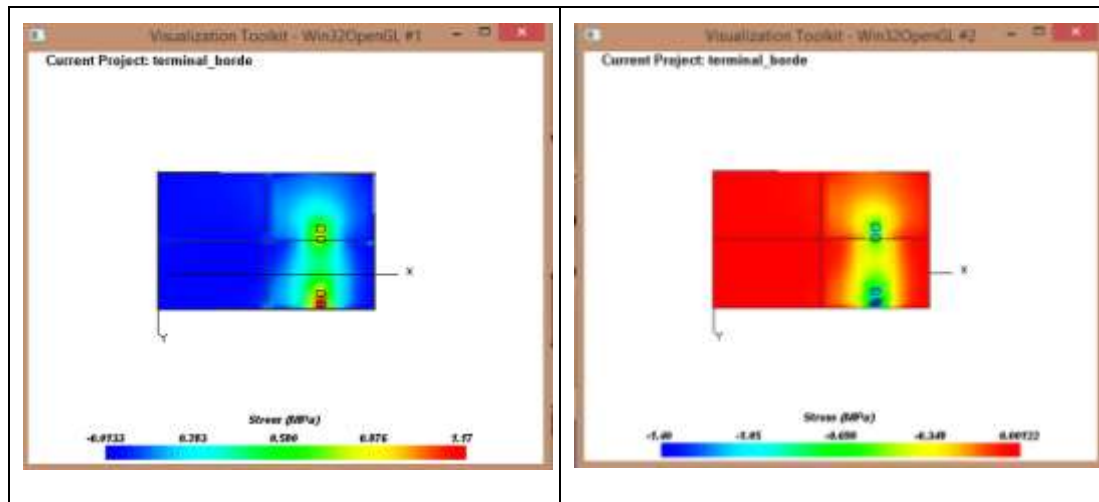
3.5.1.1. TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

FIGURA 3. 20: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL BORDE DE LA LOSA



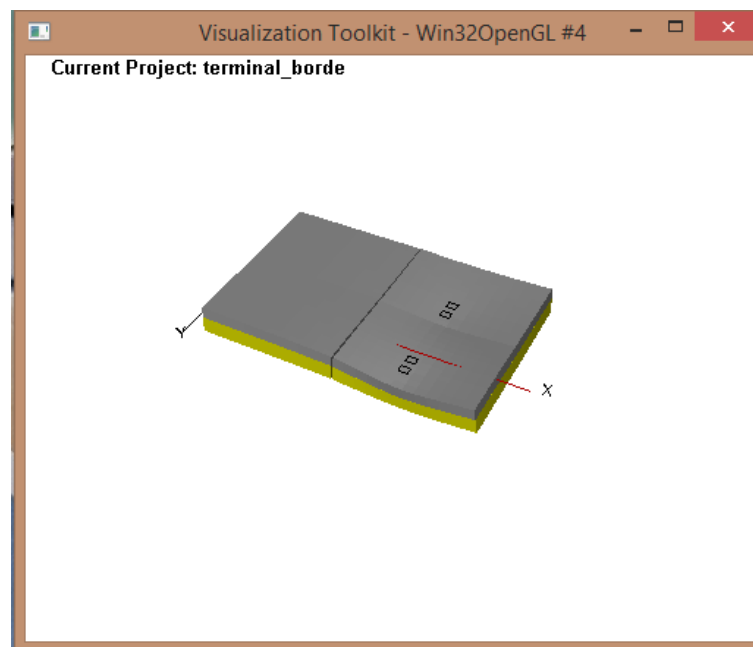
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 21: GRAFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL BORDE DE LA LOSA



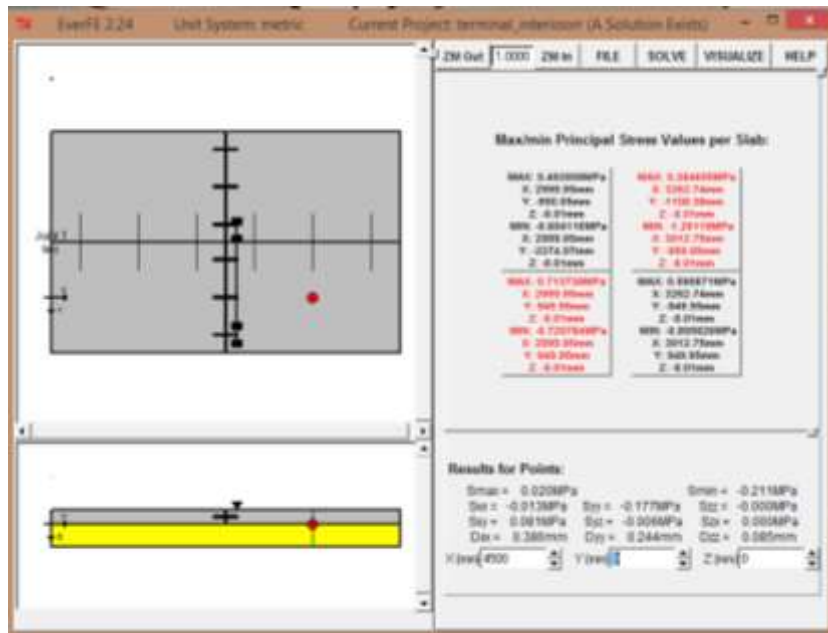
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 22: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL BORDE DE LA LOSA



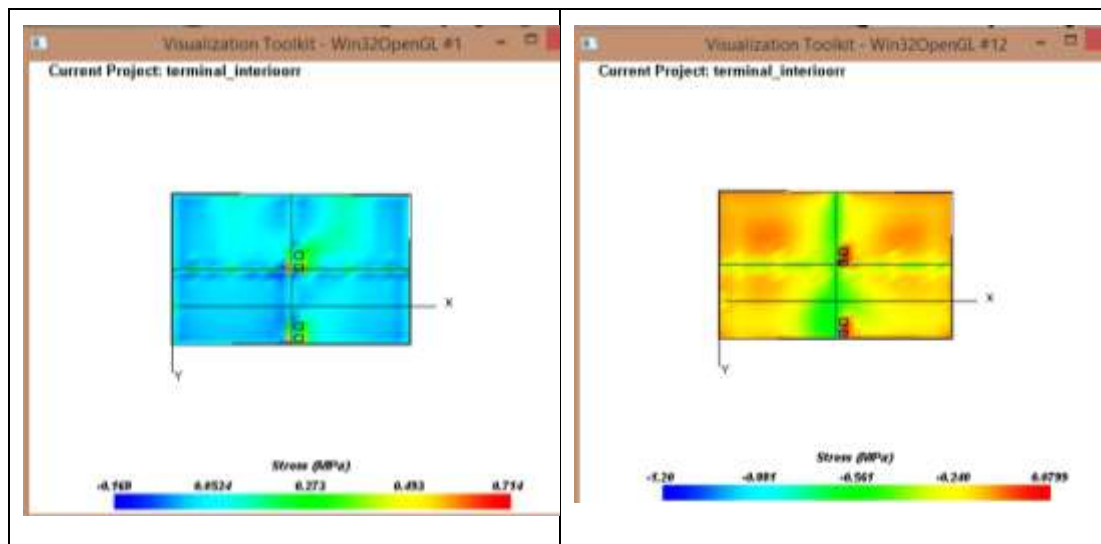
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 23: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



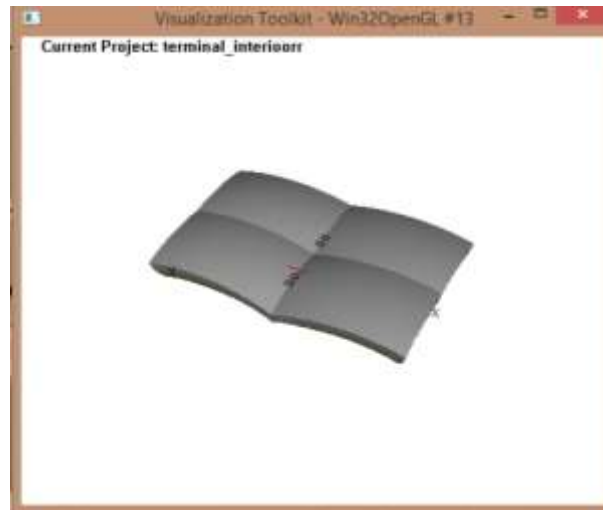
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 24: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



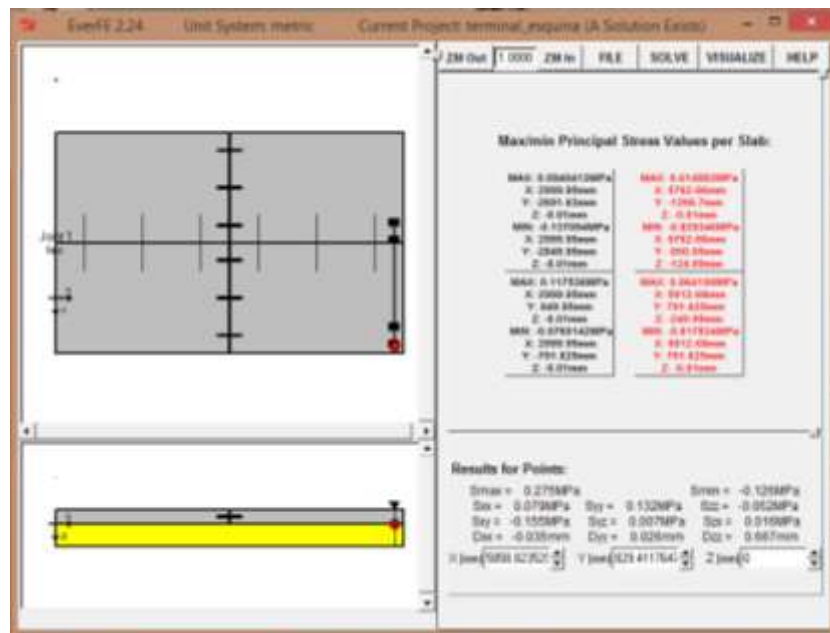
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 25: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



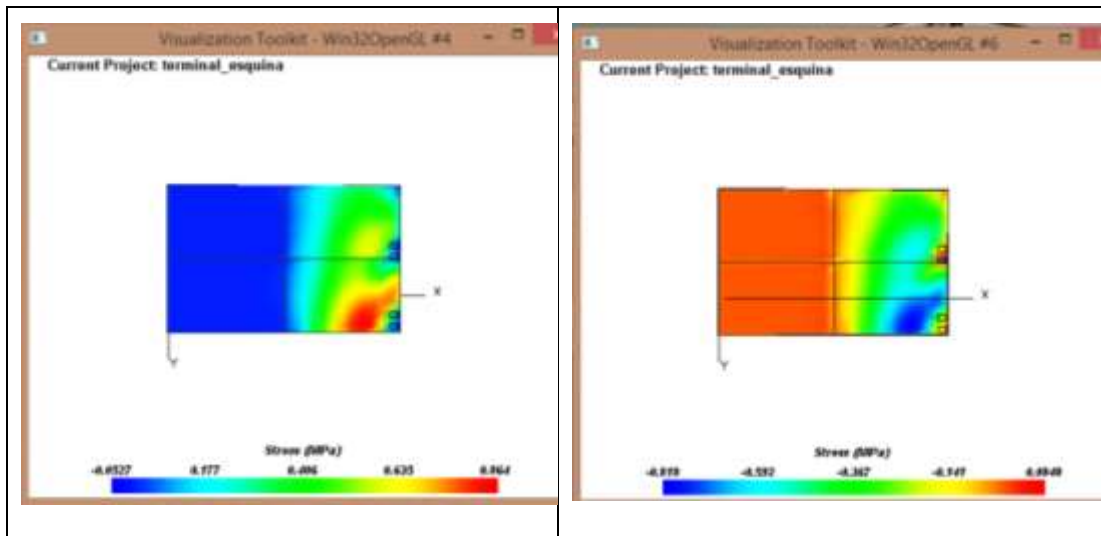
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 26: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



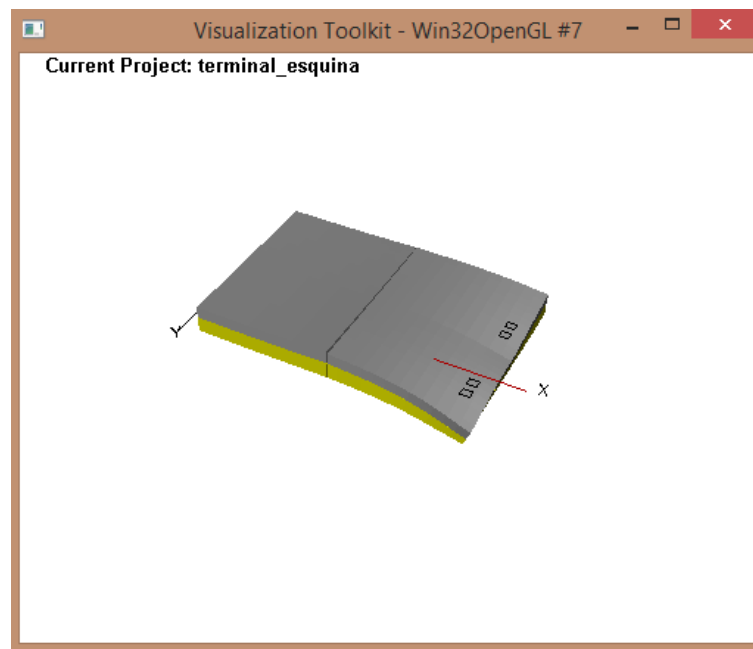
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 27: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

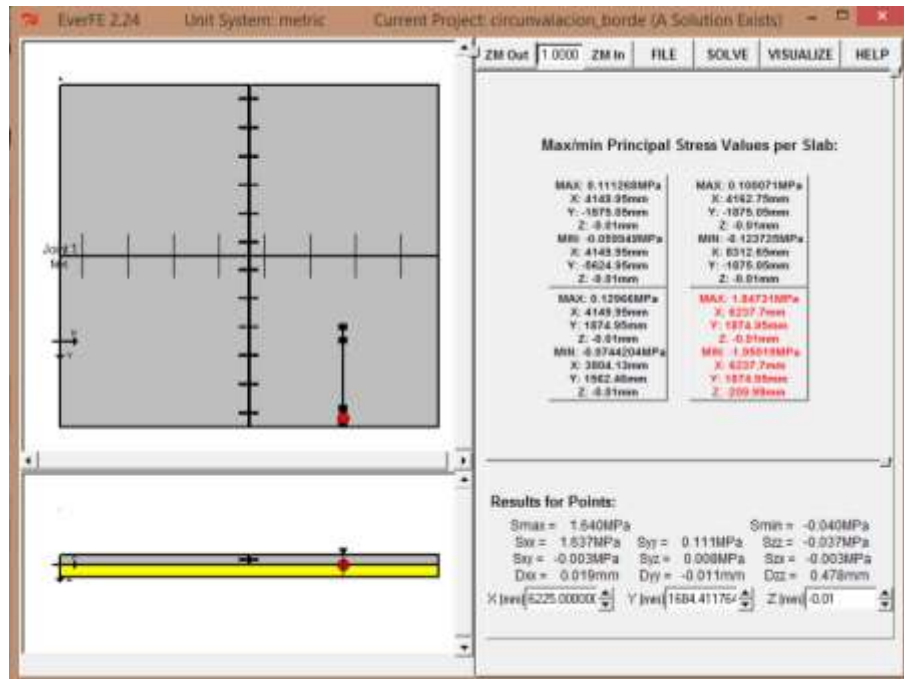
FIGURA 3. 28: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

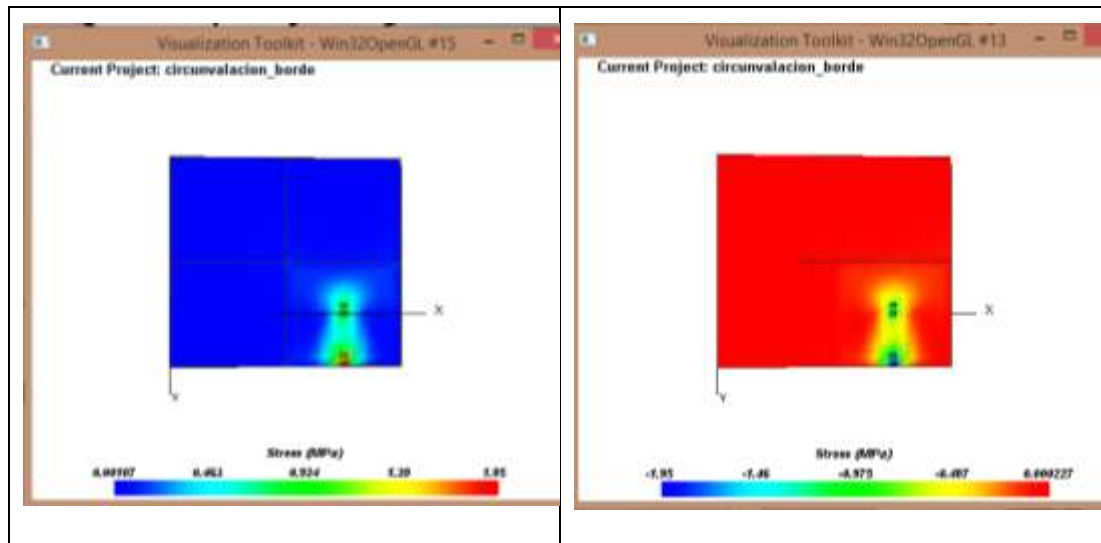
3.5.1.2. TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA

FIGURA 3. 29: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL BORDE DE LA LOSA



