

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Actualmente existe un incremento del transporte vehicular liviano y pesado en la ciudad de Tarija que van ocasionando diferentes fallas en los pavimentos, una de las fallas más comunes son las deformaciones que son muy notorias y en otras no, esto puede ser debido a diferentes factores como ser el mal diseño de los paquetes estructurales, la mala selección de materiales o el simple hecho de que aun principio se diseñó para un tráfico vehicular no prevista para un futuro muy lejano.

No se ha visto estudios similares en el tramo de estudio y normalmente para realizar un estudio de las deformaciones de un pavimento se realizan con métodos convencionales como ser el Deflectómetro o la Viga Benkelman, que se realizan de manera invasiva ocasionando un tráfico vehicular además de molestias a los transeúntes y a las personas que viven en el tramo de estudio. Al analizar las deformaciones por cada capa especialmente en un pavimento flexible se considera la aplicación del software “Everstress”, de manera que no sea invasiva como los otros métodos convencionales mencionados.

Lo que se quiere hacer en este proyecto es analizar las deformaciones en el pavimento flexible de la Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo considerando la aplicación con el software “Everstress”, para establecer las posibles causas según la normativa vigente de la ABC.

Las deformaciones del pavimento flexible según la normativa vigente de la ABC indica que si las deformaciones son mayores a 1cm pueden deberse a la insuficiencia del espesor de la base o mala calidad de los agregados y si son menores a 1 cm se deben a la deformación de la carpeta asfáltica. Aplicando el software Everstress se obtiene las deformaciones mediante las características del paquete estructural con la que cuenta el tramo de estudio siendo así aplicable en la ingeniería civil. El impacto social que aporta es servicial para la ciudadanía ya que nos brinda datos para ayudar en el tramo.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación académica

El análisis de las deformaciones en pavimentos flexibles permite saber sobre el desempeño estructural y durabilidad de acuerdo al tráfico vehicular. En el caso de la Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo tiene una función como vía de alto tráfico lo que expone al pavimento a diferentes tipos de esfuerzos y deformaciones, es decir que realizando el análisis nos permite identificar las posibles causas de las deformaciones y proponer soluciones que optimicen la vida útil del pavimento reduciendo costos de mantenimiento y mejorando la seguridad vial.

Actualmente se presenta la constante actualización de la tecnología en cuanto hablamos de programas con el objetivo principal de aportar innovación y facilidades en nuestro medio tanto para profesionales como estudiantes en el área de la Ingeniería Civil, con más dirección para el departamento de vías y comunicación.

1.2.2. Justificación sobre la aplicación técnica-práctica

El software estadounidense “Everstress” permite realizar un análisis de las deformaciones del pavimento flexible en el tramo de estudio que es la Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo, que es una infraestructura vial de gran relevancia que requiere de un análisis detallado para asegurar su correcto desempeño bajo las condiciones de carga y tránsito que enfrenta diariamente, este análisis con el uso del software Everstress ofrece beneficios tanto desde el punto de vista práctico como en la planeación y ejecución de proyectos de rehabilitación o mantenimiento de pavimentos debido a que al momento de realizar el análisis lo realiza por cada capa que contenga el paquete estructural del pavimento.

1.2.3. Justificación e importancia social

La información obtenida mediante el software sirve para saber la condición actual o futura que se encuentra el tramo de estudio y una vez sabiendo el estado en que se encuentra se puede gestionar la reparación temprana evitando fallas de más gravedad y costos elevados además de alargar y mejorar la calidad de la vía, favoreciendo totalmente a los conductores y en general a la ciudadanía de Tarija.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

Los pavimentos flexibles de la ciudad de Tarija tiene espesores y paquetes estructurales variables de las cuales están sometidos a diferentes cargas de vehículos que al pasar de los años aumenta el uso y la variación de las cargas vehiculares ocasionando fallas como ser las deformaciones que van deteriorando de forma rápida la vida útil prevista de dicho pavimento. Las fallas de un pavimento se deben a diferentes factores que pueden ser tanto en la estructura, en la superficie por la calidad de los materiales o en el diseño y construcción que no se realizó de la forma correcta.

Cuando el pavimento flexible presenta fallas como las deformaciones la forma de medir convencionalmente es por la viga benkelman o el deflectómetro, estas formas de medir son invasivas que llegan a ocasionar cierres de calles, tráfico vehicular y molestias en los transeúntes además de solo medir las deformaciones de forma superficial, de esta forma llegamos a la necesidad de utilizar programas con tecnologías novedosas que nos permitan realizar un análisis de las deformaciones especialmente para pavimento flexibles.

Si no se realiza un análisis de deformaciones a tiempo del pavimento flexible, puede llegar aparecer fallas críticas, produciendo un mayor presupuesto de mantenimiento y refacción.

Al analizar las deformaciones del pavimento flexible mediante la aplicación del software Everstress nos permite avanzar en la tecnología y tener nuevas opciones que nos permitan realizar ese análisis de forma más rápida, que tenga un menor costo además de que al momento de ponerlo en uso sea lo menos invasivo para poder evitar el tráfico y ocasionar molestias a los transeúntes y sobre todo de dar una mejor comodidad de trabajo para el profesional o estudiante que desea poner en práctica y uso del software Everstress.

1.3.2. Delimitación temporal

Tabla N°1. Delimitación temporal

Fecha aproximada	Evento	¿Cómo tributa este dato?
Marzo del 2023	Selección de un software.	El software debe ser de bajo costo, fácil uso y acceso.

Marzo del 2023	Se inicia la planificación.	Se plantea el análisis de las deformaciones de los pavimentos flexibles.
Abril del 2023	Exploración del tramo.	Se verifica si es un pavimento flexible.
Mayo del 2023	Se da procedente el título de la propuesta.	Esto en una junta de departamento.
Julio del 2023	Se aprueba la asignatura CIV-501.	Perfil aprobado en sus diseños; teórico y metodológico.
Agosto del 2023	Software Everstress.	Se refiere al manejo correcto del software.
Agosto del 2023	Se obtiene información.	Se buscó información sobre el tramo de estudio.
Septiembre del 2023	Comienza con la introducción de datos.	Se coloca todos los datos correspondientes en el software.
Octubre del 2023	Comienza el análisis de las deformaciones	Mediante los resultados del software.
Noviembre del 2023	Entregar de borrador	Borrador completo para ser revisado y aprobado por el docente.
6 de Diciembre del 2023	Pre defensa	Pre defensa con tribunales
24 de octubre del 2024	Defensa publica	Defensa publica con tribunales

Fuente: Elaboración propia

1.3.3. Delimitación del espacio

Área temática principal; Deformaciones en pavimentos flexibles.

Base de operaciones; pavimento flexible en la ciudad de Tarija.

Aplicación; pavimento flexible.

Accionar; Gabinete.

1.3.4. Problema

¿De qué manera se puede analizar las deformaciones de pavimentos flexibles mediante el software Everstress?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar las deformaciones en el pavimento flexible de la Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo; considerando la aplicación con el software “Everstress”; para establecer las posibles causas según la normativa vigente de la ABC.

1.4.2. Objetivo específicos

- Ubicar el tramo de estudio dentro del área urbana de la ciudad de Tarija.
- Realizar los ensayos correspondientes al pavimento flexible del tramo.
- Procesar con el software Everstress toda la información del área de estudio.
- Realizar un análisis de las deformaciones obtenido con el software Everstress.
- Determinar las posibles causas de las deformaciones de acuerdo a la normativa vigente de la ABC.

1.5. Hipótesis

El nivel de las deformaciones en el tramo de la Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo sobre pasa los parámetros de especificación.

1.6. Variables

Tabla N°2. Variable.

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Deformación en el pavimento flexible	Las deformaciones visibles se presentan en la superficie de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal pero de igual forma existe una deformación en todas las capas del pavimento, es decir en zonas de mayor incidencia que es debajo de las ruedas de los vehículos.	Software Everstress	Mils 1mils=0,0254mm	Aplicando el software

Fuente: Elaboración propia

1.7. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación cuenta con una sola variable sin manipulación debido a que no se interviene de forma directa en ocasionar las deformaciones en el tramo de estudio, sino que es debido al tráfico vehicular que circula y a las diferentes intemperies que se presentan como ser la temperatura y humedad que puedan influir en el comportamiento del material.

El diseño de este proyecto es no experimental debido a que los resultados obtenidos de las deformaciones no están desarrolladas dentro de un laboratorio ya que son medidas dentro de una plataforma, en este caso sería a través del software Everstress que nos da resultados de las deformaciones en cada capa bajo las cargas aplicadas es decir que este proyecto se realiza en gabinete.

El presente proyecto tiene un alcance descriptivo debido a que cuenta con una sola variable sin manipulación y es transicional porque los resultados obtenidos a través del software se realiza en una sola etapa.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS GENERALES

DE LOS PAVIMENTOS Y

ASPECTOS GENERALES SOBRE

LA UTILIZACIÓN DEL

SOFTWARE EVERSTRESS

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS Y ASPECTOS GENERALES SOBRE LA UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE EVERSTRESS

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Pavimentos

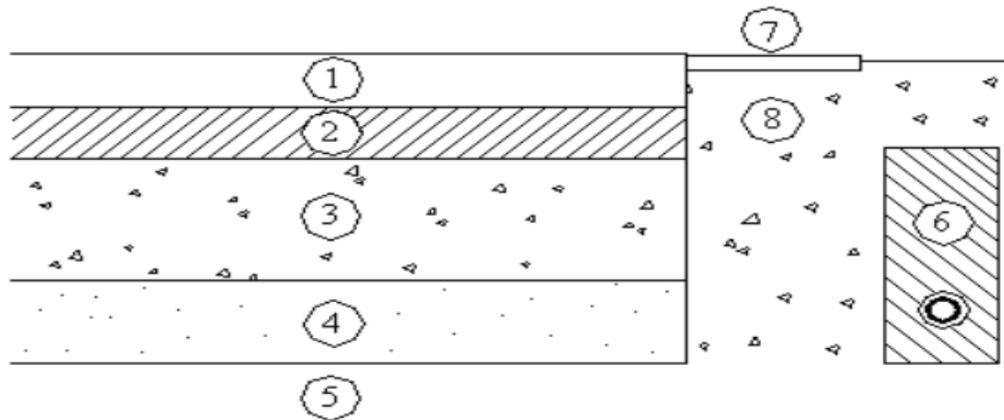
Se entenderá por pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito, es decir, de los vehículos que las transmiten a los estratos o capas inferiores en forma proporcional, obteniendo una superficie de rodamiento formada por una capa o franja. Dependiendo del tipo de pavimento, puede ser de asfalto o de concreto hidráulico, el cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aun en condiciones húmedas y críticas. Así mismo, deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua, también debe tener color y textura apropiados.