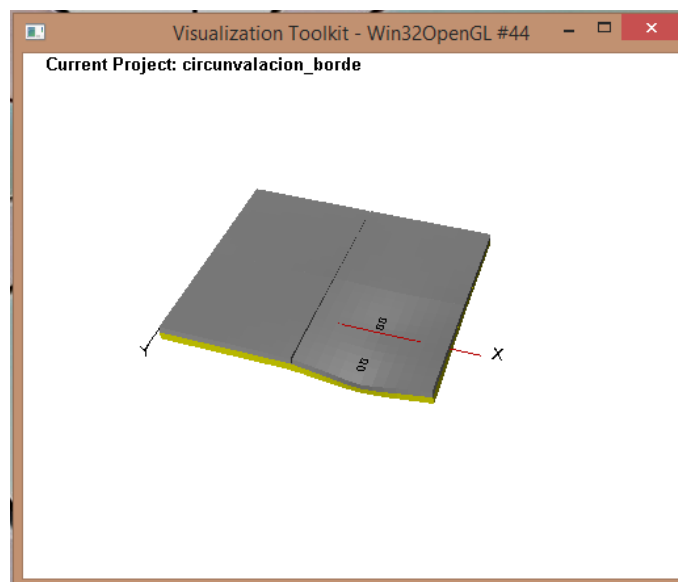
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 30: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL BORDE DE LA LOSA



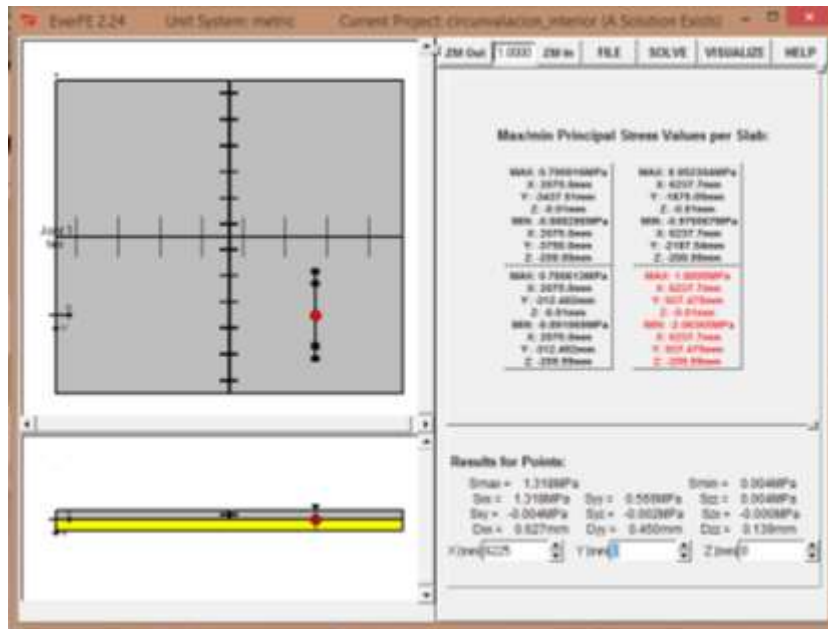
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 31: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL BORDE DE LA LOSA



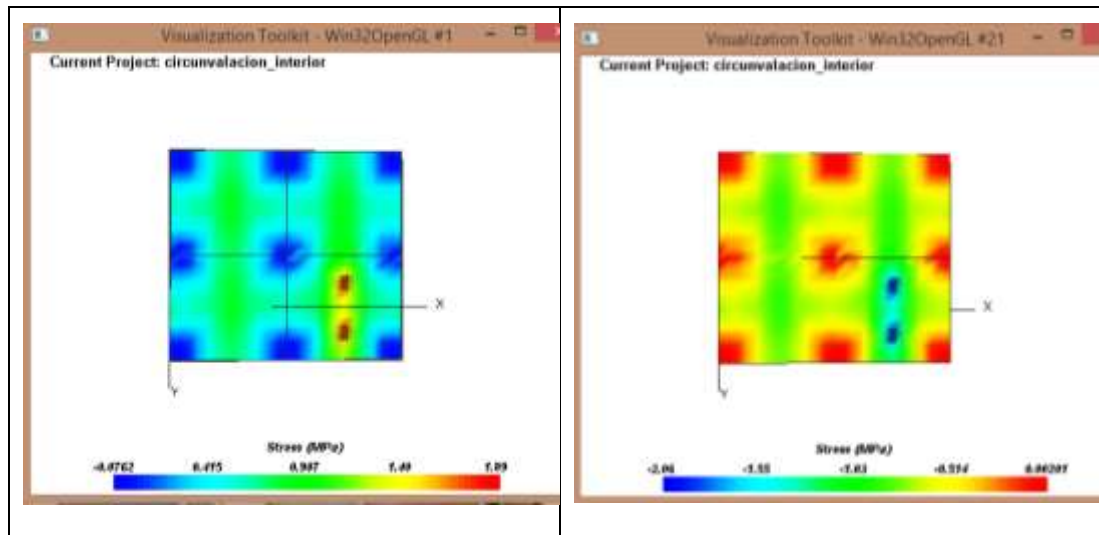
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 32: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 33: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



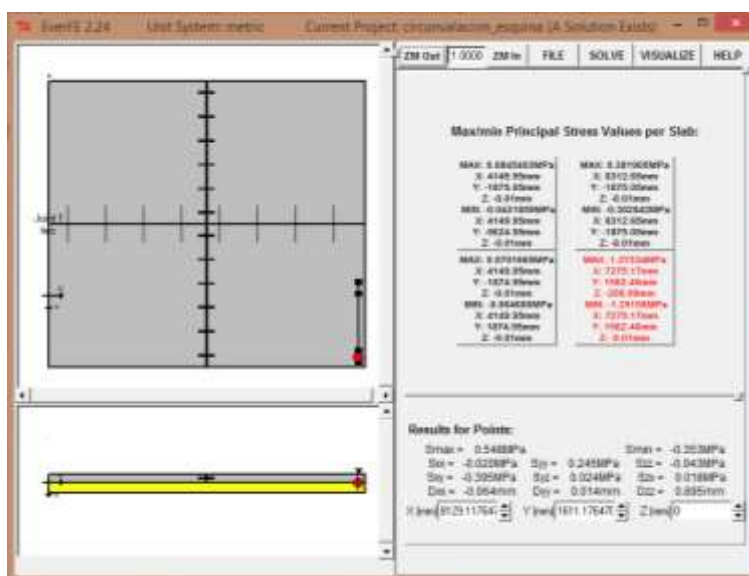
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 34: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



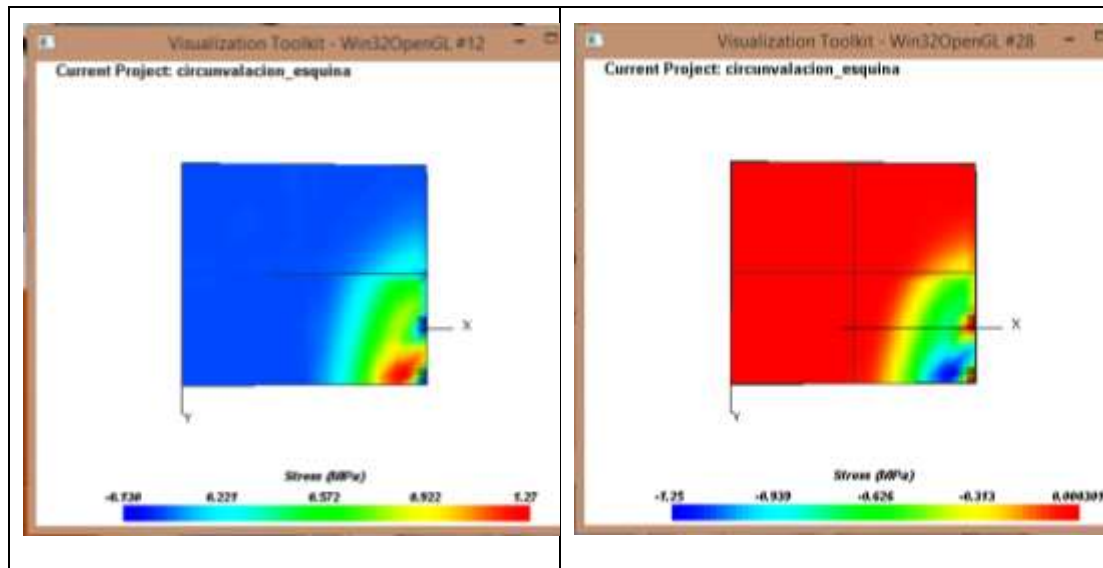
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 35: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



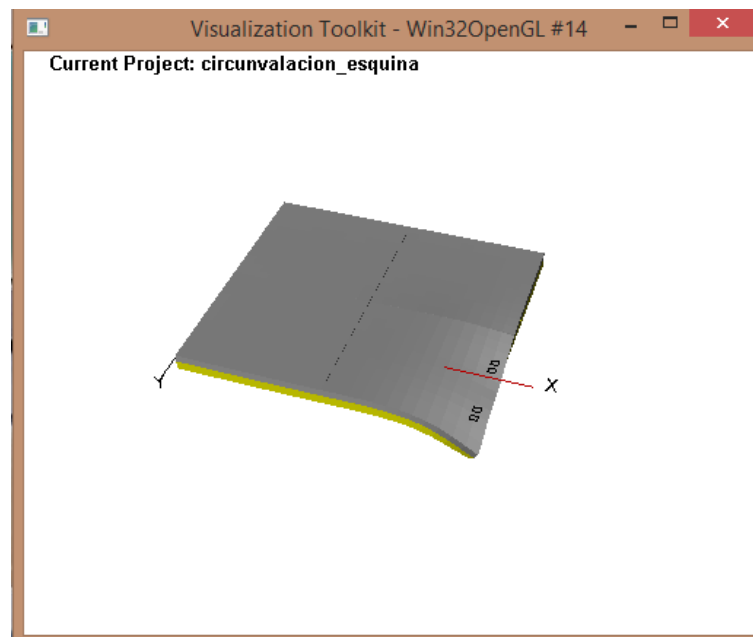
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 36: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

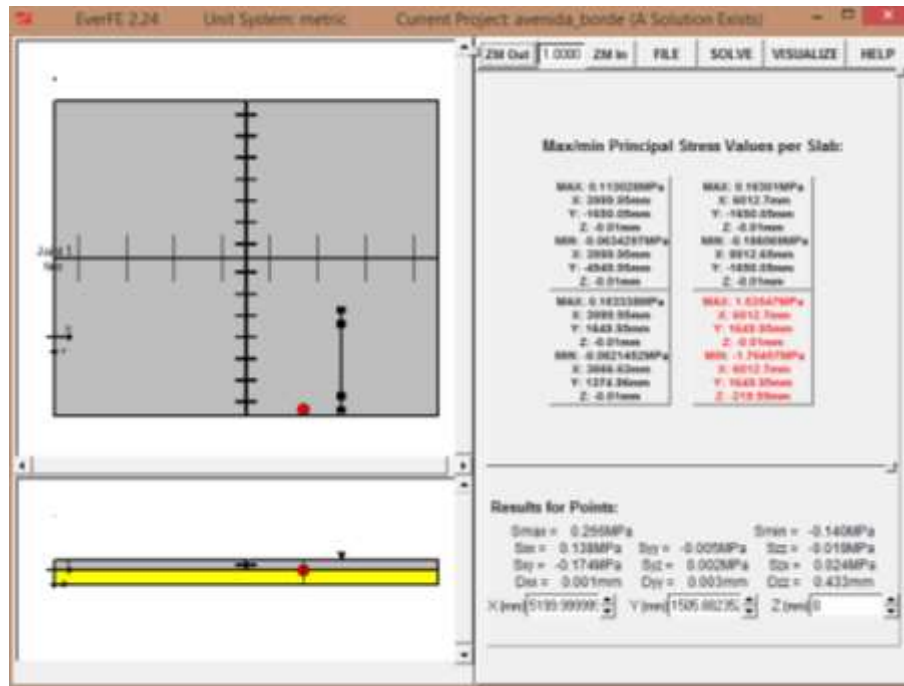
FIGURA 3. 37: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

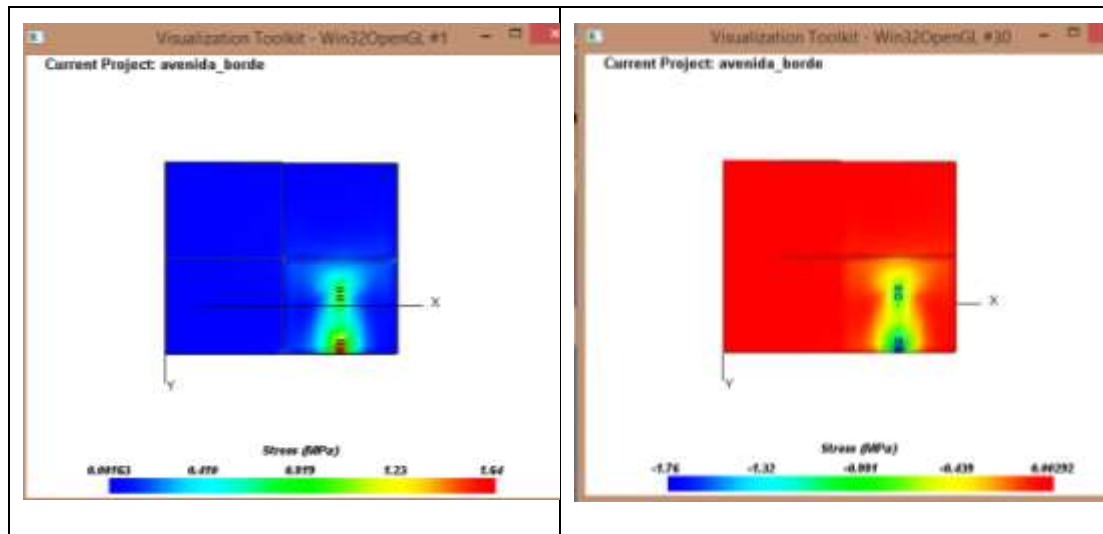
3.5.1.3. TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA

FIGURA 3. 38: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL BORDE DE LA LOSA



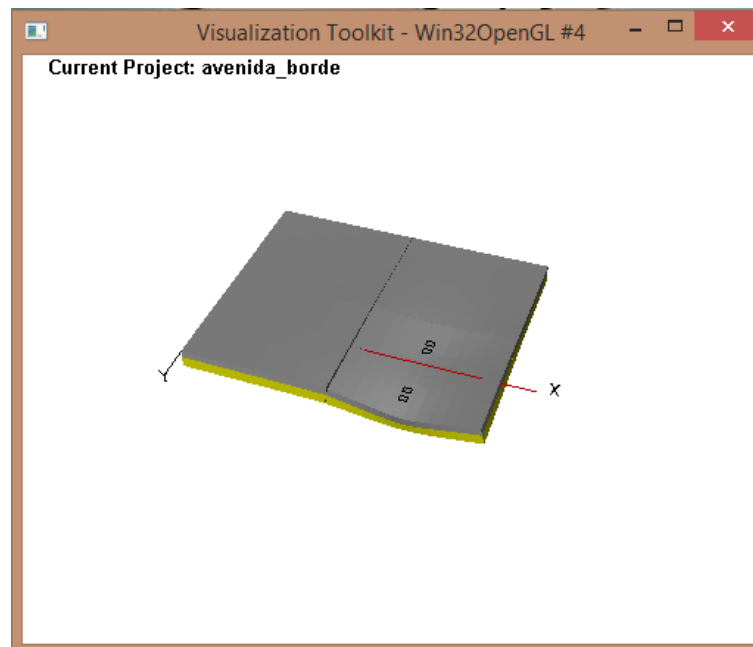
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 39: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL BORDE DE LA LOSA



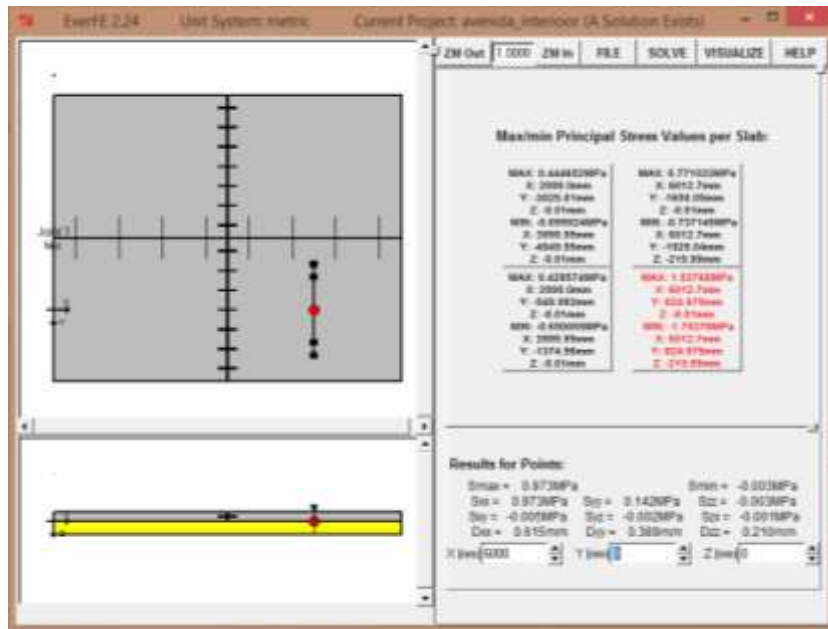
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 40: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL BORDE DE LA LOSA