Pasando a las funciones que tienen los pavimentos además de proporcionar una superficie de rodamiento, otra muy importante es la estructural que consiste en recibir y distribuir las cargas y disipar los esfuerzos transmitidos por los vehículos. Por este motivo es muy importante estudiar perfectamente el tipo de material que se va a utilizar, los de mayor capacidad de carga se colocaran en las capas superiores ya que los esfuerzos se van disipando conforme a la profundidad, los materiales de menor capacidad se colocaran en las capas inferiores. (Hernández, 2005)

2.1.2. Componentes de un pavimento

En el grafico N°1 se muestra esquemáticamente, los componentes principales de un pavimento asfáltico. Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación, esta última debe ser el resultado de un estudio geotécnico adecuado. En los pavimentos camineros, la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de sub-base y suelo compactado.

Gráfica N°1. Componentes principales de un pavimento asfáltico.



Fuente: Facultad de Ciencias y Tecnología, (2004). Manual completo de diseño de pavimentos. Universidad Mayor de San Simón

1. Capa de Rodadura
2. Capa Base
3. Capa Sub-base
4. Suelo Compactado
5. Subrasante
6. Sub-drenaje longitudinal
7. Revestimiento de Hombreras
8. Sub-base de Hombreras

La capa de rodadura o revestimiento asfáltico es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito, tiene las siguientes funciones:

- Impermeabilizar el pavimento, para que las capas subyacentes puedan mantener su capacidad de soporte.
- Proveer una superficie resistente al deslizamiento, incluso en una pista húmeda.
- Reducir las tensiones verticales que la carga por eje ejerce sobre la capa base, para poder controlar la acumulación de deformaciones plásticas en dicha capa.

La capa base es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de

material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento. Tiene las siguientes funciones:

- Reducir las tensiones verticales que las cargas por eje ejercen sobre las capas sub-base y suelo natural.
- Reducir las deformaciones de tracción que las cargas por eje ejercen a la capa de revestimiento asfáltico.
- Permitir el drenaje del agua que se infiltra en el pavimento, a través de drenajes laterales longitudinales (Grafica N°1).

La capa sub-base es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($CBR 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

La capa de suelo reforzado, puede estar presente en una estructura de pavimento, para poder reducir el espesor de la capa sub-base.

El suelo compactado, es el mismo suelo del terraplén, que está escarificado y compactado una cierta profundidad dependiendo de su naturaleza o de las especificaciones del proyecto. (Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón, 2004)

2.1.3. Tipos de pavimentos

2.1.3.1. Pavimentos flexibles

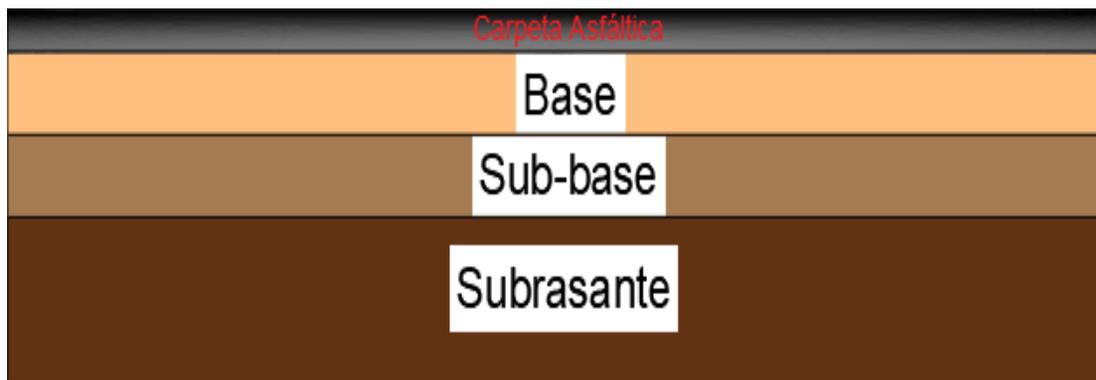
Son aquellos que tienen un revestimiento asfáltico sobre una capa base granular. La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por fatiga por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento

producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa. (Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón, 2004)

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir su vida útil.

Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica y además de la base, sub-base y terracería. (Hernández, 2005)

Gráfica N°2. Capas del pavimento flexible



Fuente: Elaboración propia

2.1.3.2. Pavimentos rígidos

Son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. denominada sub-base, por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte sea inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles. (Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón, 2004)

El espesor del pavimento puede variar de 15 a 45 cm, dependiendo del volumen de tránsito que deba soportar, y a veces se utiliza un refuerzo de acero para evitar la

formación de grietas. Bajo el pavimento se emplea arena o grava fina como base para reforzarlo.

El pavimento rígido tiene un costo inicial elevado más que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años, el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa en las juntas de las losas. (Hernández, 2005)

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de sub-base granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser los casos aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo. (Ministerio de transporte y comunicaciones, Viceministro de transporte, Dirección General de caminos y ferrocarriles, 2013)

Gráfica N°3. Capas del pavimento rígido



Fuente: Elaboración propia

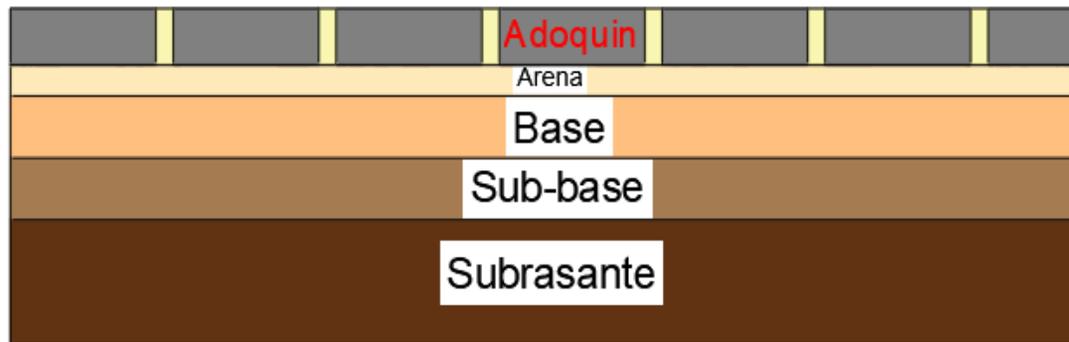
2.1.3.3. Pavimentos semirrígidos

En términos amplios, un pavimento semirrígido o compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es

usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico.

La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento Portland) permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como ser camiones o aeronaves. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados. (Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Mayor de San Simón, 2004)

Gráfica N°4. Capas del pavimento semirrígido



Fuente: Elaboración propia

2.1.4. Características principales en pavimentos flexibles

2.1.4.1. Resistencia estructural

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortante en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla desde el punto de vista estructural. Además de los esfuerzos cortantes también se tienen los producidos por la aceleración, frenaje de los vehículos y esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura (Rico y Del Castillo 1984).

Los pavimentos flexibles, con subrasante débiles y dimensionados con espesores mínimos, son considerados frágiles, o sea, con bajas resistencias.

Las características de los materiales de subrasante, definen la capacidad de soporte que determina la estructura del pavimento. A menores resistencias mayores son los paquetes estructurales de los pavimentos y por el contrario a mayor resistencia de los materiales de subrasante o suelo de cimentación, menores serán estos paquetes.

Por tanto, si el suelo grueso está constituido por partículas mineralógicamente sanas, su resistencia al esfuerzo cortante es grande, está basada en mecanismos de fricción interna de sus partículas, o en la resistencia que oponen esas partículas a deslizarse unas con respecto a otras, dependiendo por tanto de la fricción interna y de su dureza.

2.1.4.2. Durabilidad

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se le desee dar al camino, depende de la importancia de este. Hay veces que es más fácil hacer reconstrucciones para no tener que gastar tanto en el costo inicial de un pavimento.

La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años.

El pavimento flexible multicapas nuevo que hemos definido y analizado en cuanto a su necesidad de ser diseñado estructuralmente, algún día llegará al final de su vida útil. Esto sucede pues se trata de una estructura en la cual su deterioro se da mayoritariamente por la repetición de una carga menor a la máxima admisible de manera aislada (diferente a lo que sucede en otras obras civiles como edificios, presas, etc., en las cuales la rotura si se daría de ese modo).

2.1.4.3. Requerimientos de conservación

Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito, ya que se tiene que prever el crecimiento futuro. Se debe tomar en cuenta el comportamiento futuro de las terracerías, deformaciones y derrumbes. La degradación estructural de los materiales por carga repetida es otro aspecto que no se puede dejar de lado. La falta de conservación sistemática hace que la vida de un pavimento se acorte.

La conservación de pavimentos se define como las actividades orientadas a proporcionar y mantener las carreteras usando tratamientos donde se ha tomado en cuenta su costo/beneficio en base a la vida útil restante (VUR) del pavimento y el presupuesto disponible.