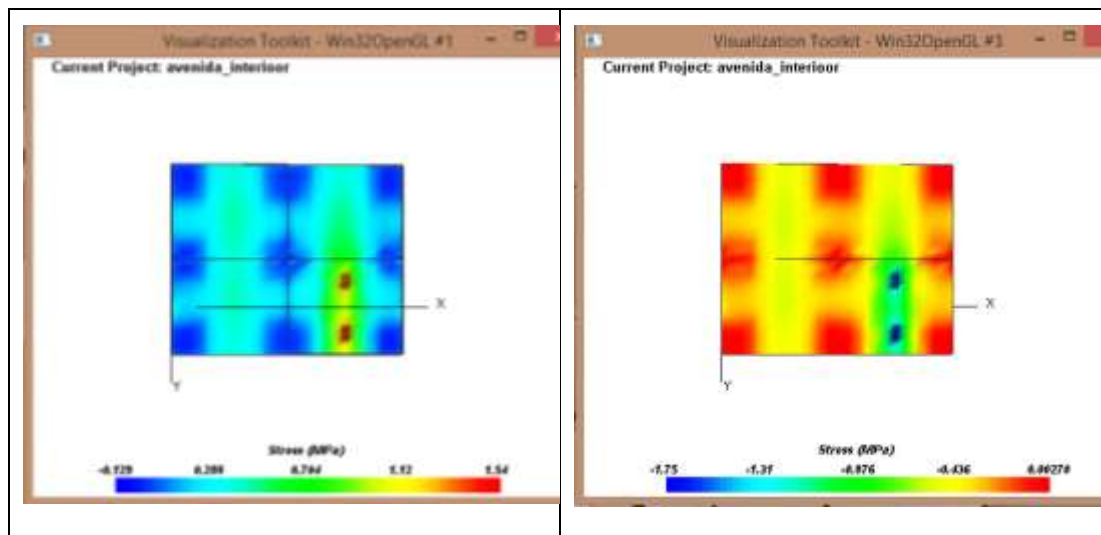
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 41: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



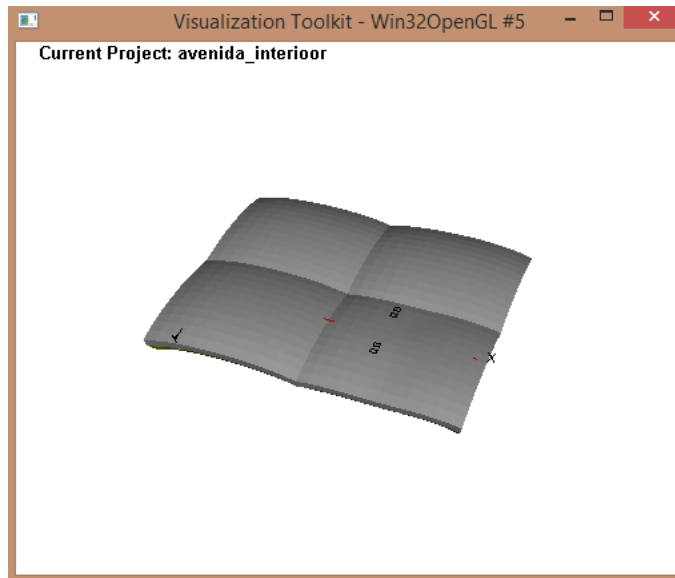
FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 42: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 43: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN EL INTERIOR DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 44: CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA

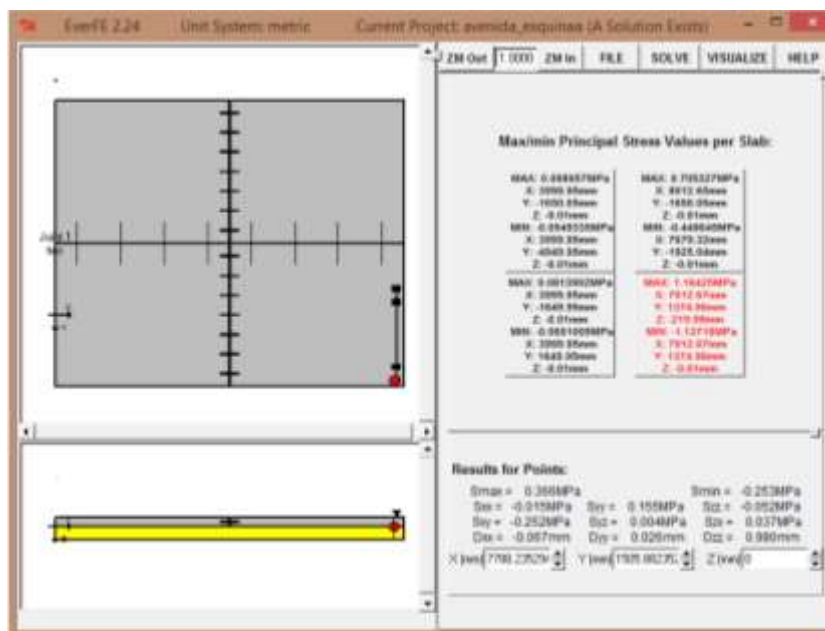
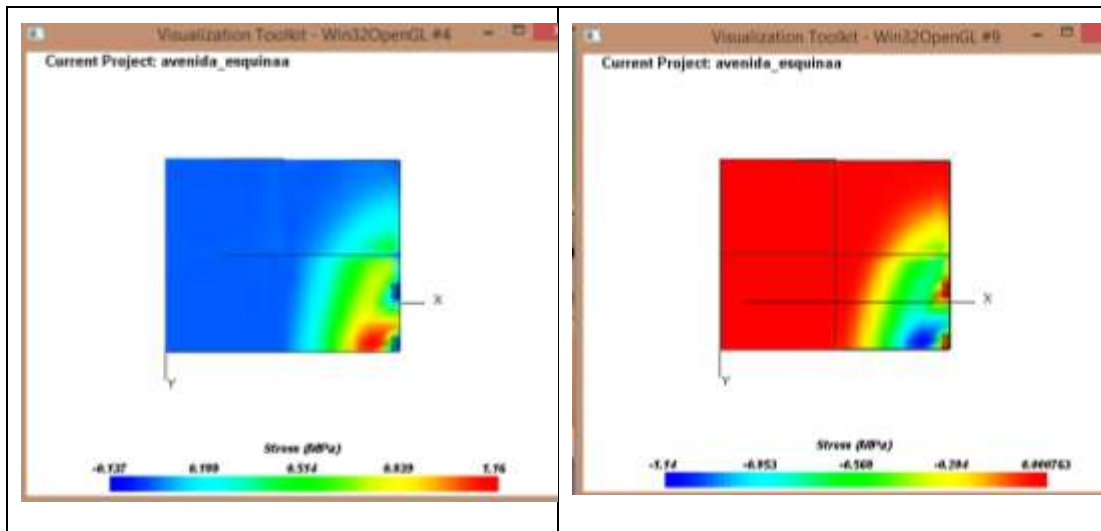
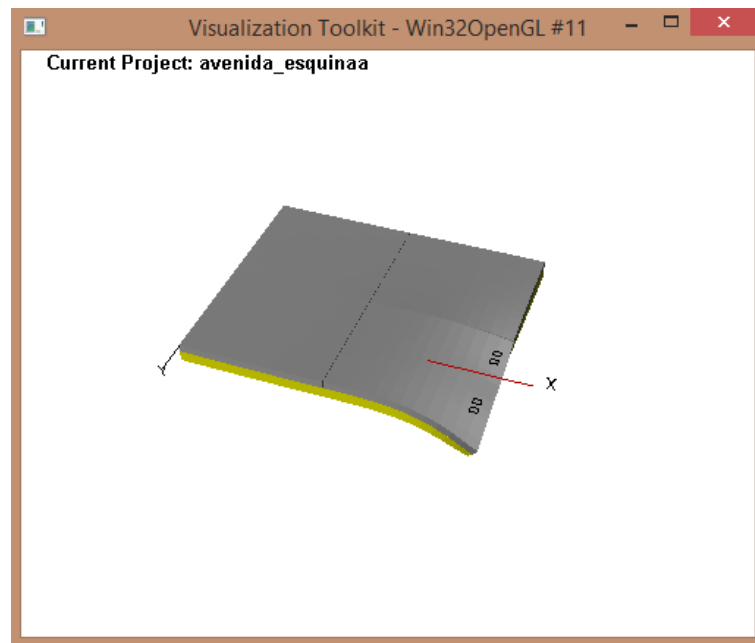


FIGURA 3. 45: GRÁFICA DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

FIGURA 3. 46: GRÁFICA DE DESPLAZAMIENTOS EN LA ESQUINA DE LA LOSA



FUENTE: Elaboración Propia.

3.5.2. CÁLCULO ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS SEGÚN EL METODO WESTERGAARD EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Westergaard analiza tres diferentes casos para el cálculo de esfuerzos y desplazamientos dentro de una losa (borde, interior y esquina), los mismos que son consideramos como los más críticos.

- **Carga en el interior de la losa.** Ocurre cuando la carga es aplicada en el interior de la superficie de la losa, lejana a los bordes.
- **Carga en la esquina de la losa.** Ocurre cuando el centro de la carga está en la esquina de la losa.
- **Carga en el borde de la losa.** Ocurre cuando la carga es aplicada en el borde de la superficie de la losa, lejana a las esquina.

TABLA 3. 13: CÁLCULO DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS SEGÚN WESTERGAARD EN EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.				
	INTERIOR	BORDE	ESQUINA	UNIDADES
Esfuerzo (σ)=	0,7850	1,1810	1,0244	Mpa
Desplazamiento (δ)=	0,0733	0,2152	0,5082	mm

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 14: CÁLCULO DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS SEGÚN WESTERGAARD EN EL TRAMO 2

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.				
	INTERIOR	BORDE	ESQUINA	UNIDADES
Esfuerzo (σ)=	1,1199	1,7113	1,4631	Mpa
Desplazamiento (δ)=	0,1178	0,3469	0,8202	mm

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 15: CÁLCULO DE ESFUERZOS – DESPLAZAMIENTOS SEGÚN WESTERGAARD EN EL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.				
	INTERIOR	BORDE	ESQUINA	UNIDADES
Esfuerzo (σ)=	1,0422	1,5944	1,3659	Mpa
Desplazamiento (δ)=	0,1214	0,3603	0,8557	mm

FUENTE: *Elaboración Propia.*

3.5.3. CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA CON VIGA BENKELMAN EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

Las deflexiones producidas en la superficie de un pavimento, por acción de cargas vehiculares, pueden ser determinadas haciendo uso de deflectómetros tales como el denominado “Viga Benkelman”.

Se entiende por deflexión aquella deformación que sufre el pavimento por el efecto de las flexiones internas.

El procedimiento para el cálculo de las deflexiones es simple, para el caso de la deflexión máxima, (D_0) se debe calcular la diferencia entre la lectura inicial y la lectura final. Para en caso de la deflexión a 25 cm (D_{25}) se debe encontrar la diferencia entre la lectura a 25 cm y la lectura final, de igual manera encontrar la diferencia para 50, 100, 150, 200 y 500 cm con la lectura final. Estas diferencias deben multiplicarse por un factor de corrección debido a la relación de brazos de la Viga Benkelman, que para todas las deflexiones calculadas la relación es de 1:1, por lo tanto este factor es 1.

Es de vital importancia tomar en cuenta la temperatura del pavimento al momento de realizar la prueba, ya que ésta tiene una influencia directa sobre las Deflexiones registradas.

FIGURA 3. 47: FÓRMULA PARA CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA DEFLEXIONES CALCULADAS

$$D_{20} = \frac{D_t}{(K \times (T^\circ - 20^\circ) \times e + 1)}$$

FUENTE: ALVAREZ Quintero María de la Caridad. Metodología para la Evaluación de Pavimento de Carretera, para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la Medida de Deflexiones con Viga Benkelman. La Habana – Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Vial, 2012.

Se debe calcular el radio de curvatura, el cual es una característica fundamental para determinar la magnitud de la deformación lineal por tracción, que sufren las capas del pavimento al aplicar una carga puntual o móvil. Este valor con ayuda de la deflexión auxiliar D25.

FIGURA 3. 48: FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DEL RADIO DE CURVATURA

$$R = \frac{10 \times (25)^2}{2 \times (D_0 - D_{25})}$$

FUENTE: ALVAREZ Quintero María de la Caridad. Metodología para la Evaluación de Pavimento de Carretera, para proyectos de rehabilitación en Cuba, a partir de la Medida de Deflexiones con Viga Benkelman. La Habana – Cuba: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Vial, 2012.

Luego se debe calcular la deflexión característica Dc, la cual es igual a $D_c = D_p + 1.645 \times \text{Desv. Estándar}$.

Esta práctica fue realizada en el interior de la losa y en el inicio de la misma.

A continuación se presenta el procedimiento y resultado para el cálculo de la deflexión característica.

3.5.3.1. TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

TABLA 3. 16: LECTURAS DE CAMPO PARA EL CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA CON VIGA BENKELMAN EN EL TRAMO 1

(N°)	PROGR. (km)	FECHA	LECTURAS DE CAMPO						
			L- a 0cm	L- a 25cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L-a 500cm
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	19/10/2016	0	0,020	0,020	0,030	0,030	0,040	0,050
2	0+150	19/10/2016	0	0,020	0,030	0,030	0,030	0,030	0,040
3	0+300	19/10/2016	0	0,020	0,020	0,030	0,030	0,030	0,030
4	0+450	19/10/2016	0	0,020	0,020	0,020	0,030	0,030	0,040
5	0+650	19/10/2016	0	0,020	0,030	0,030	0,030	0,040	0,040
6	0+870	19/10/2016	0	0,020	0,020	0,030	0,040	0,040	0,050
7	1+020	19/10/2016	0	0,020	0,030	0,040	0,040	0,040	0,050
8	1+170	19/10/2016	0	0,020	0,020	0,030	0,030	0,030	0,030

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 17: CÁLCULO DE DEFLEXIONES EN EL TRAMO 1

(N°)	PROGR. (km)	PARÁMETROS DE EVALUACION							PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °c						
		Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500	Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	0,0500	0,0300	0,0300	0,0200	0,0200	0,0100	0,0000	0,0571	0,0343	0,0343	0,0229	0,0229	0,0114	0,0000
2	0+150	0,0400	0,0200	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0000	0,0457	0,0229	0,0114	0,0114	0,0114	0,0114	0,0000
3	0+300	0,0300	0,0100	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0343	0,0114	0,0114	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0+450	0,0400	0,0200	0,0200	0,0200	0,0100	0,0100	0,0000	0,0457	0,0229	0,0229	0,0229	0,0114	0,0114	0,0000
5	0+650	0,0400	0,0200	0,0100	0,0100	0,0100	0,0000	0,0000	0,0457	0,0229	0,0114	0,0114	0,0114	0,0000	0,0000
6	0+870	0,0500	0,0300	0,0300	0,0200	0,0100	0,0100	0,0000	0,0571	0,0343	0,0343	0,0229	0,0114	0,0114	0,0000
7	1+020	0,0500	0,0300	0,0200	0,0100	0,0100	0,0100	0,0000	0,0571	0,0343	0,0343	0,0229	0,0114	0,0114	0,0000
8	1+170	0,0300	0,0100	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0343	0,0114	0,0114	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

FUENTE: Elaboración Propia.

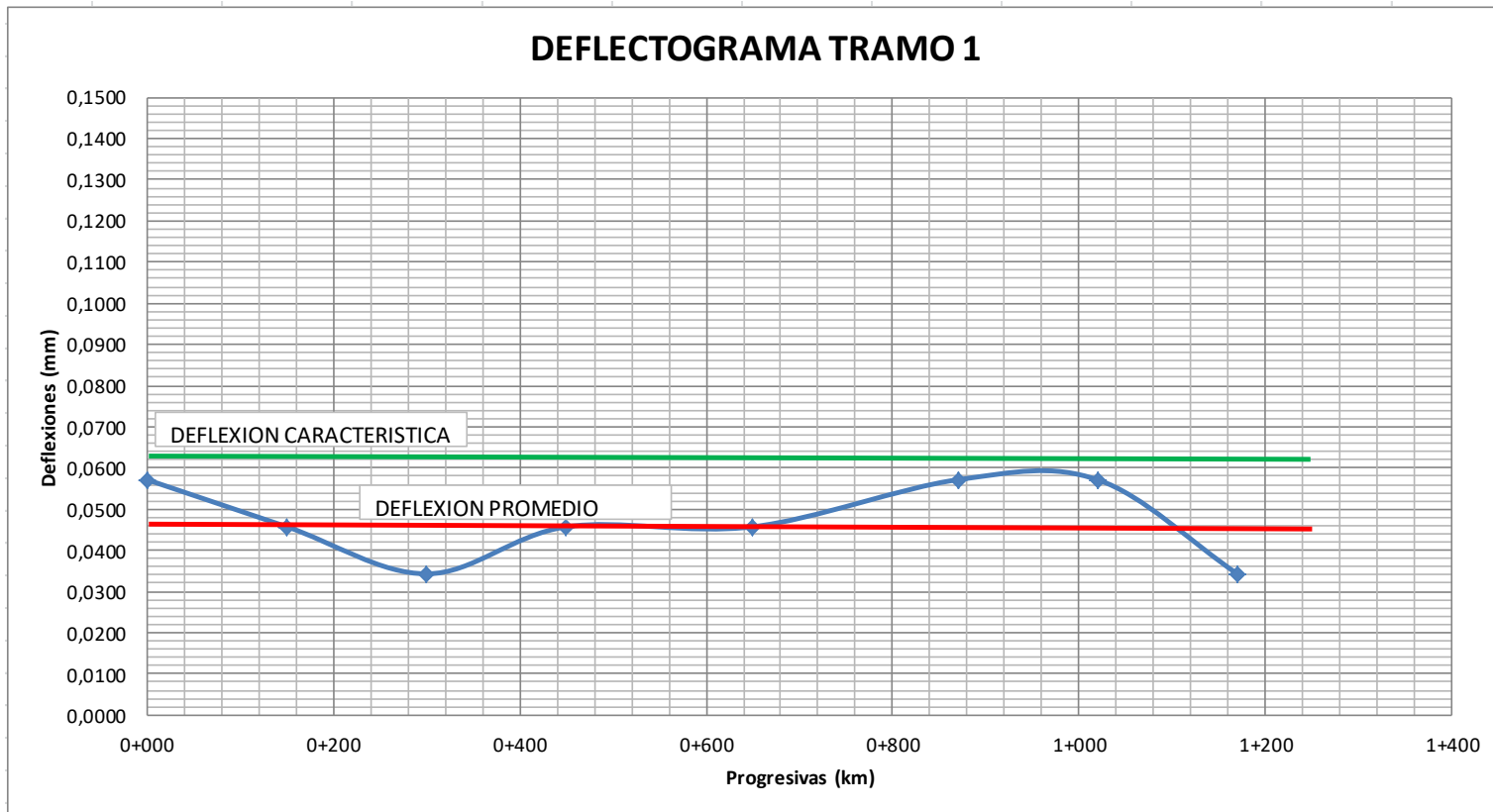
TABLA 3. 18: CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA EN EL TRAMO 1

(N°)	Progresiva (km)	CARRIL	LECTURAS DE CAMPO			PARÁMETROS DE EVALUACION			OBSERVACION
			L- a 0cm	L- a 25cm	L-a 500cm	Do	D25	Re	
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	
1	0+000		0,0000	0,0200	0,0500	0,0571	0,0343	136718,75	
2	0+150		0,0000	0,0200	0,0400	0,0457	0,0229	136718,75	
3	0+300		0,0000	0,0200	0,0300	0,0343	0,0114	136718,75	
4	0+450		0,0000	0,0200	0,0400	0,0457	0,0229	136718,75	
5	0+650		0,0000	0,0200	0,0400	0,0457	0,0229	136718,75	
6	0+870		0,0000	0,0200	0,0500	0,0571	0,0343	136718,75	
7	1+020		0,0000	0,0200	0,0500	0,0571	0,0343	136718,75	
8	1+170		0,0000	0,0200	0,0300	0,0343	0,0114	136718,75	

CALCULO DE DEFLEXIONES	
PROMEDIO (Do)	0,0471
DEFLEX CARAC (mm)	0,062832
DESV. ESRANDAR (Do)	0,0095
C. VAR	20,2309

FUENTE: Elaboración Propia.

GRÁFICO 3. 1: DEFLECTOGRAMA TRAMO 1



FUENTE: Elaboración Propia.

3.5.3.2. TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA

TABLA 3. 19: LECTURAS DE CAMPO PARA EL CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA CON VIGA BENKELMAN EN EL TRAMO 2

(N°)	PROGR. (km)	FECHA	LECTURAS DE CAMPO CARRIL DERECHO						
			L- a 0cm	L- a 25cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L-a 500cm
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,060	0,080	0,080	0,100
2	0+150	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,050	0,080	0,080	0,100
3	0+300	19/10/2016	0	0,020	0,020	0,030	0,040	0,060	0,090
4	0+450	19/10/2016	0	0,030	0,050	0,070	0,080	0,090	0,090
5	0+600	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,060	0,080	0,080	0,090
6	0+750	19/10/2016	0	0,020	0,030	0,050	0,080	0,090	0,090
7	0+900	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,050	0,070	0,080	0,080
8	1+050	19/10/2016	0	0,030	0,050	0,070	0,070	0,090	0,100

(N°)	PROGR. (km)	FECHA	LECTURAS DE CAMPO CARRIL IZQUIERDO						
			L- a 0cm	L- a 25cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L-a 500cm
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	1+050	19/10/2016	0	0,020	0,040	0,060	0,070	0,080	0,090
2	0+900	19/10/2016	0	0,020	0,050	0,050	0,080	0,090	0,100
3	0+750	19/10/2016	0	0,030	0,030	0,060	0,080	0,090	0,100
4	0+600	19/10/2016	0	0,030	0,030	0,060	0,070	0,090	0,120
5	0+450	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,060	0,080	0,090	0,090
6	0+300	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,060	0,080	0,090	0,100
7	0+150	19/10/2016	0	0,020	0,030	0,050	0,080	0,080	0,090
8	0+000	19/10/2016	0	0,020	0,040	0,070	0,080	0,090	0,100

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 20: CÁLCULO DE DEFLEXIONES EN EL TRAMO 2

(N°)	PROGR. (km)	PARÁMETROS DE EVALUACION CARRIL DERECHO							PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °c						
		Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500	Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	0,1000	0,0700	0,0600	0,0400	0,0200	0,0200	0,0000	0,1117	0,0782	0,0670	0,0447	0,0223	0,0223	0,0000
2	0+150	0,1000	0,0700	0,0600	0,0500	0,0200	0,0200	0,0000	0,1117	0,0782	0,0670	0,0559	0,0223	0,0223	0,0000
3	0+300	0,0900	0,0700	0,0700	0,0600	0,0500	0,0300	0,0000	0,1006	0,0782	0,0782	0,0670	0,0559	0,0335	0,0000
4	0+450	0,0900	0,0600	0,0400	0,0200	0,0100	0,0000	0,0000	0,1006	0,0670	0,0447	0,0223	0,0112	0,0000	0,0000
5	0+600	0,0900	0,0600	0,0500	0,0300	0,0100	0,0100	0,0000	0,1006	0,0670	0,0559	0,0335	0,0112	0,0112	0,0000
6	0+750	0,0900	0,0700	0,0600	0,0400	0,0100	0,0000	0,0000	0,1006	0,0782	0,0670	0,0447	0,0112	0,0000	0,0000
7	0+900	0,0800	0,0500	0,0400	0,0300	0,0100	0,0000	0,0000	0,0894	0,0559	0,0447	0,0335	0,0112	0,0000	0,0000
8	1+050	0,1000	0,0700	0,0500	0,0300	0,0300	0,0100	0,0000	0,1117	0,0782	0,0559	0,0335	0,0335	0,0112	0,0000

(N°)	PROGR. (km)	PARÁMETROS DE EVALUACION CARRIL IZQUIERDO							PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °c						
		Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500	Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	1+050	0,0900	0,0700	0,0500	0,0300	0,0200	0,0100	0,0000	0,1006	0,0782	0,0559	0,0335	0,0223	0,0112	0,0000
2	0+900	0,1000	0,0800	0,0500	0,0500	0,0200	0,0100	0,0000	0,1117	0,0894	0,0559	0,0559	0,0223	0,0112	0,0000
3	0+750	0,1000	0,0700	0,0700	0,0400	0,0200	0,0100	0,0000	0,1117	0,0782	0,0782	0,0447	0,0223	0,0112	0,0000
4	0+600	0,1200	0,0900	0,0900	0,0600	0,0500	0,0300	0,0000	0,1341	0,1006	0,1006	0,0670	0,0559	0,0335	0,0000
5	0+450	0,0900	0,0600	0,0500	0,0300	0,0100	0,0000	0,0000	0,1006	0,0670	0,0559	0,0335	0,0112	0,0000	0,0000
6	0+300	0,1000	0,0700	0,0600	0,0400	0,0200	0,0100	0,0000	0,1117	0,0782	0,0670	0,0447	0,0223	0,0112	0,0000
7	0+150	0,0900	0,0700	0,0600	0,0400	0,0100	0,0100	0,0000	0,1006	0,0782	0,0670	0,0447	0,0112	0,0112	0,0000
8	0+0	0,1000	0,0800	0,0600	0,0300	0,0200	0,0100	0,0000	0,1117	0,0894	0,0670	0,0335	0,0223	0,0112	0,0000

FUENTE: Elaboración Propia.

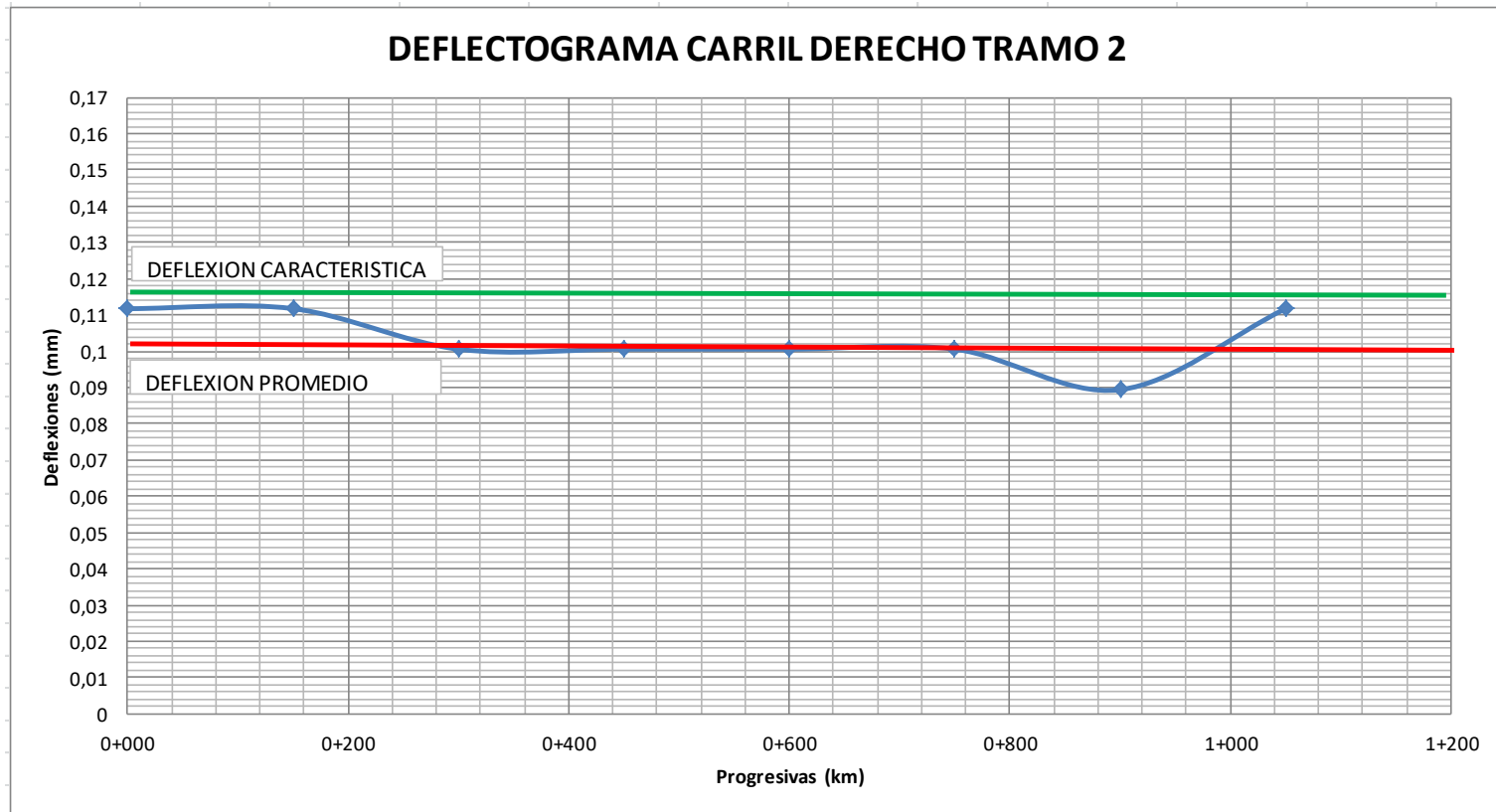
TABLA 3. 21: CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA EN EL CARRIL DERECHO DEL TRAMO 2

(N°)	Progresiva (km)	CARRIL	LECTURAS DE CAMPO			PARÁMETROS DE EVALUACION			OBSERVACION
			L- a 0cm	L- a 25cm	L-a 500cm	Do	D25	Rc	
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	
1	0+000	DERECHO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1117	0,0782	93229,2	
2	0+150	DERECHO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1117	0,0782	93229,2	
3	0+300	DERECHO	0,0000	0,0200	0,0900	0,1006	0,0782	139843,8	
4	0+450	DERECHO	0,0000	0,0300	0,0900	0,1006	0,0670	93229,2	
5	0+600	DERECHO	0,0000	0,0300	0,0900	0,1006	0,0670	93229,2	
6	0+750	DERECHO	0,0000	0,0200	0,0900	0,1006	0,0782	139843,8	
7	0+900	DERECHO	0,0000	0,0300	0,0800	0,0894	0,0559	93229,2	
8	1+050	DERECHO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1117	0,0782	93229,2	

CALCULO DE DEFLEXIONES	
PROMEDIO (Do)	0,1034
DEFLEX CARAC (mm)	0,1163
DESV. ESRANDAR (Do)	0,0079
C. VAR	7,6444

FUENTE: Elaboración Propia.

GRAFICO 3. 2: DEFLECTOGRAMA CARRIL DERECHO TRAMO 2



FUENTE: Elaboración Propia.

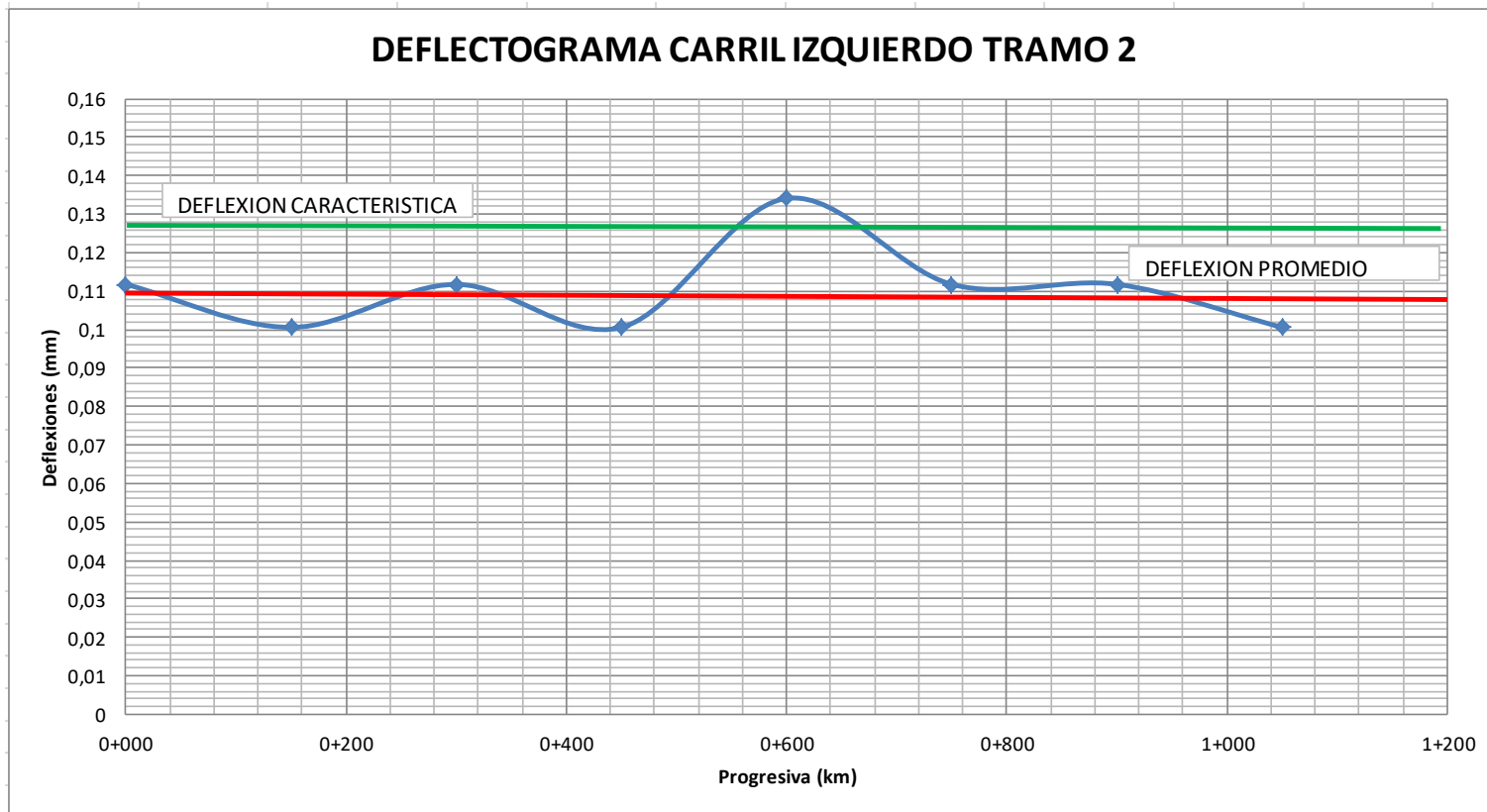
TABLA 3. 22: CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA EN EL CARRIL IZQUIERDO DEL TRAMO 2

(N°)	Progresiva (km)	CARRIL	LECTURAS DE CAMPO			PARÁMETROS DE EVALUACION			OBSERVACION
			L- a 0cm	L- a 25cm	L-a 500cm	Do	D25	Rc	
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	
1	1+050	IZQUIERDO	0,0000	0,0200	0,0900	0,1006	0,0782	139843,8	
2	0+900	IZQUIERDO	0,0000	0,0200	0,1000	0,1117	0,0894	139843,8	
3	0+750	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1117	0,0782	93229,2	
4	0+600	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1200	0,1341	0,1006	93229,2	
5	0+450	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,0900	0,1006	0,0670	93229,2	
6	0+300	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1117	0,0782	93229,2	
7	0+150	IZQUIERDO	0,0000	0,0200	0,0900	0,1006	0,0782	139843,8	
8	0+000	IZQUIERDO	0,0000	0,0200	0,1000	0,1117	0,0894	139843,8	

CALCULO DE DEFLEXIONES	
PROMEDIO (Do)	0,1103
DEFLEX CARAC (mm)	0,1286
DESV. ESRANDAR (Do)	0,0111
C. VAR	10,0358

FUENTE: Elaboración Propia.