Se ha comprobado que la vida útil de los pavimentos se prolonga a menor costo cuando se implementa un sistema de conservación a intervalos estratégicamente planeados e

integrados a un programa de Gestión de Pavimentos en el cual se usa un modelo económico para optimizar los fondos públicos destinados a la red vial.

2.1.4.4. Comodidad

Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto. La seguridad es muy importante al igual que la estética.

La comodidad aumenta en la circulación, también aumenta la seguridad, puesto que el conductor experimenta una tensión menor al volante a causa del amortiguamiento proporcionado por la capa asfáltica. (Sánchez, 2016)

2.1.5. Fallas en los pavimentos flexibles

Cada una de las técnicas de mantenimiento tiene su mejor rendimiento cuando se aplica en tanto el pavimento presente un nivel de deterioro comprendido dentro de un rango definido. La misma técnica aplicada cuando la severidad de la falla la deja fuera del rango óptimo, dará resultados mucho menos eficientes.

El proceso de deterioro que experimentan los pavimentos está ligado a una cantidad muy significativa de factores, algunos de los cuales pueden ser más o menos independientes de la ubicación de la obra, pero otros están fuertemente relacionados con las condiciones locales, tales como las características de los suelos, la intensidad y distribución de las precipitaciones, las diferencias térmicas entre el día y la noche y entre invierno y verano, etc.

Siempre se presentarán situaciones especiales que requieran de una intervención muy determinada y diferente a lo usual. Sin embargo, se señalan, para los casos generales, técnicas tanto de mantenimiento como de reposición que, normalmente, son las más eficientes para los diferentes tipos de deterioro que se presentan. Debe considerarse que, en ciertas situaciones, pueden coexistir dos o más tipos de intervenciones cuyas eficiencias técnicas pueden ser similares; en ese caso se debe optar por alguna en base a consideraciones económicas o de otra índole.

2.1.5.1. Desprendimientos

Los desprendimientos son patologías que afectan a la regularidad de la capa de rodadura, ocasionando erosiones y fragmentaciones del material, e incluso la desaparición de ciertas zonas del pavimento.

a) Baches

Son oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando oquedades.

Causas probables:

1. Falta de resistencia de la carpeta.
2. Escasez de contenido de asfalto.
3. Espesor deficiente.
4. Drenaje deficiente.
5. Desintegración localizada por tránsito.
6. Puntos débiles en la superficie.
7. Puntos inestables de la base o sub-rasante.

Intervención

Los baches son un peligro al tránsito vehicular y tienden a crecer en forma muy rápida bajo tránsito pesado, especialmente durante épocas lluviosas. Dependiendo en la severidad del bacheo, se programan una de las actividades siguientes:

Bacheo superficial con mezcla asfáltica.

Bacheo profundo con mezcla asfáltica.

b) Indentación

Encajamiento de objetos duros en la superficie de rodamiento, produciendo indentación o desgaste localizado en la superficie.

Causas probables:

1. Huellas de tractores o equipo pesado de construcción.
2. Pinchadura de llantas de vehículos pesados.
3. Accidentes de tránsito.

Intervención

Este tipo de daño se reparará sólo en los casos donde se produzca un golpe notable transitando en vehículo ligero a la velocidad normal del tránsito, ya que este tipo de deterioro no es progresivo, excepto por el impacto del tránsito pesado y rápido.

Cuando sea necesario efectuar una reparación se deberá programar una de las actividades siguientes:

Parchado con mezcla asfáltica.

Bacheo con mezcla asfáltica.

c) Desprendimiento de agregados

Es la separación de los agregados gruesos de la carpeta asfáltica dejando huecos en la superficie de rodamiento. Se deben a la desintegración de la carpeta y base por mala calidad en los materiales inferiores, incluyendo los terraplenes con alto contenido de agua. También se puede deber a la presencia de grietas que ya fueron tratadas con anterioridad.

Causas probables:

1. Falta de afinidad con el asfalto.
2. Escasez de asfalto.
3. Expansión de agregado grueso.
4. Acción de solventes o derivados de petróleo.
5. Agregados contaminados.
6. Fuga de agua de tuberías.

Intervención

Conforme a la severidad y extensión de los daños, se programan una o más de las actividades siguientes:

Bacheo con mezcla asfáltica.

Sello asfáltico.

Sello con mortero asfáltico.

Sello asfáltico mecanizado.

d) Erosión avanzado de Taludes

Agrietamiento transversal en acotamientos que con el tiempo y acción del medio ambiente va formando oquedades o canalizaciones transversales hasta llegar a la destrucción total de los taludes del cuerpo de terraplén, en las secciones en balcón.

Causas probables:

1. Acción del viento.
2. Acción de la lluvia.
3. Falta de protección en taludes.
4. Acción de crecidas de aguas adyacentes al cuerpo del terraplén.
5. Mala compactación de capas inferiores.
6. Escasez de drenaje superficial.

Intervención

Dependiendo de la severidad, extensión y rapidez del deterioro, se debe programar reposición con un material selecto o adecuado, considerando las características del material de construcción original y las deficiencias que provocó su falla. Puede ser necesario escarificar y reprocesar el material del talud. En casos donde se justifica, se puede considerar el uso de geotextiles y/o construcción de las obras más adecuadas de drenaje.

e) Erosión total

Destrucción, eliminación o desaparición de una o varias capas subyacentes a la carpeta asfáltica, produciendo falta total de apoyo lateral y/o inferior.

Causas probables:

1. Falta de drenaje.
2. Falta de subdrenaje.
3. Acción de crecidas de aguas adyacentes al cuerpo de terraplén.
4. Mala compactación de capas inferiores.
5. Falta de armado en taludes de terraplenes.

Intervención

Dependiendo de la severidad, extensión y rapidez del deterioro, se debe programar reposición con un material selecto o adecuado, considerando las características del material de construcción original y las deficiencias que provocó su falla. Es necesario escarificar y reprocesar el material del talud. En casos donde se justifica, se puede considerar el uso de geotextiles y/o construcción de obras más adecuadas de drenaje.

f) Pulido de la superficie

Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.

Causas Probables:

1. Tránsito intenso.
2. Agregado grueso de la carpeta con baja resistencia al desgaste.
3. Excesiva compactación.
4. Mezclas demasiado ricas en asfalto.
5. Agregados no apropiados a la intensidad del tránsito.
6. Hundimiento de agregado grueso en el cuerpo de la carpeta, o en la base cuando se habla de tratamientos superficiales.

Intervención

Dependiendo de la severidad y extensión del deterioro, se puede programar una de las actividades siguientes:

Parchado con mezcla asfáltica.

Sello asfáltico de superficie.

Sello de superficie con mortero asfáltico.

Sello asfáltico de superficie mecanizado.

Cuando hay indicación de debilidad estructural, es aconsejable realizar una evaluación estructural antes de que se proceda con una de las actividades anteriormente señaladas.

g) Desintegración de la carpeta asfáltica

Deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la componen. Se presenta en carpetas antiguas por oxidación del asfalto; en carpetas relativamente recientes con insuficiente contenido de asfalto; en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable; o cuando hay grietas que no se atienden en forma oportuna.

Causas probables:

1. Fin de la vida útil de la carpeta asfáltica.
2. Acción de tránsito intenso y pesado.
3. Tendido de la carpeta en climas fríos o húmedos.
4. Agregados contaminados.
5. Contenido pobre de asfalto.
6. Sobre calentamiento de la mezcla.
7. Compactación insuficiente.

8. Acción de heladas o hielo.
9. Presencia de arcilla en cualquiera de las capas.
10. Separación de agregados y asfalto ligante.
11. Contaminación de solventes.
12. Envejecimiento y fatiga.
13. Desintegración de los agregados.
14. Sección estructura deficiente o escasa.

Intervención

Realizar una evaluación estructural antes de que se proceda con cualquier re-encarpetado. Frecuentemente es necesario escarificar y remover la superficie y hacer una reconstrucción total.

h) Desprendimiento de sello

Desintegración parcial o zonificada de la superficie de rodamiento; cuando ésta se forma por uso o por la aplicación de varios sellos, el agregado tiende a desprenderse dejando zonas expuestas por arranque de la gravilla.

Causas probables:

1. Separación de la película de liga de los agregados por humedad.
2. Dosificación inadecuada del ligante.
3. Calidad dudosa del material ligante.
4. Mala adherencia en capa subyacente.
5. Granulometría inadecuada.
6. Ejecución de trabajos en malas condiciones de clima.

Intervención

Sello asfáltico.

Sello con mortero asfáltico.

Sello asfáltico de superficie mecanizado.

i) Erosión

Desintegración parcial de la carpeta asfáltica principalmente en la frontera de la superficie de rodamiento.

La carpeta materialmente se va carcomiendo, reduciendo el ancho de la vialidad.

Causas probables:

1. Labores de conservación inadecuadas.
2. Falta de soporte de la carpeta en los extremos de la sección.
3. Erosión natural del agua y viento.
4. Ciclos de hielo y deshielo.
5. Crecimiento significativo de hierba en las juntas.
6. Sobrecargas de pesos en el carril de baja velocidad.
7. Mala compactación de capas.

Intervención

Cuando el pavimento es sano, excepto en los bordes, se puede programar.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

Es aconsejable programar los mejoramientos adecuados para los pavimentos urbanos, como construcción de guarniciones.

j) Levantamiento por congelamiento o inundación.

Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas de pavimento.

Causas probables:

1. Desestabilización del pavimento por saturación de capas inferiores debido a la penetración de agua sobre un tiempo prolongado.
2. Acción de heladas.
3. Ciclos de congelación y descongelamiento.
4. Expansión localizada de capas inferiores.
5. Expansión localizada de alguna porción de la sección estructural del pavimento por congelación o por penetración de agua en suelos activos (expansivos).