GRAFICO 3. 3: DEFLECTOGRAMA CARRIL DERECHO TRAMO



FUENTE: Elaboración Propia.

3.5.3.3. TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA

TABLA 3. 23: LECTURAS DE CAMPO PARA EL CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA CON VIGA BENKELMAN EN EL TRAMO 3

(N°)	PROGR. (km)	FECHA	LECTURAS DE CAMPO CARRIL DERECHO						
			L- a 0cm	L- a 25cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L-a 500cm
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	19/10/2016	0	0,020	0,040	0,050	0,070	0,080	0,100
2	0+100	19/10/2016	0	0,020	0,050	0,050	0,080	0,100	0,120
3	0+200	19/10/2016	0	0,030	0,050	0,060	0,080	0,090	0,110
4	0+300	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,070	0,070	0,090	0,110
5	0+400	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,060	0,080	0,090	0,120
6	0+500	19/10/2016	0	0,020	0,040	0,060	0,080	0,090	0,100

(N°)	PROGR. (km)	FECHA	LECTURAS DE CAMPO CARRIL IZQUIERDO						
			L- a 0cm	L- a 25cm	L- a 50cm	L- a 100cm	L- a 150cm	L- a 200cm	L-a 500cm
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+500	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,050	0,060	0,070	0,100
2	0+400	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,050	0,060	0,080	0,100
3	0+300	19/10/2016	0	0,030	0,050	0,060	0,080	0,090	0,110
4	0+200	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,070	0,080	0,090	0,110
5	0+100	19/10/2016	0	0,030	0,030	0,060	0,080	0,080	0,120
6	0+000	19/10/2016	0	0,030	0,040	0,060	0,080	0,080	0,110

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 24: CÁLCULO DE DEFLEXIONES EN EL TRAMO 3

(N°)	PROGR. (km)	PARÁMETROS DE EVALUACION CARRIL DERECHO							PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °c						
		Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500	Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	0,1000	0,0800	0,0600	0,0500	0,0300	0,0200	0,0000	0,1124	0,0899	0,0674	0,0562	0,0337	0,0225	0,0000
2	0+100	0,1200	0,1000	0,0700	0,0700	0,0400	0,0200	0,0000	0,1348	0,1124	0,0787	0,0787	0,0449	0,0225	0,0000
3	0+200	0,1100	0,0800	0,0600	0,0500	0,0300	0,0200	0,0000	0,1236	0,0899	0,0674	0,0562	0,0337	0,0225	0,0000
4	0+300	0,1100	0,0800	0,0700	0,0400	0,0400	0,0200	0,0000	0,1236	0,0899	0,0787	0,0449	0,0449	0,0225	0,0000
5	0+400	0,1200	0,0900	0,0800	0,0600	0,0400	0,0300	0,0000	0,1348	0,1011	0,0899	0,0674	0,0449	0,0337	0,0000
6	0+500	0,1000	0,0800	0,0600	0,0400	0,0200	0,0100	0,0000	0,1124	0,0899	0,0674	0,0449	0,0225	0,0112	0,0000

(N°)	PROGR. (km)	PARÁMETROS DE EVALUACION CARRIL IZQUIERDO							PARÁMETROS DE EVALUACION CORREGIDOS POR TEMP. A 20 °c						
		Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500	Do	D25	D50	D100	D150	D200	D500
		0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm
1	0+000	0,1000	0,0700	0,0600	0,0500	0,0400	0,0300	0,0000	0,1124	0,0787	0,0674	0,0562	0,0449	0,0337	0,0000
2	0+100	0,1000	0,0700	0,0600	0,0500	0,0400	0,0200	0,0000	0,1124	0,0787	0,0674	0,0562	0,0449	0,0225	0,0000
3	0+200	0,1100	0,0800	0,0600	0,0500	0,0300	0,0200	0,0000	0,1236	0,0899	0,0674	0,0562	0,0337	0,0225	0,0000
4	0+300	0,1100	0,0800	0,0700	0,0400	0,0300	0,0200	0,0000	0,1236	0,0899	0,0787	0,0449	0,0337	0,0225	0,0000
5	0+400	0,1200	0,0900	0,0900	0,0600	0,0400	0,0400	0,0000	0,1348	0,1011	0,1011	0,0674	0,0449	0,0449	0,0000
6	0+500	0,1100	0,0800	0,0700	0,0500	0,0300	0,0300	0,0000	0,1236	0,0899	0,0787	0,0562	0,0337	0,0337	0,0000

FUENTE: Elaboración Propia.

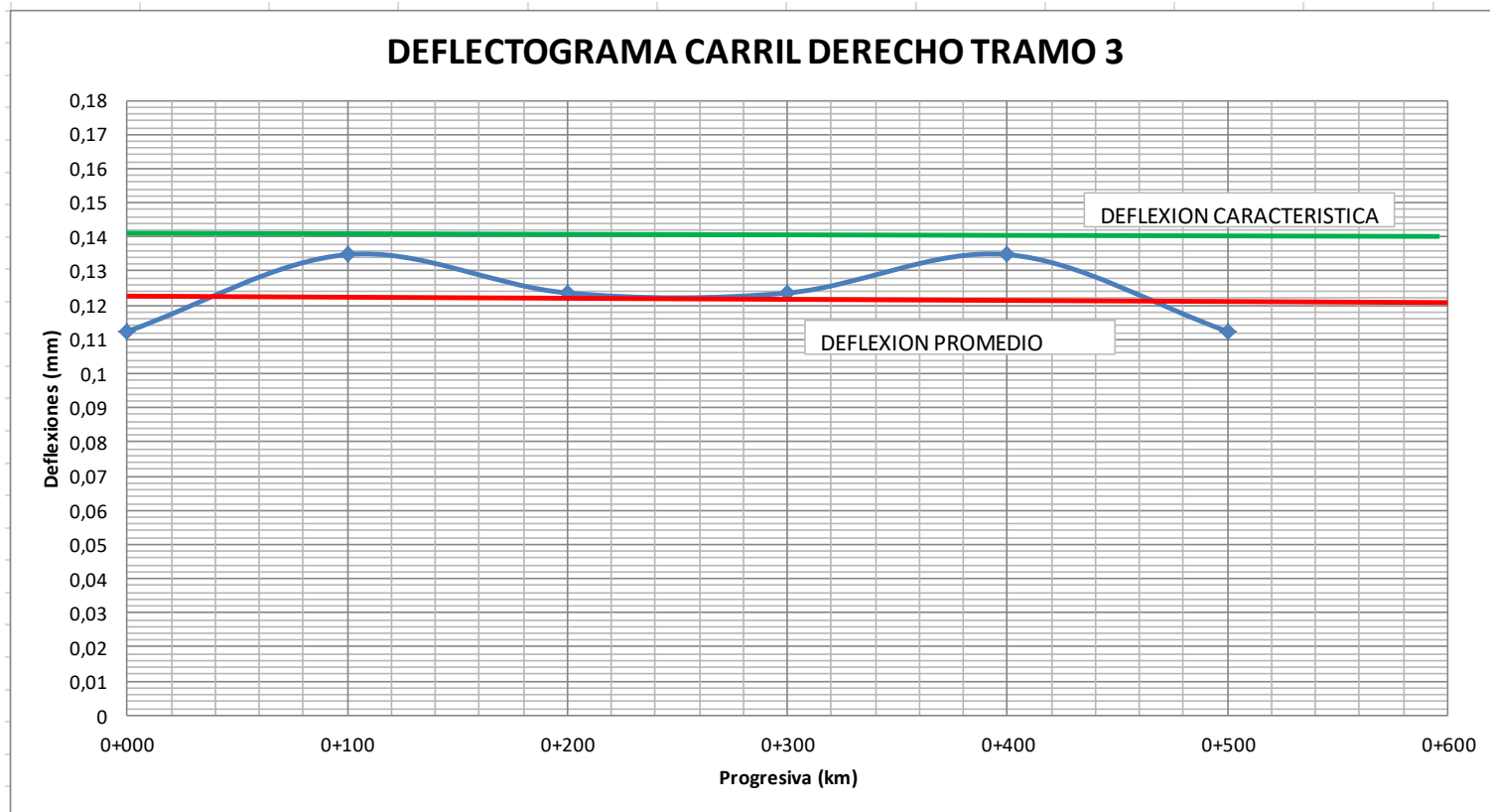
TABLA 3. 25: CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA EN EL CARRIL DERECHO DEL TRAMO 3

(N°)	Progresiva (km)	CARRIL	LECTURAS DE CAMPO			PARÁMETROS DE EVALUACION			OBSERVACION
			L- a 0cm	L- a 25cm	L-a 500cm	Do	D25	Rc	
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	
1	0+000	DERECHO	0,0000	0,0200	0,1000	0,1124	0,0899	139062,5	
2	0+100	DERECHO	0,0000	0,0200	0,1200	0,1348	0,1124	139062,5	
3	0+200	DERECHO	0,0000	0,0300	0,1100	0,1236	0,0899	92708,3	
4	0+300	DERECHO	0,0000	0,0300	0,1100	0,1236	0,0899	92708,3	
5	0+400	DERECHO	0,0000	0,0300	0,1200	0,1348	0,1011	92708,3	
6	0+500	DERECHO	0,0000	0,0200	0,1000	0,1124	0,0899	139062,5	

CALCULO DE DEFLEXIONES	
PROMEDIO (Do)	0,1236
DEFLEX CARAC (mm)	0,1401
DES. ESRANDAR (Do)	0,0100
C. VAR	8,1312

FUENTE: Elaboración Propia.

GRAFICO 3. 4: DEFLECTOGRAMA CARRIL DERECHO TRAMO 3



FUENTE: Elaboración Propia.

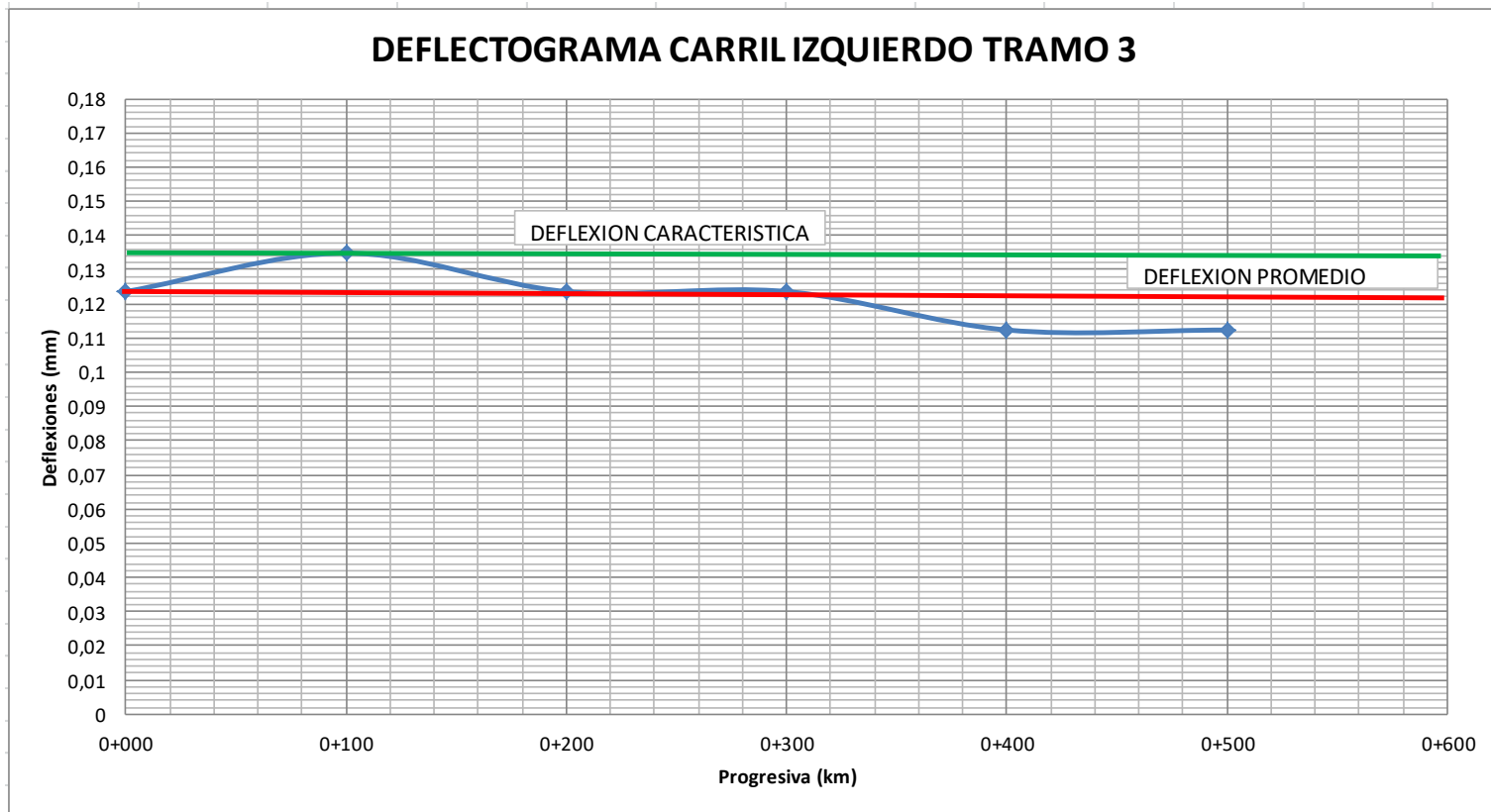
TABLA 3. 26: CÁLCULO DE LA DEFLEXIÓN CARACTERÍSTICA EN EL CARRIL IZQUIERDO DEL TRAMO 3

(N°)	Progresiva (km)	CARRIL	LECTURAS DE CAMPO			PARÁMETROS DE EVALUACION			OBSERVACION
			L- a 0cm	L- a 25cm	L-a 500cm	Do	D25	Rc	
			0.01 mm	0.01 mm	0.01 mm	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(m)	
1	0+500	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1124	0,0787	92708,333	
2	0+400	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1000	0,1124	0,0787	92708,333	
3	0+300	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1100	0,1236	0,0899	92708,333	
4	0+200	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1100	0,1236	0,0899	92708,333	
5	0+100	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1200	0,1348	0,1011	92708,333	
6	0+000	IZQUIERDO	0,0000	0,0300	0,1100	0,1236	0,0899	92708,333	

CALCULO DE DEFLEXIONES	
PROMEDIO (Do)	0,1217
DEFLEX CARAC (mm)	0,1356
DESV. ESRANDAR (Do)	0,0085
C. VAR	6,9487

FUENTE: Elaboración Propia.

GRAFICO 3. 5: DEFLECTOGRAMA CARRIL IZQUIERDO TRAMO 3



FUENTE: Elaboración Propia.

3.5.4. RESUMEN DE ESFUERZOS Y DEFLEXIONES CALCULADAS POR LOS DIFERENTES MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LOS TRAMOS DE ESTUDIO

3.5.4.1. TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

TABLA 3. 27: RESUMEN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS CALCULADOS POR DIFERENTES METODOS PARA EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.					
UBICACIÓN DE LA CARGA	WESTERGAARD		EVERFE 2,24		VIGA BENKELMAN
	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFLEXION (mm)
INTERIOR	0,78500	0,07326	0,71370	0,08500	0,06283
BORDE	1,18097	0,21523	1,17240	0,29600	
ESQUINA	1,02438	0,50823	0,86410	0,66700	

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 28: RESUMEN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS CALCULADOS POR DIFERENTES MÉTODOS PARA EL TRAMO 2

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.						
UBICACIÓN DE LA CARGA	WESTERGAARD		EVERFE 2,24		VIGA BENKELMAN	
	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFLEXION CARRIL DERECHO (mm)	DEFLEXION CARRIL IZQUIERDO (mm)
INTERIOR	1,11992	0,11778	1,31800	0,13900	0,11630	0,12860
BORDE	1,71131	0,34688	1,64000	0,47800		
ESQUINA	1,46310	0,82023	1,27340	0,89500		

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 29: RESUMEN DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS CALCULADOS POR DIFERENTES MÉTODOS PARA EL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.						
UBICACIÓN DE LA CARGA	WESTERGAARD		EVERFE 2,24		VIGA BENKELMAN	
	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFLEXION CARRIL DERECHO (mm)	DEFLEXION CARRIL IZQUIERDO (mm)
INTERIOR	1,0422	0,1214	0,9730	0,2100	0,1401	0,1356
BORDE	1,5944	0,3603	1,6354	0,4330		
ESQUINA	1,3659	0,8557	1,1642	0,9800		

FUENTE: Elaboración Propia.

3.6. DISEÑO DE ESPESORES DE PAQUETE POR EL MÉTODO AASTHO SEGÚN DISEÑO ORIGINAL EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

3.6.1. CÁLCULO DE DATOS REQUERIDOS PARA EL DISEÑO DE ESPESOR DE PAVIMENTOS POR LA METODOLOGÍA AASTHO EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

- **DESVIACIÓN ESTÁNDAR**

Este valor en para pavimentos rígidos es 0,34 según lo que recomiendan la AASTHO cuando se tiene buen control durante el proceso de construcción y la predicción del tránsito se supone sin errores, pero este valor puede oscilar 0,39.