Intervención

De acuerdo con la severidad y extensión de los daños, se debe programar una de las actividades o la combinación adecuada de las actividades señaladas:

Parchado de mezcla asfáltica.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

Sello asfáltico.

Sello asfáltico mecanizado.

Re-encarpetado.

2.1.5.2. Deformaciones

Dentro de este grupo de deterioros, se engloban aquéllos que afectan a la geometría de la superficie de rodadura de la carretera.

a) Brújula

Ampolla de tamaño variable localizada en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Presiones de vapor o aire en zonas de la capa de rodamiento.
2. Debilidad en espesor o consistencia.
3. Liberación de cal en bases estabilizadas.

Intervención

Este tipo de daño normalmente no es progresivo y no requiere de ningún tipo de atención. Cuando esta deficiencia está acompañada de exudación de asfalto, se puede tapar con arena para absorber este exceso de asfalto. En casos severos o extensos, se puede programar un bacheo superficial para remover el material inadecuado y efectuar la reparación con material sano.

b) Ahuellamiento o roderas

Asentamiento o de formación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos. Se presentan en la superficie de rodamiento, en zonas de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos; si son menores a 1 centímetro, se deben a deformación de la carpeta asfáltica; si son mayores, puede deberse a insuficiencia del espesor de base o a mala calidad de los agregados.

Causas Probables:

1. Baja estabilidad de la carpeta (por exceso de asfalto o deficiencias en la granulometría).
2. Carpeta mal compactada.
3. Consolidación de una o varias de las capas subyacentes.
4. Sobre compactación bajo el efecto de una canalización del tránsito pesado.
5. Deficiencia del diseño original del pavimento.

6. Base o sub-rasante inestable.

Intervención

Para severidad moderada se puede corregir llevando a cabo la actividad:

Parchado con mezcla asfáltica.

Para alta severidad se requiere una de las actividades siguientes:

Parchado con mezcla asfáltica.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

Cuando se trate de capas de asfalto que excedan de 8 centímetros, se podrá considerar un perfilado en caliente

c) Corrugaciones (Ondulaciones Transversales)

Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternados, regularmente con separación menor a 60 centímetros entre ellos.

Causas Probables:

1. Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base.
2. Estabilidad de la mezcla deficiente.
3. Acción de tránsito intenso.
4. Bases de mala calidad.
5. Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenado de vehículos.
6. Mala calidad de los materiales que conforman la carpeta.
7. Deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en capas superiores.

Intervención

Para severidad moderada se puede corregir llevando a cabo la actividad:

Parchado con mezcla asfáltica.

Para alta severidad se requiere una de las actividades siguientes:

Parchado con mezcla asfáltica.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo

Cuando se trate de capas de asfalto que excedan de 8 centímetros, se podrá considerar un perfilado en caliente.

d) Protuberancias

Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones.

Causas probables:

1. Acción del tránsito intenso.
2. Estabilidad inadecuada.
3. Liga deficiente entre capas.
4. Compactación inadecuada.
5. Deformaciones plásticas de los materiales.
6. Acción de heladas.

Intervención

En respuesta a la severidad o extensión se reparará por una o más de las actividades siguientes:

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

Perfilado.

e) Asentamiento transversal

Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido transversal al eje de camino.

Causas probables:

1. Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o del pavimento.
2. Peso propio de la sección del pavimento.
3. Suelos o cimentaciones plásticos/activos.
4. Cargas excesivas o superiores a las de diseño.
5. Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén.
6. Compactación inadecuada.
7. Asentamientos diferenciales transversales.
8. Procedimientos de construcción inadecuados.
9. Drenaje o subdrenaje deficientes.

10. Contaminación de capas inferiores.

11. Desplome de cavidades subterráneas.

Intervención

Cuando se haya determinado que la causa es una deficiencia del drenaje, deficiencia del material de la base o capa inferior, se debe efectuar la solución definitiva antes de que se proceda con la reparación del deterioro más evidente. En respuesta a la magnitud y extensión del deterioro se realizará una o más de las actividades siguientes:

Parchado con mezcla asfáltica.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

f) Aislamiento longitudinal

Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido longitudinal al eje del camino, en especial en los extremos laterales de la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento.
2. Peso propio de la acción del pavimento.
3. Suelos o cimentaciones elásticos (con capacidad de recuperación).
4. Cargas excesivas o superiores a las de diseño.
5. Cambios volumétricos del cuerpo de terraplén.
6. Compactación inadecuada.
7. Asentamientos diferenciales longitudinales.
8. Procedimientos de construcción inadecuados.
9. Drenaje o subdrenaje deficientes.
10. Contaminación de capas inferiores.
11. Desplomes de cavidades subterráneas.
12. Canalización del tránsito.
13. Deficiencia del diseño del pavimento.

Intervención

En respuesta a la magnitud y extensión del deterioro, se realiza una o más de las actividades siguientes:

Parchado.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

g) Crestas longitudinales masivas

Impresión en relieve que se localiza en la superficie de rodadura, ocasionada por el paso de vehículos pesados.

Causas probables:

1. Estacionamiento prolongado de vehículos pesados.
2. Mezcla bituminosa de escasa estabilidad.
3. Que haya sido dejada por el compactador de neumáticos en la compactación.

2.1.5.3. Roturas y agrietamientos

Dentro de esta clase de falla se encuentran aquellas que producen la aparición de discontinuidades superficiales y profundas en la estructura del pavimento.

a) Grietas de reflexión

Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento o de juntas de un pavimento existente, cuando es re-encarpetado con concreto asfáltico.

Causas probables:

1. Movimiento de pavimento subyacente.
2. Liga inadecuada entre capas.
3. Expansión y contracción de la capa subyacente.
4. Capa muy delgada (menos de 8 centímetros) sobre losas inestables de concreto hidráulico.

Intervención

De acuerdo con la severidad y extensión se repara con:

Sellado de grietas.

Tratamiento superficial simple o doble.

Sellado con mortero asfáltico.

b) Agrietamiento parabólico

Grietas con forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito.

Causas probables:

1. Carpeta de rodamiento débil.
2. Zonas de frenado de las ruedas.
3. Mezcla inestable (exceso de asfalto, falta de vacíos o mala granulometría).
4. Efecto en el arranque de las ruedas (aceleración).
5. Movimiento lateral y ascendente de bases granulares.
6. Falta de unión de la capa de rodadura con la inferior.

Intervención

Normalmente es imposible corregir este problema sin remover el material de la capa que provoca el movimiento lateral. Cuando se haya determinado que el problema se limita a la capa asfáltica es necesario programar bacheo superficial. En el caso de encontrar indicación de movimiento lateral de la base, usualmente acompañado por hundimientos o ahuecamientos, se debe programar:

Bacheo profundo. (No se debe tratar con solo bacheo).

c) Grieta errática o zigzag

Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones longitudinales en forma errática o de zigzag.

Causas probables:

1. Acción de hielo o expansivo.
2. Cambios extremos de temperatura.
3. Base defectuosa.
4. Terraplenes con taludes inestables.

Intervención

Sellado de fisuras en pavimento de asfalto.

d) Grietas finas

Pequeñas fisuras superficiales muy próximas una con otra, ya que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta.

Causas probables:

1. Envejecimiento de la carpeta asfáltica.
2. Oxidación de asfalto.
3. Mala dosificación de asfalto.
4. Exceso de finos en carpeta asfáltica.
5. Compactación efectuada con mezclas muy calientes.

Intervención

Sello asfáltico de superficie mecanizado.

e) Piel de cocodrilo

Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 centímetros. Grietas interconectadas formando pequeños polígonos que asemejan la piel de un cocodrilo.

Causas probables:

1. Soporte inadecuado de la base.
2. Debilidad de la estructura del pavimento.
3. Carpetas rígidas sobre suelos de cimentación elásticos.
4. Fuertes solicitaciones de tránsito.
5. Fatiga.
6. Envejecimiento.
7. Escasez de espesor de la carpeta.
8. Evolución progresiva de agrietamiento tipo mapa.
9. Deficiencias del drenaje.

Intervención

Conforme a la severidad y extensión se repara por una de las actividades de mantenimiento siguientes:

Reparación de baches con mezcla asfáltica.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

Sello Asfáltico.

Sello con mortero asfáltico.

f) Agrietamiento tipo mapa o en malla gruesa

Forma de desintegración de la superficie de rodadura, en la cual el agrietamiento se desarrolla en un patrón semejante a las subdivisiones políticas de un mapa, con polígonos mayores a los 20 centímetros.

Causas probables:

1. Calidad deficiente de alguna de las capas de la sección estructural.
2. Debilidad de la estructura del pavimento.
3. Carpeta de la estructura del pavimento.
4. Fuertes solicitaciones del tránsito.
5. Fatiga.
6. Envejecimiento (oxidación y contracción).
7. Espesor escaso de la carpeta.

Intervención

Conforme a la severidad y extensión, se repara por una de las actividades de mantenimiento siguientes:

Reparación de baches con mezcla asfáltica.

Bacheo superficial.

Bacheo profundo.

Sello Asfáltico.

Sello con mortero asfáltico.

g) Grieta transversal

Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal o perpendicular al eje del camino.

Causas probables:

1. Acción del tránsito.
2. Reflejo de grietas en capas subyacentes.
3. Espesor insuficiente de la carpeta.
4. Contracción térmica de la superficie de rodadura.
5. Deficiencia en juntas transversales de construcción.

Intervención

Sello asfáltico de la superficie.

Sello de superficie con mortero asfáltico.

Sellado de fisuras en pavimento asfáltico.

h) Agrietamiento longitudinal central

Fisura o grieta paralela al eje del camino que sigue el eje del camino. Normalmente formado por una sola grieta. Ocasionalmente en grietas secundarias.