FIGURA 3. 49: VALORES DE LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR EN PAVIMENTOS

Condición de diseño	Desvío Estándar
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito	0.34 (pav. Rígidos)
	0.44 (pav. Flexibles)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito	0.39 (pav. Rígidos)
	0.49 (pav. Flexibles)

FUENTE: Diseño de Pavimentos (AASTHO – 93).

- **CONFIABILIDAD**

Confiabilidad es la probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla su función prevista dentro de su vida útil bajo las condiciones (medio ambiente) que tiene lugar en ese lapso.

Un nivel de confiabilidad alto implica un pavimento más costoso y por lo tanto mayores costos iniciales, pero también pasara más tiempo hasta que este pavimento necesite una reparación y por ende los costos de mantenimiento serán menores.

FIGURA 3. 50: RELACIÓN DE CONFIABILIDAD Y EL VALOR Z_R

Confiabilidad R, %	Desviación normal estándar Z_R
50	0.000
60	0.253
70	0.524
75	0.674
80	0.841
85	1.037
90	1.282
91	1.340
92	1.405
93	1.476
94	1.555
95	1.645
96	1.751
97	1.881
98	2.054
99	2.327
99.9	3.090
99.99	3.750

FUENTE: *Diseño de Pavimentos (AASTHO – 93).*

- **COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CARGA**

El concepto de transferencia de cargas en las juntas transversales, se refiere a la capacidad de una losa de transferir una parte de su carga a la losa vecina. De este modo, una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa vecina, reduciendo por tanto sus tensiones de borde.

FIGURA 3. 51: VALORES DE COEFICIENTES DE CARGA EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

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

FUENTE: Diseño de Pavimentos (ASTHO – 93).

- **COEFICIENTE DE DRENAJE**

Un buen drenaje aumenta la capacidad portante de la sub rasante (el módulo resiliente aumenta cuando baja el contenido de humedad), mejorando la calidad del camino y permitiendo el uso de capas más delgadas.

FIGURA 3. 52: VALORES DEL COEFICIENTE DE DRENAJE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

FUENTE: Diseño de Pavimentos (ASTHO – 93).

- **SERVICIABILIDAD**

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviciability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0 (pésimas condiciones) y 5 (perfecto).

La AASTHO recomienda para pavimentos rígidos una serviciabilidad inicial P_o de 4,5 y de 2,5 como serviciabilidad final P_t para vías o caminos muy importantes.

3.6.1.1. TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA

- **TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL**

TABLA 3. 30: RESUMEN DEL TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) EN EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.	
CONFIGURACION VEHICULAR	TPDA
Automóviles y Vagonetas	2628000
Camionetas (hasta 2 Tn.)	341640
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	112055
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	210240
Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	17520
Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	16790
Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	70810
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	24090
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	36865
Camiones Semirremolque	4380
Camiones Remolque	5840
Otros Vehiculos	265720
TOTAL	3733950

FUENTE: Elaboración Propia.

NOTA: En anexos se adjunta tablas de aforo.

- **FACTOR DE CRECIMIENTO**

Este valor va ligado a la vida útil con el que fue diseñado el pavimento y el índice de crecimiento vehicular.

Para el caso del Tramo 1 (ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA) la vida útil con la que fue diseñado este pavimento fue de 30 años, el mismo fue concluido el año 2014, y en esa gestión se tenía una índice de crecimiento de 9.11%. Con esos valores se entra a la siguiente tabla:

FIGURA 3. 53: FACTORES DE CRECIMIENTO VEHICULAR

Tabla 3.19. Factores de crecimiento de tránsito

Periodo de análisis (años)	Factor de Crecimiento *	Tasa de Crecimiento anual (%)							
		2	4	5	6	7	8	10	
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10	
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31	
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64	
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11	
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72	
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49	
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44	
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58	
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94	
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53	
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38	
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52	
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97	
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77	
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95	
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55	
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60	
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16	
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28	
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35	
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49	
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02	

* Factor = $[(1+g)^n - 1]/g$ donde g = tasa/100 y no debe ser nula. Si ésta es nula, el factor es igual al período de análisis.

FUENTE: Diseño de Pavimentos (AASHTO – 93).

Con los datos de vida útil e índice de crecimiento vehicular obtenemos un factor de crecimiento de 139,14.

- **CÁLCULO DE ESAL'S**

Para el cálculo de ESAL'S necesitamos el factor de crecimiento calculado con anterioridad, el TPDA y el peso total para cada movilidad, con este valor encontramos LEF (para diferentes espesores) para pavimentos rígidos y con un índice de serviciabilidad final de 2,5.

Calculamos en tránsito de diseño que es la multiplicación del factor de crecimiento por el TPDA, luego multiplicamos los LEF por el tránsito de diseño y tenemos el número de ESAL'S para cada tipo de vehículo. La suma de estos ESAL'S, es total de ESAL'S para ese espesor. Con los ESAL'S calculados para cada espesor se saca un valor promedio y un valor máximo, adoptando un número de ejes equivalentes que este dentro de esos valores.

En las tablas siguientes se detalla los datos calculados:

TABLA 3. 31: CÁLCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 1

D	6 pulg
	15,24 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	TIPO DE EJE	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0022	794456,72
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0064	306036,34
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0089	138215,87
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1749	5115938,3
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5528	1347617,3
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,2098	490050,44
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,1872	21548696
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	10,7941	36179426
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	3,9038	20023674
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,6418	1000544,7
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,1128	4154447,6
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL's TOTAL	91099472
---------------------------	-----------------

D	7 pulg
	17,78 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,00147	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,00544	258501,9
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,00787	122624,98
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,16653	4871273,5
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,54026	1316968,5
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,19639	458777,91
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,17784	21456594
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	10,09454	33834756
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	3,77503	19363095
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,64181	1000544,7
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	4,86353	3951884,1
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL'S TOTAL	87172231
---------------------------	-----------------

D	8 pulg
	20,32 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0015	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0051	240342,67
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0072	112464,62
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1553	4542205,4
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5273	1285278,9
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1880	439185,86
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,2562	22228721
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	10,0948	33835660
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	3,9098	20054507
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,6912	1030645,7
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	4,9936	4057598,4
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL'S TOTAL	88363818
---------------------------	-----------------

D	9 pulg
	22,86 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0015	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0051	240342,67
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0072	112464,62
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1511	4419215,7
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5213	1270652,9
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1836	428938,19
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,3149	22807013
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	10,6946	35845904
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	4,1286	21176718
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,7309	1054837,5
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,3130	4317123
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL'S TOTAL	92210419
---------------------------	-----------------

D	10 pulg
	25,54 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0015	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0051	240342,67
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0072	112464,62
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1501	4389963,7
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5183	1263339,9
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1819	424982,4
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,3539	23191471
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	11,3941	38190724
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	4,2874	21991174
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,7603	1072750,2
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,5824	4536019,8
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL's TOTAL	95950442
---------------------------	-----------------

D	11 pulg
	27,94 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0015	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0051	240342,67
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0072	112464,62
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1491	4360711,7
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5166	1259231,5
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1809	422646,31
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,3733	23382095
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	11,9936	40199914
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	4,3814	22473266
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,7703	1078844,4
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,7520	4673825,5
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL's TOTAL	98740551
---------------------------	-----------------

D	12 pulg
	30,48 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0071	2597773,8
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0135	639845,61
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0216	335992,44
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,2681	7842944,3
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5163	1258464,6
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1809	422646,31
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,3833	23480617
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	12,2934	41204773
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	4,4262	22703045
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,7703	1078844,4
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,8417	4746708,9
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL's TOTAL 106312025

D	13 pulg
	33,02 cm

Pt =	2,5
-------------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0015	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0051	240342,67
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0072	112464,62
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1483	4339216,5
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5163	1258464,6
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1809	422646,31
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,3833	23480617
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	12,5929	42208878
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	4,4558	22854847
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,7703	1078844,4
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,8916	4787254,5
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL's TOTAL	101320786
---------------------------	------------------

D	14 pulg
	35,56 cm

Pt =	2,5
------	-----

Nº	TIPO DE VEHICULO	IPO DE EJ	PESO (tn)	Nº de Pasajeros	CARGA (tn)	PESO TOTAL (KN)	TPDA	FACTOR DE CRECIMIENTO	TRANSITO DE DISEÑO	LEF	Nº ESAL'S
1	Automóviles y Vagonetas	Simple	1,50	5	0,00	15,20	2628000	139,14	365649537	0,0015	536840
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	Simple	1,80	5	0,45	21,20	341640	139,14	47534440	0,0051	240342,67
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	Simple	1,80	12	0,19	23,60	112055	139,14	15590890	0,0072	112464,62
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	4,50	21	0,20	51,04	210240	139,14	29251963	0,1483	4339216,5
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	Simple	5,75	35	0,00	68,40	17520	139,14	2437664	0,5156	1256793,8
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	Tandem	7,50	41	0,00	86,24	16790	139,14	2336095	0,1809	422646,31
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	7,50	3	5,45	97,61	70810	139,14	9852224	2,3833	23480617
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	Simple	8,00	3	11,00	142,38	24090	139,14	3351788	12,6929	42543755
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	Tandem	13,00	3	22,50	182,27	36865	139,14	5129251	4,4658	22906140
10	Camiones Semirremolque	Tridem	14,00	3	24,10	195,53	4380	139,14	609416	1,7800	1084753,6
11	Camiones Remolque	Tridem	14,00	3	36,35	258,01	5840	139,14	812555	5,9215	4811549
12	Otros Vehiculos	Simple	0,40	2	0,00	5,60	265720	139,14	36971231	0,00001	369,71231

Nº DE ESAL's TOTAL 101735489

Nº ESAL's PROMEDIO =		95878359,25
Nº ESAL's MAYOR =		106312024,60
Nº ESAL's MENOR =		87172230,56
Nº ESAL's ADOPTADO =		100000000

FUENTE: Elaboración Propia.

NOTA: En anexos se adjunta tablas para el cálculo de los LEF.

- **RESISTENCIA DEL HORMIGÓN**

En este tramo no se pudo realizar pruebas de extracción de núcleos de pavimento para su posterior ruptura, ya que la estructura es nueva y la alcaldía no quiso conceder los permisos necesarios para la realización de dicha práctica, ya que es un ensayo DESTRUCTIVO.

Al no tener los permisos necesarios, la alcaldía proporciono planillas impresas de los ensayos de muestras de hormigón realizadas durante los trabajos de construcción de la estructura, las cuales se adjunta en anexos.

De los datos proporcionados se obtuvo los siguientes valores a la resistencia a la compresión del hormigón:

TABLA 3. 32: VALORES DE COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN PARA EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.			
PUNTO	COMPRESION (Mpa)	COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)
1	39,7	404,83	366
2	34,3	349,76	
3	34,9	355,88	
4	34,3	349,76	

FUENTE: Datos Proporcionados por el GOBIERNO AUTONOMO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TARIJA Y LA PROV.CERCADO (DIRECTOR GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS MUNICIPALES)

Nota: En anexos se adjunta las planillas de los datos de resistencia del hormigón.

- **MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB RASANTE**

Sub rasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

Para la determinación de este valor se realizó un estudio de DCP en el tramo, el cual consiste en la medición de la penetración por golpe a una determinada profundidad, con este ensayo realizamos la correlación para la determinación del CBR de la capa sub base y el CBR de la capa sub rasante mejorada. El CBR de la sub rasante del terreno

natural fue proporcionado por referencias bibliográficas de una tesis realizada en el tramo.

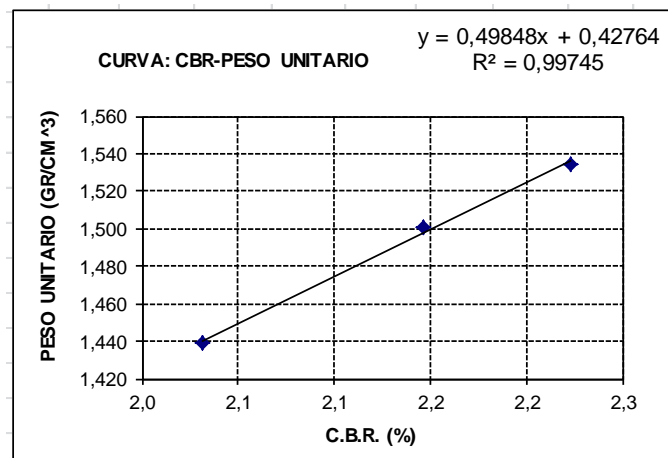
TABLA 3. 33: VALORES CALCULADOS DE CBR EN EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.			
CAPA SUB BASE		CAPA SUB RASANTE	
CBR (%)	H (cm)	CBR (%)	H (cm)
44	38	39	24

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de datos de valores de DCP y la correlación de los mismos para la determinación el CBR.

GRÁFICO 3. 6: VALORES DE CBR PARA LA SUB RASANTE TERRENO NATURAL TRAMO 1



CBR 100% D.máx	3	%
CBR 95% D.Máx.	2	%

FUENTE: BEJARANO AGUILERA Jorge Armando. Correlación Empírica entre el CBR y el Penetrometro con Anillo de Carga para Suelos Fino (Zona Nueva Terminal). Tarija – Bolivia: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Civil, 2015.

Conociendo todos estos valores podemos encontrar el valor combinado de la sub rasante, el cual nos sirve como dato para el cálculo de espesor de pavimento.

Para la determinación del valor combinado de soporte de la sub rasante utilizamos la siguiente tabla propuesta por el manual de la AASTHO, la cual la utilizamos entrando con el CBR de la capa sub rasante terreno natural con la altura de la capa de sub rasante mejorada y encontramos un primer valor combinado, luego entramos con el CBR de la capa sub rasante mejora con la altura de la capa sub base y encontramos el segundo valor combinado, el coeficiente K combinado es el promedio de ambos valores.

TABLA 3. 34: AUMENTO DE K DEBIDO A LA PRESENCIA DE UNA CAPA SUB BASE GRANULAR

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

FUENTE: Diseño de Pavimentos (AASTHO – 93).

El valor combinado de la sub rasante para el tramo 1 es de 120 MPa/m o 420 pci, el mismo valor presentado en la Tabla 7 del presente capítulo.

Con los datos de diseño considerados podemos encontrar el espesor del pavimento rígido según metodología AASTHO para el tramo 1 perteneciente a los Accesos a la Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija. Para el cálculo de este valor utilizaremos la siguiente ecuación propuesta:

FIGURA 3. 54: ECUACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE PAVIMENTO RÍGIDO SEGÚN AASTHO

$$\log W_{18} = Z_a S_o + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{3.48}}} + (4.22 - 0.32 p_t) \log \left[\frac{S_c' C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left(D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

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

Z_a = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada (Ver cap. 6, ap. 6.2.3)

S_o = desvío estándar de todas las variables

D = espesor de la losa del pavimento, en pulg.

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño

p_t = serviciabilidad final

S_c' = módulo de rotura del hormigón, en psi

J = coeficiente de transferencia de cargas

C_d = coeficiente de drenaje

E_c = módulo de elasticidad del hormigón, en psi

K = módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balasto), en psi/pulg

FUENTE: *Diseño de Pavimentos (AASTHO – 93)*.

Introduciendo los valores de diseño calculados a la fórmula propuesta en el manual de la AASTHO encontramos que el espesor del pavimento es el siguiente:

TABLA 3. 35: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 1

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		
ESAL's =	100000000,00	
Confiabilidad (R) =	90	%
Desviacion Estandar Normal (Zr) =	-1,282	
Desviacion Estandar (So) =	0,34	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	4,5	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Servicios (ΔPSI) =	2	
Coefficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coefficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion Combinado de la Sub rasante (k)	420	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (f'c) =	366	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4108806,82	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	721,5055218	psi (lb/in ²)
log W18 =	8,0000	
Espesor Asumido (D) =	11,174	in
logΔPSI/4,5-1,5	-0,176091259	
W18 =	8,0000	
Espesor de Losa Calculada (D) =	11,174	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	28,38	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

3.6.1.2. TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA

Para el caso del tramo 2 se analizará tres casos para la determinación del espesor del pavimento:

Caso 1: El espesor con el que fue diseñado el pavimento al momento de su construcción para un determinado periodo de vida útil.

Caso 2: El espesor para saber cómo se comporta el pavimento para el tráfico actual.

Caso 3: El espesor para verificar si el pavimento soportara hasta el final de su vida útil con un tráfico actual proyectado.

- **TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL**

Para el caso 1 tenemos que determinar el TPDA existente al momento del diseño del pavimento, para lo cual partimos del TPDA actual calculado para el año 2016 y realizamos una regresión hasta 1998(año de diseño), como se muestra en la tabla:

Para el caso 2 y 3 el TPDA es el actual y lo calculamos con proyección:

TABLA 3. 36: REGRESIÓN PARA EL CÁLCULO DE TPDA EN EL TRAMO 2
PARA EL AÑO DE DISEÑO CASO 1

AÑO	CANTIDAD DE VEHICULOS	TPDA ACTUAL
2016	64435	5758240
1998	15331	X

TPDA PARA EL AÑO 1998	
X=	1370057

Nº	TIPO DE VEHICULO	TPDA DE DISEÑO	PORCENTAJE DE VEHICULOS SEGÚN SU TIPO
1	Automóviles y Vagonetas	964668	70,41%
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	112811	8,23%
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	17196	1,26%
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	19540	1,43%
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	10596	0,77%
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	3561	0,26%
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	49675	3,63%
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	8685	0,63%
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	7643	0,56%
10	Camiones Semirremolque	3908	0,29%
11	Camiones Remolque	4690	0,34%
12	Otros Vehiculos	167089	12,20%
	TOTAL	1370062	100,00%

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 37: TPDA ACTUAL PARA EL TRAMO 2 EN EL CASO 2 Y 3

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA		
CONFIGURACION VEHICULAR	TPDA	
	D	I
Automóviles y Vagonetas	2868900	4054420
Camionetas (hasta 2 Tn.)	369015	474135
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	64240	72270
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	70810	82125
Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	21535	44530
Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	17155	14965
Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	206225	208780
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	97820	36500
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	41610	32120
Camiones Semirremolque	16060	16425
Camiones Remolque	15695	19710
Otros Vehiculos	537645	702260
TOTAL	4326710	5758240

FUENTE: Elaboración Propia.

NOTA: En anexos se adjunta tablas de aforo.

Como se puede observar el carril con mayor TPDA es el carril izquierdo, siendo este el carril de diseño para el tramo 2.

- **FACTOR DE CRECIMIENTO**

Para el Tramo 2, en el caso 1 la vida útil con la que fue diseñado este pavimento fue de 35 años, el mismo fue diseñado la gestión 1998, y en este periodo se tenía una índice de crecimiento de 1,89%. Con este valor se entra a la tabla de la figura 35 y obtenemos un factor de crecimiento de 48,98.

Para el caso 2 del tramo 2 se toma un índice de crecimiento actual que es de 4,97% y un periodo de vida útil de un año, para de esta manera poder conocer cómo se comporta el pavimento en la actualidad. Con este valor se entra a la tabla de la figura 35 y obtenemos un factor de crecimiento de 1.

Para el caso 3 del tramo 2 se toma un índice de crecimiento actual que es de 4,97% y un periodo de vida útil de 17 años que es el periodo restante que tiene esta vía. Con este valor se entra a la tabla de la figura 35 y obtenemos un factor de crecimiento de 25,7.

- **CÁLCULO DE ESAL'S**

En la siguiente tabla se muestra el ESAL's calculado para el tramo 2 para los diferentes caso de estudio:

TABLA 3. 38: CÁLCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 2 CASO 1

Nº ESAL's PROMEDIO =		14247452,29
Nº ESAL's MAYOR =		15351185,00
Nº ESAL's MENOR =		13018543,39
Nº ESAL's ADOPTADO =		14600000

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de cálculo de ESAL'S.

TABLA 3. 39: CÁLCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 2 CASO 2

Nº ESAL's PROMEDIO =		1222457,54
Nº ESAL's MAYOR =		1317160,35
Nº ESAL's MENOR =		1117015,47
Nº ESAL's ADOPTADO =		1250000

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de cálculo de ESAL'S.

TABLA 3. 40: CÁLCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 2 CASO 3

Nº ESAL's PROMEDIO =		31505824,25
Nº ESAL's MAYOR =		33946555,93
Nº ESAL's MENOR =		28788323,05
Nº ESAL's ADOPTADO =		32000000

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de cálculo de ESAL'S.

- **RESISTENCIA DEL HORMIGÓN**

Para la determinación de este valor se procedió a la realización de rupturas de muestras inalterables, las cuales fueron sacadas del tramo en estudio. Con este valor se realizó el procedimiento de cálculo de espesores.

En las tablas siguientes se detalla los valores encontrados de las rupturas de las muestras inalterables:

TABLA 3. 41: TABLAS DE VALORES DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PARA EL TRAMO 2

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.			
PUNTO	COMPRESION (Mpa)	COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)
1	42,3	431,34	428
2	45,2	460,91	
3	39,8	405,85	
4	40,2	409,93	

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta el reporte fotográfico de la ruptura de muestras inalterables y extracción de las mismas.

- **MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB RASANTE**

Sub rasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

Para la determinación de este valor se realizó un estudio de DCP en el tramo, el cual consiste en la medición de la penetración por golpe a una determinada profundidad, con este ensayo realizamos la correlación para la determinación del CBR de la capa sub base y el CBR de la capa sub rasante mejorada. El CBR de la sub rasante del terreno natural fue proporcionado por referencias bibliográficas de una tesis realizada en el tramo.

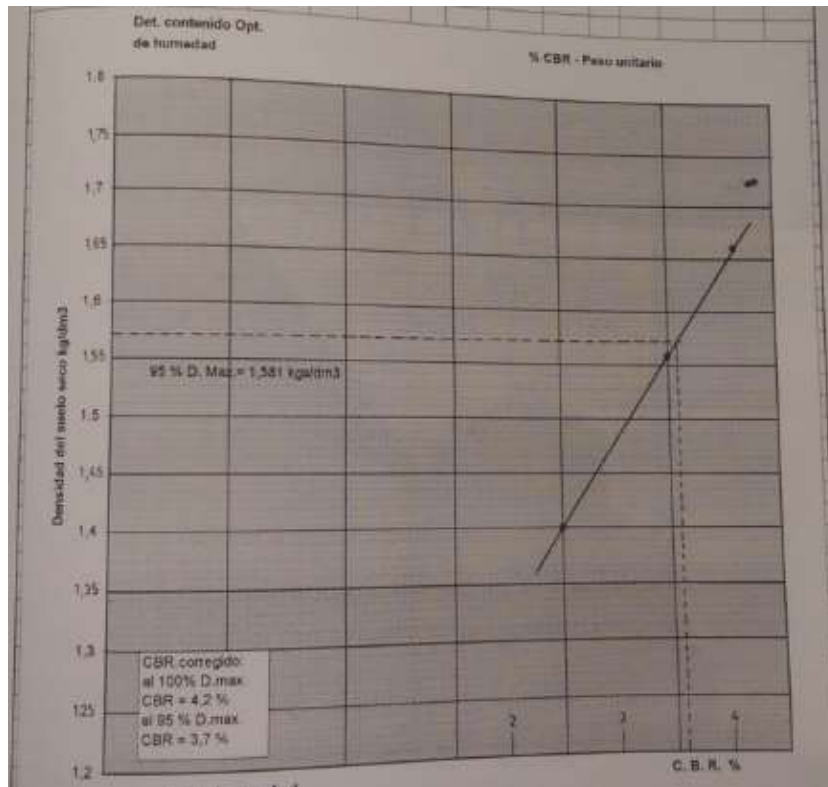
TABLA 3. 42: VALORES CALCULADOS DE CBR EN EL TRAMO 2

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.			
CAPA SUB BASE		CAPA SUB RASANTE	
CBR (%)	H (cm)	CBR (%)	H (cm)
45	27	18	34

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de datos de valores de DCP y la correlación de los mismos para la determinación el CBR.

FIGURA 3. 55: VALORES DE CBR PARA LA SUB RASANTE TERRENO NATURAL TRAMO 2



FUENTE: SANDOVAL TEJERINA Rodrigo Jaime. *Diseño de Pavimento Rígido de la Avenida Circunvalación. Tarija – Bolivia: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Civil, 1999.*

Para la determinación del valor combinado de soporte de la sub rasante utilizamos la tabla 34 propuesta por el manual de la AASTHO, la cual la utilizamos entrando con el CBR de la capa sub rasante terreno natural con la altura de la capa de sub rasante mejorada y encontramos un primer valor combinado, luego entramos con el CBR de la capa sub rasante mejora con la altura de la capa sub base y encontramos el segundo valor combinado, el coeficiente K combinado es el promedio de ambos valores.

Conociendo todos estos valores podemos encontrar el valor combinado de la sub rasante, el cual nos sirve como dato para el cálculo de espesor de pavimento. Este valor combinado lo calculamos con la tabla 34. Para este tramo este valor es de 72.5 MPa/m o 240 pci.

Con los datos de diseño considerados podemos encontrar el espesor del pavimento rígido según metodología AASTHO para el tramo 2 en el caso 1, 2 y 3 con ayuda de la fórmula propuesta en la figura 37.

TABLA 3. 43: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 2 (CASO 1)

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.		
ESAL's =	14600000,00	
Confiabilidad (R) =	80	%
Desviacion Estandar Normal (Zr) =	-0,841	
Desviacion Estandar (So) =	0,36	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	4,5	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Servicios (ΔPSI) =	2	
Coefficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coefficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion de la Sub rasante (k)	240	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (f'c) =	428	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4443212,301	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	780,2270464	psi (lb/in ²)
log W18 =	7,1644	
Espesor Asumido (D) =	7,67	in
logΔPSI/4,5-1,5	-0,17609126	
W18 =	7,1644	
Espesor de Losa Calculada (D) =	7,67	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	19,48	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 44: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 2 (CASO 2)

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.		
ESAL's =	1250000,00	
Confiabledad (R) =	80	%
Desviacion Estandar Normal (Zr) =	-0,841	
Desviacion Estandar (So) =	0,36	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	3,5	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Serviciosabilidad (Δ PSI) =	1	
Coficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion de la Sub rasante (k)	240	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (fc) =	428	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4443212,3	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	780,227046	psi (lb/in ²)
log W18 =	6,0969	
Espesor Asumido (D) =	4,773	in
log Δ PSI/4,5-1,5	-0,47712125	
W18 =	6,0968	
Espesor de Losa Calculada (D) =	4,773	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	12,12	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 45: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 2 (CASO 3)

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.		
ESAL's =	32000000,00	
Confiabilidad (R) =	80	%
Desviacion Estandar Normal (Zr) =	-0,841	
Desviacion Estandar (So) =	0,36	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	3,5	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Servicios (ΔPSI) =	1	
Coefficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coefficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion de la Sub rasante (k)	240	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (fc) =	428	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4443212,301	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	780,2270464	psi (lb/in ²)
log W18 =	7,5051	
Espesor Asumido (D) =	9,801	in
logΔPSI/4,5-1,5	-0,47712125	
W18 =	7,5050	
Espesor de Losa Calculada (D) =	9,801	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	24,89	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

3.6.1.3. TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA

Para el caso del tramo 3 se analizará tres casos para la determinación del espesor del pavimento:

Caso 1: El espesor con el que fue diseñado el pavimento al momento de su construcción para un determinado periodo de vida útil.

Caso 2: El espesor para saber cómo se comporta el pavimento para el tráfico actual.

Caso 3: El espesor para verificar si el pavimento soportara hasta el final de su vida útil con un tráfico actual proyectado.

- **TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL**

Para el caso 1 tenemos que determinar el TPDA existente al momento del diseño del pavimento, para lo cual partimos del TPDA actual calculado para el año 2016 y realizamos una regresión hasta 1990(año de diseño), como se muestra en la tabla:

Para el caso 2 y 3 el TPDA es el actual y lo calculamos con proyección:

TABLA 3. 46: REGRESIÓN PARA EL CÁLCULO DE TPDA EN EL TRAMO 3 PARA EL AÑO DE DISEÑO CASO 1

AÑO	CANTIDAD DE VEHICULO	TPDA ACTUAL
2016	64435	3210540
1990	13140	X

TPDA PARA EL AÑO 1990	
X=	654714

Nº	TIPO DE VEHICULO	TPDA DE DISEÑO	PORCENTAJE DE VEHICULOS SEGÚN SU
1	Automóviles y Vagonetas	449502	68,66%
2	Camionetas (hasta 2 Tn.)	42279	6,46%
3	Minibuses (hasta 15 pasajeros)	27838	4,25%
4	Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	81579	12,46%
5	Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	0	0,00%
6	Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	0	0,00%
7	Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	7221	1,10%
8	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	2010	0,31%
9	Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	0	0,00%
10	Camiones Semirremolque	0	0,00%
11	Camiones Remolque	0	0,00%
12	Otros Vehiculos	44288	6,76%
TOTAL		654717	100,00%

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 47: TPDA ACTUAL PARA EL TRAMO 3 EN EL CASO 2 Y 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA		
CONFIGURACION VEHICULAR	TPDA	
	D	I
Automóviles y Vagonetas	2204235	241630
Camionetas (hasta 2 Tn.)	207320	102930
Minibuses (hasta 15 pasajeros)	136510	44895
Microbuses (hasta 21 pasajeros; de 2 ejes)	400040	167170
Buses Medianos (hasta 35 pasajeros; de 2 ejes)	0	0
Buses Grandes (más de 35 pasajeros; de 3 ejes)	0	0
Camiones Medianos (de 2,5 a 10,0 t; de 2 ejes)	35405	23725
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 2 ejes)	9855	10585
Camiones Grandes (más de 10,0 t; de 3 ejes)	0	0
Camiones Semirremolque	0	0
Camiones Remolque	0	0
Otros Vehiculos	217175	103295
TOTAL	3210540	694230

FUENTE: Elaboración Propia.

NOTA: En anexos se adjunta tablas de aforo y gráficas para el cálculo del TPDA.

Como se puede observar el carril con mayor TPDA es el carril derecho, siendo este el carril de diseño para el tramo 3.

- **FACTOR DE CRECIMIENTO**

Para el Tramo 3, en el caso 1 la vida útil con la que fue diseñado este pavimento fue de 45 años, el mismo fue diseñado la gestión 1990, y en este periodo se tenía una índice de crecimiento de 2,74%. Con este valor se entra a la tabla de la figura 35 y obtenemos un factor de crecimiento de 86,68.

Para el caso 2 del tramo 3 se toma un índice de crecimiento actual que es de 9,08% y un periodo de vida útil de un año, para de esta manera poder conocer cómo se comporta el pavimento en la actualidad. Con este valor se entra a la tabla de la figura 35 y obtenemos un factor de crecimiento de 1.

Para el caso 3 del tramo 3 se toma un índice de crecimiento actual que es de 9,08 % y un periodo de vida útil de 19 años que es el periodo restante que tiene esta vía. Con este valor se entra a la tabla de la figura 35 y obtenemos un factor de crecimiento de 46,41.

- **CALCULO DE ESAL'S**

En la siguiente tabla se muestra el ESAL's calculado para el tramo 3 para los diferentes caso de estudio:

TABLA 3. 48: CALCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 3 CASO 1

Nº ESAL's PROMEDIO =		4751565,74
Nº ESAL's MAYOR =		5907736,47
Nº ESAL's MENOR =		4362227,00
Nº ESAL's ADOPTADO =		5100000

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de cálculo de ESAL'S.

TABLA 3. 49: CÁLCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 3 CASO 2

Nº ESAL's PROMEDIO =		268778,088
Nº ESAL's MAYOR =		334183,49
Nº ESAL's MENOR =		246754,60
Nº ESAL's ADOPTADO =		300000

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de cálculo de ESAL'S.

TABLA 3. 50: CÁLCULO DE ESAL'S PARA DIFERENTES ESPESORES DE PAQUETE EN EL TRAMO 3 CASO 3

Nº ESAL's PROMEDIO =		12473428,94
Nº ESAL's MAYOR =		15508756,35
Nº ESAL's MENOR =		11451364,99
Nº ESAL's ADOPTADO =		13500000

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de cálculo de ESAL'S.

- **RESISTENCIA DEL HORMIGÓN**

Para la determinación de este valor se procedió a la realización de rupturas de muestras inalterables, las cuales fueron sacadas del tramo en estudio. Con este valor se realizó el procedimiento de cálculo de espesores.

En las tablas siguientes se detalla los valores encontrados de las rupturas de las muestras inalterables:

TABLA 3. 51: TABLAS DE VALORES DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN PARA EL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.			
PUNTO	COMPRESION (Mpa)	COMPRESION (kg/cm²)	PROMEDIO (kg/cm²)
1	36,2	369,14	370
2	35,74	364,45	
3	34,6	352,82	
4	38,5	392,59	

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta el reporte fotográfico de la ruptura de muestras inalterables y extracción de las mismas.

- **MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB RASANTE**

Sub rasante se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

Para la determinación de este valor se realizó un estudio de DCP en el tramo, el cual consiste en la medición de la penetración por golpe a una determinada profundidad, con este ensayo realizamos la correlación para la determinación del CBR de la capa sub base y el CBR de la capa sub rasante mejorada. El CBR de la sub rasante del terreno natural fue proporcionado por referencias bibliográficas de una tesis realizada en el tramo.

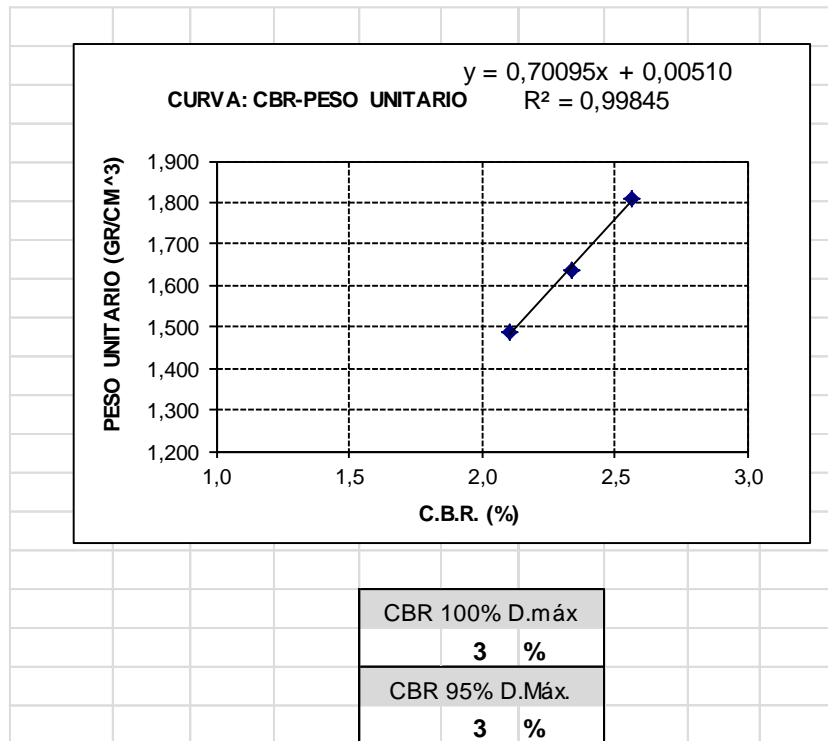
TABLA 3. 52: VALORES CALCULADOS DE CBR EN EL TRAMO 3

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.			
CAPA SUB BASE		CAPA SUB RASANTE	
CBR (%)	H (cm)	CBR (%)	H (cm)
40	32	16	19

FUENTE: Elaboración Propia.