Causas probables:

1. Deficiencias en la junta de construcción longitudinal de la capa superior.
2. Reflejo de grietas en capa de base.
3. Asentamiento de capas por el tránsito.
4. Espesor insuficiente.
5. Contracción de materiales de la capa de rodamiento.
6. Asentamientos aislados de capas interiores.
7. Drenaje insuficiente.

Intervención

Sellado de fisuras en pavimento asfáltico.

i) Agrietamiento longitudinal en el borde

Líneas de rotura producidas entre el borde de la vía y 0.30 m. hacia el centro, paralelas al eje de la misma.

Causas probables:

1. Movimiento diferencial en ampliaciones de corona.
2. Cambios volumétricos diferenciales entre el hombro del terraplén y la parte central del mismo.
3. Degeneración por fallas de talud.
4. Empuje hidrostático de agua almacenada.
5. Influencia de la compactación (nula/poca/excesiva).
6. Mal drenaje
7. Ancho insuficiente
8. Saneamiento deficiente entre el borde del pavimento y la berma.

Intervención

Sellado de fisuras en pavimento asfáltico

Sello de bermas

Mejoramiento de la evacuación de las aguas.

j) Agrietamiento longitudinal en la zona de circulación

Líneas de rotura en sentido longitudinal situado en la zona de circulación.

Causas probables:

1. Cargas excesivas con relación a la estructura del pavimento.
2. Fatiga o deformación de la capa de rodadura al paso de vehículos pesados.
3. Falta de capacidad de soporte del pavimento.
4. Capa de rodadura excesivamente rígida respecto de las subyacentes.

Intervención

Conforme a la severidad y extensión, se repara por una de las actividades de mantenimiento siguientes:

Sellado de fisuras en pavimento asfáltico

Bacheo profundo o repavimentación para una condición severa que presenta varias grietas aproximadamente paralelas.

2.1.5.4. Floraciones

Las exudaciones son movilizaciones de material dentro de la estructura del pavimento, lo que provoca segregaciones y heterogeneidades en su estructura interna, que pueden favorecer y ocasionar las roturas, deformaciones y otro tipo de fallas derivadas.

a) Exudación

Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas.

Causas probables:

1. Exceso de asfalto.
2. Excesiva compactación de mezclas ricas.
3. Temperaturas de compactación muy elevada.
4. Sobredosificación de riego de liga.

Intervención

Cuando el nivel de severidad es bajo, se puede solucionar el problema regando arena o grava fina para cubrir y absorber el exceso de asfalto. Cuando la severidad es de moderada a alta, este problema frecuentemente viene acompañado por deformaciones superficiales y deben resolverse por las medidas recomendadas en las secciones de estas normas. En la

ausencia de otras deformaciones o después de corregirlas, se resuelve la exudación moderada o severa por una de las actividades siguientes:

Perfilado en caliente.

Riego de agregado en caliente.

b) Afloramiento de humedad

Aparición de zonas húmedas en la superficie, con o sin encharcamiento.

Causas probables:

1. Deficiencia de drenaje superficial.
2. Deficiencia o escasez de subdrenaje.
3. Flujo ascendente de agua a través de grietas.
4. Zonas mal compactadas.
5. Capas porosas o de textura abierta.
6. Bases saturadas.
7. Flujo capilar de agua.
8. Presiones hidrostáticas por el efecto del tránsito.

Intervención

En ausencia de otros deterioros, no es conveniente desempeñar actividades de mantenimiento superficial.

Hay que investigar la fuente de las aguas y realizar el mejoramiento necesario para conservar la integridad del pavimento, se recomienda realizar la actividad:

Eliminación de aguas encharcadas.

c) Mercado de huella

Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Superficies de rodamiento débil o suave.
2. Exceso en el contenido de asfalto.
3. Altas temperaturas ambientales.
4. Estacionamiento prolongado de vehículos pesados.
5. Mezclas con estabilidad deficiente.
6. Exceso de riegos de liga.
7. Huellas por tránsito compactador de neumáticos.

Intervención

Reparación de baches con mezcla asfáltica.

Bacheo superficial con mezcla asfáltica.

d) Contaminación de agregados

Inclusión de materiales diferentes o ajenos a los agregados especificados, con diferentes características y propiedades mecánicas.

Causas probables:

1. Dosificación inapropiada.
2. Control de calidad pobre.
3. Contaminación de bancos de agregados.

Intervención

En la ausencia de otros daños no es necesario programar ninguna actividad de mantenimiento. Es aconsejable monitorear el comportamiento del pavimento, ya que el uso del material inadecuado perjudica la vida útil y resulta un deterioro más rápido sobre tiempo. (Administradora Boliviana de Carreteras, 2011)

2.1.6. Presión aplicada en la superficie del pavimento flexible

En el diseño de pavimentos, las cargas más pesadas son las que interesan debido a que son las que más deterioran el pavimento, por ello son las más utilizadas para determinar los espesores de cada una de las capas del mismo. Para el transporte carretero los ejes neumáticos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Neumático simple o neumático doble.
- Ejes sencillos, ejes tándem o eje trídém.

Según la SCT (2014), los pesos máximos permitidos por eje sencillo o carga legal varían entre 6.5 a 11 toneladas. Estos últimos en eje motriz con cuatro llantas, lo que implica que para neumáticos dobles, el peso se divide en partes iguales. Para las cargas mayores a las permitidas se recomienda adicionar otro eje (Yoder & Witzak, 1975).

Si no se considera el efecto del neumático sobre el pavimento, entonces la presión de contacto entre el neumático y el pavimento será igual a la presión de aire en el neumático (ver Grafica N°5). Para presiones bajas, se considera que la mayor presión en el neumático

se presenta al centro de éste. Es común asumir que la presión de contacto es uniforme en toda el área de huella del neumático.

Gráfica N°5. Presión de contacto y presión de inflado de los neumáticos



Fuente: Coria, C., Hernandez, R I., Garnica, P., (2018). Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista.

A pesar de que estudios de agencia de transporte alrededor del mundo han demostrado que las huellas de los neumáticos tienen formas irregulares, se sigue considerando por simplicidad utilizar un área circular en la gran mayoría de los problemas. Ver grafica N°6.

Gráfica N°6. Áreas circulares consideradas en las presiones de contacto con el pavimento.



Fuente: Coria, C., Hernandez, R I., Garnica, P., (2018). Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista.

Para calcular el radio de contacto del neumático con el pavimento se utiliza la siguiente ecuación:

$$a = \sqrt{\frac{P}{q \pi}}$$

Donde:

a = Radio de contacto

P = carga aplicada

q = Presión de contacto

A lo largo del desarrollo de este documento se tomarán siempre áreas de tipo circular para el cálculo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles. No obstante y como se ha comentado anteriormente existen muchos estudios donde las áreas se toman como áreas de tipo rectangular, elípticas o con formas irregulares.

2.1.7. Cargas por eje

Las carreteras permiten la circulación de diferentes tipos de vehículos, tamaños y pesos, desde pequeños livianos hasta grandes pesados por lo que el paquete estructural de una carretera (pavimento, base, sub-base) debe ser diseñada para soportar durante su vida útil las solicitaciones de los pesos de todos esos vehículos que circulan y circularán por esa vía. Para esto es necesario conocer los tipos de vehículos y los posibles pesos por eje que descargarán sobre la superficie de la carretera. La actividad para establecer las cargas que se aplican sobre una superficie de rodado es denominado: Estudio de Cargas por Eje. La aplicabilidad del conocimiento de las cargas por eje es que con ello se puede analizar si el paquete estructural de una carretera será suficiente para soportar esos pesos que en caso contrario sería seriamente dañado si el paquete estructural no ha sido diseñado para soportar unas cargas que se encuentran en exceso, lo que reduce drásticamente la vida útil de la vía.

2.1.8. Respuestas derivadas de la aplicación de carga

2.1.8.1. Esfuerzos y deformaciones verticales

Una carga de un neumático produce un esfuerzo vertical (compresión). Esta respuesta produce compresión en los materiales del pavimento que si es permanente puede observarse como surcos o roderas plásticas en la superficie del pavimento.

El esfuerzo vertical será mayor a compresión directamente debajo de la carga aplicada. Sin embargo, cuando se tienen cargas múltiples este esfuerzo puede estar a compresión o a tensión.

Cuando el esfuerzo vertical se vuelve a tensión en materiales no consolidados y suelos, puede producirse una descompactación y el material es susceptible al desplazamiento lateral, es decir se transforma en flujo plástico.

2.1.8.2. Esfuerzos y deformaciones cortantes

Las cargas de los neumáticos crean tensiones de corte dentro de la estructura del pavimento. La magnitud de los esfuerzos y deformaciones al corte dependen de la configuración de la carga del neumático y de las mismas propiedades de las capas del pavimento.

Los esfuerzos al corte son críticos en capas donde se tienen materiales no tratados (bases hidráulicas) y algunos procedimientos de diseño de pavimentos flexibles se han desarrollado para reducir al mínimo los esfuerzos al corte en estas capas. Los esfuerzos al corte excesivos en una base hidráulica pueden producir movimientos inestables, como los que se observan con frecuencia en los caminos de bajo volumen de tránsito donde ocasionalmente se tienen vehículos pesados.

Las magnitudes de estos esfuerzos de corte son muy importantes pero no se han utilizado en la mayoría de los métodos de diseño empírico-mecanicista.

Los esfuerzos al corte excesivos a lo largo del borde del neumático cerca de la superficie del pavimento pueden ser una de las razones por las que se producen grietas en la superficie del pavimento.

2.1.8.3. Esfuerzos y deformaciones tangenciales y radiales

El pavimento y las capas individuales se deforman de manera similar que una viga a flexión. Esta flexión da como resultado esfuerzos radiales y tangenciales en la parte inferior de las capas del pavimento. Los esfuerzos radiales y tangenciales se producen en un plano horizontal y pueden ser tanto a compresión como a tensión dependiendo del número y ubicación de las cargas de los neumáticos (ejes tandem, tridem, etc.). Los esfuerzos a tensión en la parte inferior de la carpeta asfáltica pueden conducir a la aparición de daños por fatiga y grietas.

En capas estabilizadas con asfalto o cemento pueden también desarrollar esfuerzos a tensión en la parte inferior de dicha capa lo cual contribuye al agrietamiento de dichas capas.

2.1.8.4. Deflexiones

Una carga de un neumático aplicada en la superficie del pavimento hará que el pavimento se deforme verticalmente. La magnitud de esta deflexión es proporcional a la rigidez total del pavimento (espesor y módulos elásticos), la rigidez del suelo de desplante o apoyo. Cuanto mayor sea esta deflexión más susceptible es el pavimento de presentar fallas de tipo estructural.

2.1.9. Respuestas no derivadas de la aplicación de carga

Las mezclas asfálticas en caliente se someten a cambios de volumen bajo continuos ciclos de temperatura. A medida que la temperatura disminuye la capa asfáltica intenta contraerse, pero está restringida debido a que es una capa continua. Cuando esto ocurre, los esfuerzos a tensión comienzan a desarrollarse y son proporcionales a la magnitud de la disminución de la temperatura.

El esfuerzo a tensión disminuye con el tiempo debido a la relajación en el material viscoelástico. Sin embargo, la tensión causada por el cambio de volumen continuo se acumula en la parte superior de la capa asfáltica y cuando el esfuerzo a tensión excede la resistencia (resistencia a la tensión o a la fatiga térmica) se genera una grieta.

A manera de resumen, en la Tabla N°3 se muestran las respuestas mecánicas en el pavimento en cada una de las capas del mismo y sus usos en la ingeniería de pavimentos.

Tabla N°3. Respuestas en el pavimento flexible y uso específico en cada capa.

Respuesta en el pavimento		Capa aplicable	Uso de la respuesta		
			Caracterización del material	Deterioro	Otro
δ_{max}	Máxima deflexión	Todo el pavimento	-----	Fatiga, deformación permanente (rodera)	-----
δ	Deflexión	Todo el pavimento	Módulo Elástico	-----	Retrocálculo
$\sigma_1,$ $\sigma_2,$ σ_3	Esfuerzo principales	Base y sub-base granular	Módulo Resiliente	-----	-----
$\sigma_x,$ $\sigma_y,$ $\sigma_t,$ σ_r	Esfuerzo horizontal	HMA, ATB, CTB	-----	Fatiga y agrietamiento térmico	-----
$\sigma_z,$ σ_c	Esfuerzo vertical	HMA, ATB	-----	Deformación permanente (rodera)	-----
ϵ_c	Deformación vertical	HMA, ATB	-----	Deformación permanente (rodera)	-----
ϵ_z	Deformación vertical	Subrasante	-----	Distorsión	-----
$\epsilon_x,$ $\epsilon_y,$ ϵ_t, ϵ_r	Deformación horizontal	HMA, CTB, ATB	-----	Fatiga y agrietamiento térmico	-----
HMA- Mezcla asfáltica en caliente (Hot Mix Asphalt)					
ATB- Base estabilizada con asfalto o base negra (Asphalt Treated Base)					
CTB- Base estabilizada con cemento (Cement Treated Base)					

Fuente: Coria, C., Hernández, R I., Garnica, P., (2018). Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista.

La localización y tipo de respuestas críticas dependen del tipo de pavimento flexible a utilizar, así como de los materiales utilizados durante su construcción. Los tipos de pavimentos flexibles empleados en la actualidad pueden agruparse en tres grupos:

- a) Pavimentos flexibles convencionales (espesor delgado de la carpeta asfáltica y espesores robustos de las capas granulares).
- b) Pavimentos tipo full depth (espesor robusto de carpeta asfáltica desplantado sobre la capa subrasante).

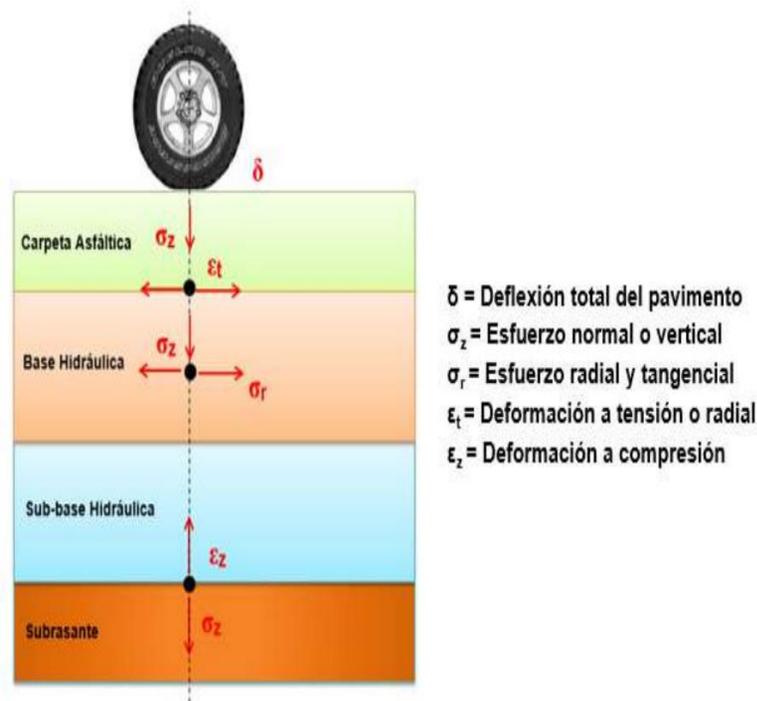
c) Pavimentos semirrígidos.

A continuación, se describen cada uno de estas estructuras:

a) Pavimentos flexibles convencionales.

- Deflexión en la superficie del pavimento directamente debajo de la carga aplicada y a varias distancias radiales de la misma (δ).
- Esfuerzos y deformaciones verticales en la parte superior y a distintas profundidades de la carpeta asfáltica (σ_z y ϵ_t).
- Esfuerzos y deformaciones radiales y tangenciales en la parte inferior de la carpeta asfáltica y en puntos radiales superficiales adyacentes a la carga aplicada (σ_r y ϵ_t)
- Esfuerzo horizontal y vertical en las capas granulares (base y sub-base hidráulica) en la superficie y en puntos intermedios a lo largo de los espesores de las mismas (σ_z, σ_r).
- Esfuerzo horizontal y vertical en la parte superior de la subrasante y en varios puntos dentro de la misma (σ_z y σ_r).
- Deformación vertical en la parte superior de la subrasante (ϵ_z). Ver Gráfica N°7.

Gráfica N°7. Respuestas críticas en un pavimento flexible convencional.

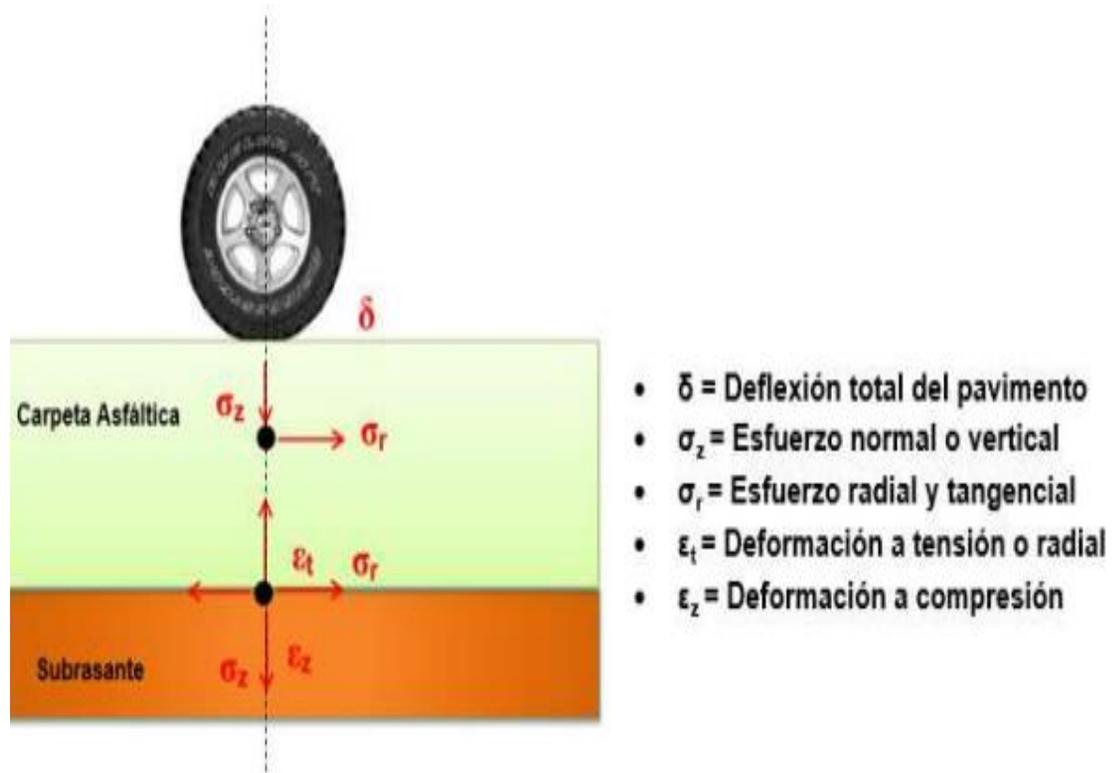


Fuente: Coria, C., Hernández, R I., Garnica, P., (2018). Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista.

b) Pavimentos tipo full depth

Para un pavimento tipo full depth, las respuestas críticas son las mismas que las del pavimento flexible convencional excepto que en este pavimento no hay capas granulares (base y sub-base hidráulica). Ver Gráfica N°8.