Nota: En anexos se adjunta las planillas de datos de valores de DCP y la correlación de los mismos para la determinación el CBR.

GRÁFICO 3. 7: VALORES DE CBR PARA LA SUB RASANTE TERRENO NATURAL TRAMO 3



FUENTE: SANDOVAL TEJERINA Rodrigo Jaime. Diseño de Pavimento Rígido de la Avenida Circunvalación. Tarija – Bolivia: Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Facultad de Ciencias y Tecnología, Carrera de Ingeniería Civil, 1999.

Para la determinación del valor combinado de soporte de la sub rasante utilizamos la tabla 34 propuesta por el manual de la AASTHO, la cual la utilizamos entrando con el CBR de la capa sub rasante terreno natural con la altura de la capa de sub rasante mejorada y encontramos un primer valor combinado, luego entramos con el CBR de la capa sub rasante mejora con la altura de la capa sub base y encontramos el segundo valor combinado, el coeficiente K combinado es el promedio de ambos valores.

Conociendo todos estos valores podemos encontrar el valor combinado de la sub rasante, el cual nos sirve como dato para el cálculo de espesor de pavimento. Este valor combinado lo calculamos con la tabla 34. Para este tramo este valor es de 64 MPa/m o 230 pci.

Con los datos de diseño considerados podemos encontrar el espesor del pavimento rígido según metodología AASTHO para el tramo 2 en el caso 1, 2 y 3 con ayuda de la fórmula propuesta en la figura 37.

TABLA 3. 53: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 3 (CASO 1)

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.		
ESAL's =	5100000,00	
Confiabilidad (R) =	90	%
Desviación Estandar Normal (Zr) =	-1,282	
Desviación Estandar (So) =	0,37	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	4	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Servicios (ΔPSI) =	1,5	
Coficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion de la Sub rasante (k)	230	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (f'c) =	370	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4131198,304	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	725,4374611	psi (lb/in ²)
log W18 =	6,7076	
Espesor Asumido (D) =	7,41	in
logΔPSI/4,5-1,5	-0,301029996	
W18 =	6,7074	
Espesor de Losa Calculada (D) =	7,41	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	18,82	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 54: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 3 (CASO 2)

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.		
ESAL's =	300000,00	
Confiabilidad (R) =	90	%
Desviacion Estandar Normal (Zr) =	-1,282	
Desviacion Estandar (So) =	0,37	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	3,5	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Servicios (ΔPSI) =	1	
Coficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion de la Sub rasante (k)	230	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (fc) =	370	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4131198,3	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	725,43746	psi (lb/in ²)
log W18 =	5,4771	
Espesor Asumido (D) =	3,907	in
logΔPSI/4,5-1,5	-0,477121	
W18 =	5,4771	
Espesor de Losa Calculada (D) =	3,907	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	9,92	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

TABLA 3. 55: CÁLCULO DE ESPESOR CON DATOS DE DISEÑO PARA EL TRAMO 3 (CASO 3)

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.		
ESAL's =	13500000,00	
Confabilidad (R) =	90	%
Desviacion Estandar Normal (Zr) =	-1,282	
Desviacion Estandar (So) =	0,37	
Serviciabilidad Inicial (Po) =	4	
Serviciabilidad Final (Pt) =	2,5	
Diferencia de Servicios (ΔPSI) =	1,5	
Coefficiente de transferencia de Carga (J) =	2,7	
Coefficiente de Drenaje (Cd) =	1,1	
Modulo de Reaccion de la Sub rasante (k)	230	pci (lb/in ³)
Resistencia a la Compresion del Concreto (fc) =	370	kg/cm ²
Modulo de Elasticidad del Concreto (Ec) =	4131198,304	psi (lb/in ²)
Modulo de Ruptura del Concreto (Sc') =	725,4374611	psi (lb/in ²)
log W18 =	7,1303	
Espesor Asumido (D) =	8,838	in
logΔPSI/4,5-1,5	-0,30103	
W18 =	7,1304	
Espesor de Losa Calculada (D) =	8,838	in
Espesor de Losa Calculada (D) =	22,45	cm

FUENTE: Elaboración Propia.

**3.6.2. RESUMEN DE RESULTADOS DE CÁLCULO DE ESPESORES
PARA LOS DIFERENTES TRAMOS DE ESTUDIO**

**TABLA 3. 56: RESULTADOS DE ESPESORES CALCULADOS Y ESPESORES
MEDIDOS EN CAMPO PARA LOS TRAMOS DE ESTUDIO**

CASOS DE ESTUDIO	TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA		TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.	
	ESPESOR CALCULADO (CM)	ESPESOR DE CAMPO (CM)	ESPESOR CALCULADO (CM)	ESPESOR DE CAMPO (CM)	ESPESOR CALCULADO (CM)	ESPESOR DE CAMPO (CM)
CASO 1	28,38	25	19,48	21	18,82	22
CASO 2			12,12		9,92	
CASO 3			24,89		22,45	

FUENTE: Elaboración Propia.

CÁPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CÁPITULO IV

4.1. CONCLUSIONES

Luego de realizados los ensayos de deflectometría y la aplicación del software EVERFE 2.24 para el cálculo de esfuerzos y desplazamiento en pavimentos rígidos para los tramos:

- Tramo 1: Accesos Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija.
- Tramo 2: Avenida Circunvalación entre calle Froilán Tejerina y Avenida Panamericana.
- Tramo 3: Avenida Jaime Paz Zamora entre calle España y Avenida Padilla.

Se puede establecer las siguientes conclusiones:

- Que el software EVERFE 2.24 es un programa de fácil utilización, en el que podemos analizar un conjunto de 9 losas en una configuración de 3*3, introduciendo las dimensiones de las mismas y espesores de las capas que se encuentran por debajo de la losa de hormigón. De igual manera se puede introducir diferentes tipos de cargas de tráfico (ejes simples, ejes tándem y ejes tridem) e introducir un gradiente térmico para la obtención más precisa de los esfuerzos y desplazamientos. Este programa admite la configuración de los pasadores de las losas.

La obtención de resultados permite la visualización de los esfuerzos máximos a compresión y tensión, así como una grafico de los desplazamientos producidos en el paquete estructural.

- Según los resultados obtenidos con el software EVERFE 2.24 se determinó que los esfuerzos máximos producidos debido a cargas impuestas por el tránsito tienen lugar en el borde de la losa, como se lo pudo establecer con la aplicación del estudio en los tramo 1, 2 y tramo 3; siendo las dimensiones de losas diferentes en cada tramo. De igual manera se observa que los desplazamientos máximos se producen en la esquina de la losa para todos los tramos de estudio.

- Según los resultados obtenidos para el cálculo de esfuerzos y desplazamientos por el método Westergaard se determinó que los máximos esfuerzos producidos son el borde de la losa, y los desplazamientos máximos ocurren en la esquina de la misma, mostrando que estos resultados tiene una similitud en comportamiento a los esfuerzos y desplazamientos calculados con el software EVERFE 2.24.
- Una vez calcula la deflexión característica luego de procesados los datos de campo del estudio realizado con viga Benkelman, se observa que la misma se asemeja a la deflexión calculada en el interior de la losa por el método Westergaard y con el programa EVERFE. Esto indica que la práctica realizada para la evaluación estructural del pavimento cumple con los resultados obtenidos por otros métodos de cálculo.

TABLA 4. 1: RESULTADOS DE ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS CALCULADOS POR DIFERENTES MÉTODOS EN LOS TRAMOS DE ESTUDIO

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.						
UBICACIÓN DE LA CARGA	WESTERGAARD		EVERFE 2,24		VIGA BENKELMAN	
	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFLEXION (mm)	
INTERIOR	0,78500	0,07326	0,71370	0,08500	0,06283	
BORDE	1,18097	0,21523	1,17240	0,29600		
ESQUINA	1,02438	0,50823	0,86410	0,66700		

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.						
UBICACIÓN DE LA CARGA	WESTERGAARD		EVERFE 2,24		VIGA BENKELMAN	
	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFLEXION CARRIL DERECHO (mm)	DEFLEXION CARRIL IZQUIERDO (mm)
INTERIOR	1,11992	0,11778	1,31800	0,13900	0,11630	0,12860
BORDE	1,71131	0,34688	1,64000	0,47800		
ESQUINA	1,46310	0,82023	1,27340	0,89500		

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.						
UBICACIÓN DE LA CARGA	WESTERGAARD		EVERFE 2,24		VIGA BENKELMAN	
	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	ESFUERZO (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	DEFLEXION CARRIL DERECHO (mm)	DEFLEXION CARRIL IZQUIERDO (mm)
INTERIOR	1,0422	0,1214	0,9730	0,2100	0,1401	0,1356
BORDE	1,5944	0,3603	1,6354	0,4330		
ESQUINA	1,3659	0,8557	1,1642	0,9800		

FUENTE: Elaboración Propia.

- La variación que se obtuvo por los tres métodos es:

TABLA 4. 2: CÁLCULO DE LA VARIANZA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR

TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		
	ESFUERZO	DESPLAZAMIENTO
Desviacion Estandar (Borde)=	0,006060	0,057110
Varianza (Borde)=	0,000037	0,003262
Desviacion Estandar (Interior)=	0,050416	0,011092
Varianza (Interior)=	0,002542	0,000123
Desviacion Estandar (Esquina)=	0,113333	0,112267
Varianza (Esquina)=	0,012844	0,012604

TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA PANAMERICANA.		
	ESFUERZO	DESPLAZAMIENTO
Desviacion Estandar (Borde)=	0,050424	0,092719
Varianza (Borde)=	0,002543	0,008597
Desviacion Estandar (Interior)=	0,140064	0,010585
Varianza (Interior)=	0,019618	0,000112
Desviacion Estandar (Esquina)=	0,134138	0,052872
Varianza (Esquina)=	0,017993	0,002795

TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.		
	ESFUERZO	DESPLAZAMIENTO
Desviacion Estandar (Borde)=	0,028979	0,051409
Varianza (Borde)=	0,000840	0,002643
Desviacion Estandar (Interior)=	0,048964	0,039623
Varianza (Interior)=	0,002397	0,001570
Desviacion Estandar (Esquina)=	0,142635	0,087903
Varianza (Esquina)=	0,020345	0,007727

FUENTE: Elaboración Propia.

- Para la verificación de los CBR con la aplicación de la Viga Benkelman a través del modelo de Hoog, se obtuvo valores de CBR fuera de lo real, es por este motivo que los resultados fueron descartados. Esto se debe a que la práctica de viga Benkelman se adapta mejor para en pavimentos flexibles y no así en rígidos ya que la losa de hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos y desplazamientos producidos, los mismos no llegan a tener gran incidencia en las capas inferiores del paquete estructural.

De igual manera se observa que los esfuerzos y desplazamientos calculados con ayuda del programa ERVER 2.24 son similares a los calculados por el método Westergaard, esto nos quiere decir que los resultados obtenidos por ambos métodos son aceptables, cumpliendo lo descrito anteriormente que los esfuerzos máximos se producen en el borde de la losa y las deflexiones máximas en la esquina de la misma.

- Es importante la utilización del programa EVERFE 2.24 para hacer una comparación y evaluación de los esfuerzos y desplazamientos obtenidos conforme a datos reales de campo, ya que la sub rasantes y pavimento presentan un deterioro que es diferente a los valores originales de diseño.
- Para el caso de la Nueva Terminal de la Ciudad de Tarija el espesor calculado para 30 años de vida útil es de 28,38 cm y el espesor obtenido en campo es de 25 cm, esto quiero decir que a partir del año 25 será necesario determinar un refuerzo en caso de que el índice de crecimiento vehicular se mantenga constante.

Este tramo presenta una sub rasante muy mala y se tuvo q colocar una sub rasante mejorada para obtener terreno de fundación con mayor capacidad de soporte.

- Para el tramo 2 se realizó una regresión para calcular el número de ESAL's con el que fue diseñado el pavimento, para esto se tuvo primeramente que calcular el TPDA para la gestión 1998 que fue cuando se diseñó el pavimento. Una vez procesados los datos se obtuvo un espesor de diseño de 20 cm y el registrado en campo es de 21 cm, esto quiere decir que el pavimento calculado con datos de diseño se asemeja bastante al que tenemos en la actualidad.

Para el caso 2 se analizó el pavimento cómo se comporta con las solicitaciones de carga actuales, para ello se diseñó otro paquete con el número de ESAL's perteneciente a la gestión en curso, se obtuvo que con las solicitaciones de carga actuales el pavimento solo necesitaría un espesor de 12 cm ya que el mismo a la actualidad solo cumplió 18 años de su vida útil y aún le queda 17 más, esto

significa que estando casi a la mitad de su vida útil el pavimento solo absorbe casi la mitad del ESAL's con el que fue diseñado.

Para el caso 3 se realizó un diseño para comprobar que el pavimento llegue o no a cumplir su periodo de vida útil, siendo el espesor requerido para el final de su vida útil y con un índice de crecimiento perteneciente a la gestión 2016, este pavimento no llegara a cumplir su periodo de vida útil con el 2,5 de serviciabilidad final con el que fue diseñado, ya que para el final de su vida útil se necesitaría un espesor de 25 cm, superando en 4 cm con el que fue diseñado.

- Para el tramo 3 se obtuvo para el primer caso un espesor calculado de 19 cm y el medido en campo resultado de las muestras inalterables 22 cm, esto quiere decir que el espesor de la losa esta sobre dimensionada ya que excede un espesor de 3 cm.

Para el caso 2 se observa que el espesor de paquete absorbe tranquilamente los ESAL's actuales sin verse comprometido estructuralmente.

Para el caso 3 refleja que la vida útil del pavimento resistirá de manera adecuada hasta la culminación del mismo.

TABLA 4. 3: RESULTADOS DE ESPESORES CALCULADOS Y MEDIDOS PARA LOS TRES TRAMOS DE ESTUDIO

CASOS DE ESTUDIO	TRAMO 1: ACCESOS NUEVA TERMINAL DE LA CIUDAD DE TARIJA.		TRAMO 2: AVENIDA CIRCUNVALACIÓN ENTRE CALLE FROILÁN TEJERINA Y AVENIDA		TRAMO 3: AVENIDA JAIME PAZ ZAMORA ENTRE CALLE ESPAÑA Y AVENIDA PADILLA.	
	ESPESOR CALCULADO (CM)	ESPESOR DE CAMPO (CM)	ESPESOR CALCULADO (CM)	ESPESOR DE CAMPO (CM)	ESPESOR CALCULADO (CM)	ESPESOR DE CAMPO (CM)
CASO 1	28,38	25	19,48	21	18,82	22
CASO 2			12,12		9,92	
CASO 3			24,89		22,45	

FUENTE: Elaboración Propia.

4.2. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el presente trabajo se propone las recomendaciones que ayude a evaluar los tramos en estudio para la proyección de refuerzos, nuevos diseños según su requerimiento:

- En el caso del tramo 1, el pavimento es nuevo y el mismo hasta la actualidad no está en funcionamiento más que con tráfico liviano y en ocasiones de mediano tonelaje. Una vez puesta en uso la Nueva Terminal de Buses se debe tener en cuenta que en los Accesos a la misma, circularan flotas de gran envergadura, las propias que serán las principales cargas de tránsito causantes del deterioro del paquete, es por este motivo que se debe realizar mantenimiento a las vías una vez que se presenten fallas, sobre todo en las juntas evitando que exista filtración de agua hacia las capas inferiores.

Se recomienda que se haga una verificación y control del tráfico ya que el espesor calculado es mayor que el que presenta el diseño.

- Los tramos 2 y 3 presentan cierto deterioro estructural, con el objeto de evitar que los mismos continúen sufriendo daños y de esta manera no lleguen a cumplir con su periodo de vida útil, se recomienda realizar un mantenimiento a todos los sectores que presentan figuraciones, pérdida de juntas, bombeo de finos para garantizar la continuidad de uso de los mismos.
- La viga Benkelman debe ser usada en terrenos planos y lisos donde exista un buen apoyo para así lograr lecturas satisfactorias, no se logran lecturas satisfactorias cuando la viga está situada en cambios de dirección como ser curvas verticales, ni cuando existen morros o baches en la superficie de los tramos. Otra consideración que se debe tomar en cuenta es de tener la viga Benkelman perpendicular al eje trasero de camión y paralela a las ruedas en forma recta y no así inclinado hacia la derecha o izquierda.

Se deberá repetir el ensayo de deflectometría dado el caso que otro vehículo que no sea el empleado en el ensayo transite por el lugar en el que se está

realizando la práctica por lo cual se debe esperar que el vehículo se aleje lo suficiente para así obtener lecturas más reales.

- Para la toma de muestras inalterables, estas deben ser retiradas de lugares donde no se encuentre rajaduras o cualquier tipo de daño en el paquete del pavimento, de esta manera se puede garantizar que al momento de su ruptura las mismas tendrán el mayor esfuerzo a compresión posible.

Las muestras antes de ser llevadas a la prensa, deben ser cortadas de manera uniforme en la parte inferior, ya que de existir cualquier tipo de variación en sus superficies la prueba de ruptura no será satisfactoria.