Gráfica N°8. Respuestas críticas en pavimento Tipo full depth.

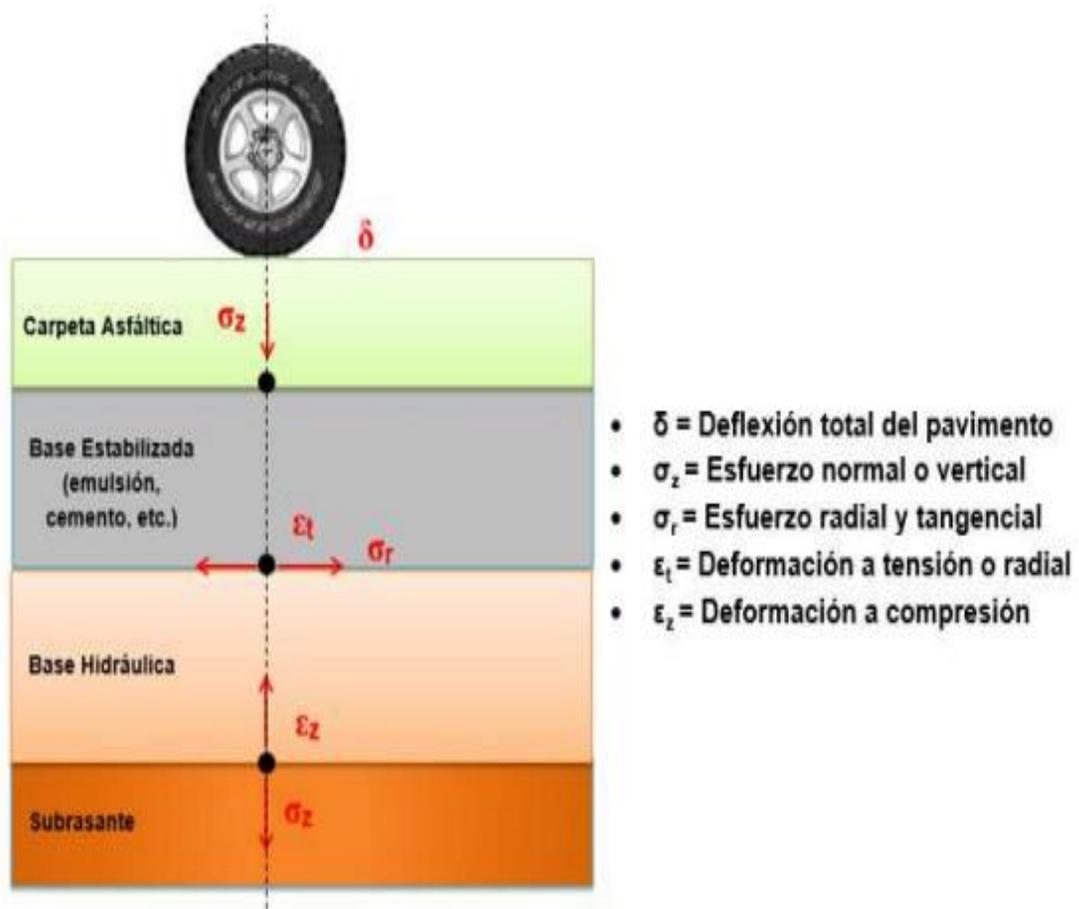


Fuente: Coria, C., Hernandez, R I., Garnica, P., (2018). Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista.

c) Pavimentos semirrígidos

Los pavimentos semirrígidos están compuestos por una carpeta asfáltica la cual subyace sobre capas estabilizadas que tienen una rigidez mayor (Deep Strength). Estas capas estabilizadas suelen ser bases estabilizadas con cemento Portland, cal, etc. Esto origina que los esfuerzos y deformaciones radiales aumenten y generen agrietamientos en la parte inferior de estas capas y que se reflejen a la capa superficial. Los esfuerzos y deformaciones críticos son similares a los desarrollados por una estructura de pavimento convencional. Ver Gráfica N°9. (Coria, Hernández, Garnica, 2018)

Gráfica N°9. Respuestas críticas en pavimento semirrígido.

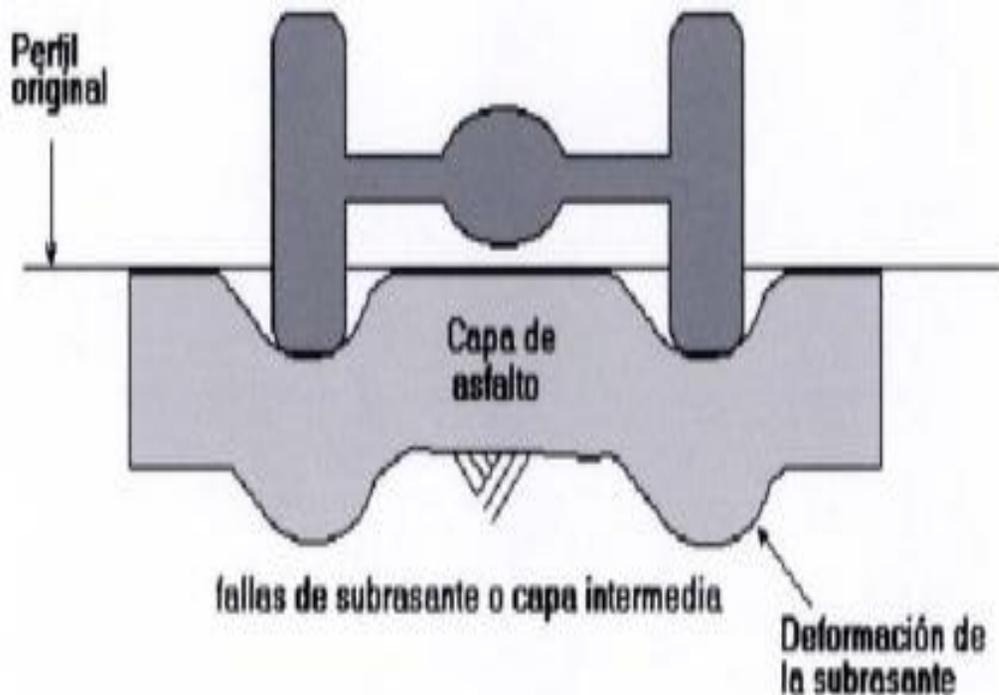


Fuente: Coria, C., Hernández, R I., Garnica, P., (2018). Teorías para calcular esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles: un enfoque mecanicista.

2.1.10. Resultados

Las deformaciones son causadas por un excesivo esfuerzo repetido en las capas interiores (base o sub-base) bajo la capa de asfalto. Aunque los materiales duros pueden reducir este tipo de roderas, es considerado un problema estructural, más que de los materiales entre sí. Esencialmente, no hay suficiente fuerza en el pavimento o dureza para reducir la fuerza aplicada en un nivel tolerable. También puede ser causado por un inesperado debilitamiento de una de las capas generadas por la intrusión de humedad. La deformación ocurre en las capas inferiores.

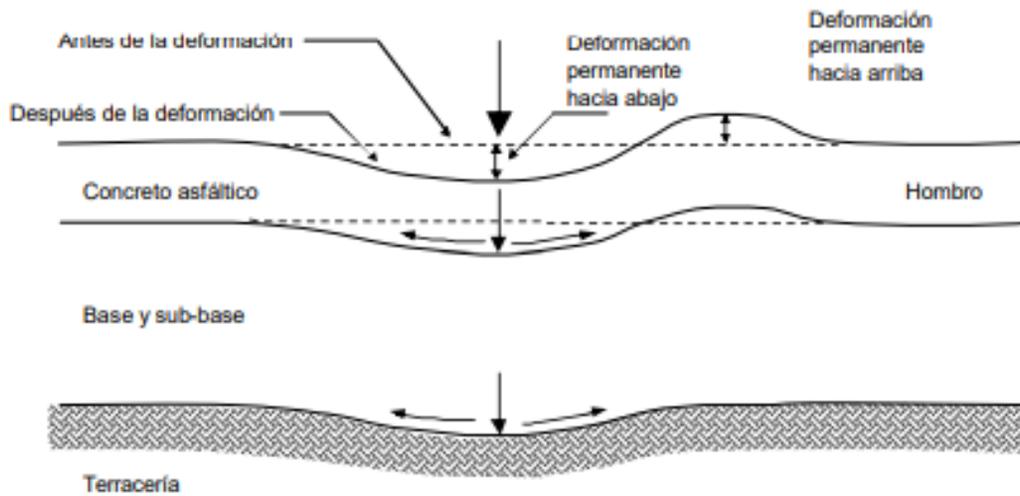
Gráfica N°10. Roderas por fallas en la subrasante



Fuente: Padilla Rodríguez Alejandro. (2004). Deformaciones plásticas en capas de rodadura de pavimentos asfálticos.

Las cargas de tráfico provocan hundimientos y debilitamiento, por debajo en la estructura del pavimento. Si la capa de pavimento es suficientemente flexible, se deformará por tener espesores delgados. Los hundimientos por roderas tienden a ser de anchos que van desde los 750 mm. hasta los 1000 mm. , con poca profundidad y formas curvadas cruzando la sección del pavimento sin fisurarse. Si se hiciera una zanja o corte, la deformación de pavimento indicaría, que el espesor del pavimento permanece constante y cualquiera de las capas granulares (base o sub-base) tiene deformaciones. Si la estructura del pavimento es lo suficientemente rígida a la deformación, ocurrirán fisuras por fatiga de un lado a otro en el ancho entero de la trayectoria de la llanta. Algunas veces atravesando toda la sección del pavimento, parecería un tipo de falla por punzonamiento, con piezas quebradas empujadas hacia abajo. Algunas roderas tienden a presentar pendientes pronunciadas con bordes quebrados en ambos lados de la trayectoria de la rueda. (Padilla, 2004)

Gráfica N°11. Mecanismo típico de deformación permanente en la trayectoria de la rueda externa



Fuente: Garnica, P., Flores, M. Gómez, J. Delgado, H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas

2.2. Marco normativo

2.2.1. Manual de diseño de conservación vial de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC)

El presente manual es parte de los manuales técnicos para el Diseño de Carreteras en Bolivia. Estos manuales se realizaron en el marco del proyecto “Elaboración de Manuales Técnicos para la Administradora Boliviana de Carreteras” realizado entre junio de 2010 y diciembre de 2011, en este periodo se desarrollaron los siguientes manuales; Manual de Construcción, Manual de Planos de Obras Tipo, Manual de Especificaciones Técnicas de Construcción y Manual de Metodología de Evaluación de Proyectos Viales; financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo y desarrollado por el Grupo APIA XXI.

2.2.2. Ley de cargas por eje en Bolivia (Ley 1769 – DS N°. 25629)

El Reglamento de la Ley de Cargas por Eje para Bolivia se encuentra establecida en el Decreto Supremo No. 25629 donde se aprueba el reglamento de la Ley de Cargas 1769 referente a pesos y dimensiones para vehículos de transporte de carga o pasajeros que circulan en el territorio nacional, en sus treinta y nueve artículos y sus V anexos, que forman parte del texto adjunto al decreto supremo.

El detalle de la Ley de Cargas en Bolivia puede obtenerse de la Página Web de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) y el D.S. No. 25629 de Diciembre 1999. La Ley de Cargas establece los Límites máximos de CARGAS POR EJE para los vehículos que circulan por las carreteras de Bolivia.

Los ejes dobles también son denominados ejes Tándem y, los ejes triples son conocidos como ejes Tridem. Además de estas configuraciones que son las básicas existen otras combinaciones que pueden apreciarse en la Ley de Cargas.

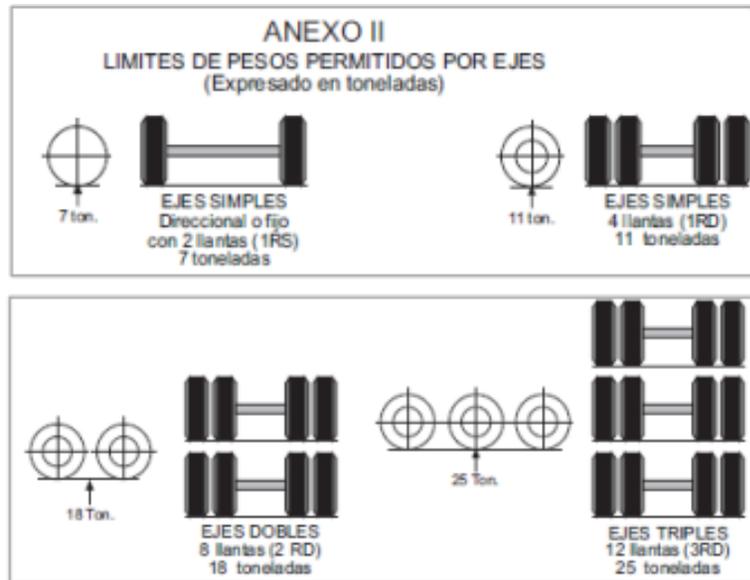
Los límites según esta Ley son:

Tabla N°4. Límites de cargas por ejes según la ley de cargas de Bolivia

DESCRIPCIÓN: PESO BRUTA TOTAL		PESO MÁXIMO PERMITIDO (TON)
1	Peso bruto total para vehículos (más carga)	45,00
2	Peso bruto total para eje sencillo (direccional o fijo) con dos llantas:	7,00
3	Peso bruto total, eje sencillo de cuatro llantas:	11,00
4	Peso bruto total para eje doble de 8 llantas:	18,00
5	Peso bruto total para eje doble de 4 llantas:	10,00
6	Peso bruto total para eje doble de 6 llantas:	14,00
7	Peso bruto total para eje triple de 12 llantas:	25,00
8	Peso bruto total para eje triple de 6 llantas:	17,00
9	Peso bruto total para eje triple de 10 llantas:	21,00
B. DIMENSIONES		METROS
1	Ancho total máximo	2,60
2	Altura total máxima	4,10
3	Longitudes total máximas:	
	3.1 Bus	13,30
	3.2 Camión con dos ejes	11,50
	3.3 Camión con tres ejes (rígidos)	12,20
	3.4 Tracto camión con semirremolque	18,00
	3.5 Camión con remolque u otra combinación	20,50

Fuente: Página Web de la ABC. DS No. 25629. Dic. 1999.

Gráfica N°12. Esquema de ejes según la ley de cargas en Bolivia



Fuente: Página Web de la ABC. DS No. 25629. Dic. 1999.

Estos límites supuestamente no deberían ser excedidos por los pesos por eje de los vehículos que circulan por las carreteras. (Condarco, 2016)

2.3. Marco referencial

2.3.1. Software Everstress

El programa Everstress es capaz de determinar las tensiones, deformaciones y deflexiones en un sistema elástico estratificado (semi-infinito) bajo cargas superficiales circulares. El programa puede analizar una estructura de pavimento que contenga hasta cinco capas, 20 cargas y 50 puntos de evaluación. El programa Everstress también tendrá en cuenta cualquier característica de rigidez dependiente de la tensión.

2.3.1.1. Características del Everstress

El programa puede utilizarse para estimar la tensión, la deformación o la deflexión dentro de un sistema de pavimento estratificado debido a una carga o cargas estáticas. El módulo de elasticidad, la relación de poisson y el espesor deben definirse para cada capa. Además, deben definirse la magnitud de la carga. La presión de contacto (o radio de carga) y la ubicación para cada carga (rueda) considerada.

Everstress se desarrolló a partir del programa de análisis elástico por capas WESLEA (proporcionado por la Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers). El

modelo del sistema de pavimento es elástico multicapa y utiliza múltiples cargas de rueda (hasta 20). El programa puede analizar estructuras de pavimento de mezcla asfáltica en caliente (HMA) que contengan hasta cinco capas y puede considerar las características sensibles a la tensión de los materiales de pavimento no ligados.

La consideración de las características sensibles a la tensión de los materiales no ligados puede conseguirse ajustando los módulos de las capas de forma iterativa mediante el uso de relaciones tensión-módulo como las siguientes [1]:

$$E_b = K_1 \theta K_2 \text{ para suelos granulares} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$E_s = K_3 \theta K_4 \text{ para suelos de grano fino} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

E_b = Modulo de elasticidad de los suelos granulares (Ksi o Mpa)

E_s = Modulo de elasticidad de los suelos de grano fino (Ksi o Mpa)

θ = Tensión aparente (Ksi o Mpa)

σ_d = Modulo de elasticidad de los suelos de grano fino (Ksi o Mpa)

K_1, K_2, K_3, K_4 = constantes de regresión

K_1 y K_3 dependen del contenido de humedad, que puede cambiar con las estaciones. K_2 y K_4 están relacionados con el tipo de suelo, ya sea de grano grueso o fino. K_2 es positivo y K_4 es negativo y permanecen relativamente constantes con las estaciones.

Cada iteración del programa, cuando se utilizan capas dependientes de la tensión, incluye el análisis del firme, el cálculo y la comparación del módulo y el ajuste del módulo. El análisis del pavimento proporciona las tensiones, deformaciones y deflexiones. Los puntos de inspección para el análisis del pavimento son típicamente, verticalmente en la parte inferior de las capas HMA, a media profundidad de la base no ligada y capas de sub-base, y en la parte superior de la subrasante. Los puntos de inspección pueden ser colocados según sea necesario por el usuario y están limitados a un total de 50 puntos de inspección.

La tensión aparente se calcula para las capas de suelo de grano grueso y la tensión de desviación para las capas de suelo de grano fino. Los módulos requeridos se determinan utilizando las relaciones tensión-módulo (Ecuaciones 1 y 2), y se comparan con los módulos utilizados para el análisis del pavimento. Si la suma de la diferencia de módulos es inferior a la tolerancia permitida (un requisito de entrada), el programa produce una

solución. En caso contrario, el proceso de iteración se repite hasta que la diferencia de módulo sea inferior a la tolerancia permitida o la iteración alcance la iteración máxima permitida (requisito de entrada).

2.3.1.1.1. Requisitos de hardware

El programa Everstress está codificado en Microsoft Visual Basic y Microsoft FORTRAN Power Station 4.0 y está diseñado para ejecutarse en ordenadores personales IBM o compatibles con Microsoft Windows 95/NT 4.0 o superior.

2.3.1.1.2. Instalación del programa

Para instalar el programa, inicie Windows, haga clic en el botón Inicio, seleccione Ejecutar y escriba a:\setup o seleccione Examinar y localice el archivo SETUP.EXE. Antes de instalar el programa, se mostrará al usuario el archivo README. TXT. Se recomienda encarecidamente revisar este archivo antes de instalar los programas. Una vez revisado el archivo README.TXT, se pide al usuario que seleccione el directorio de origen (por defecto: a: \), el directorio de destino (por defecto: C: \VERSERSERS) y los programas que desea instalar. El usuario tiene la opción de seleccionar Everstress, Evercalc, Everpave, o cualquier combinación de los anteriores.

Una vez satisfecho con la selección, seleccione Start Install.

2.3.1.1.3. Contenido del programa

Los párrafos siguientes describen cada uno de los distintos menús y entradas del programa.

a) Archivo

Preparar Datos de Entrada.- Esta opción de menú proporciona un formulario para crear un Archivo de DATOS DE ENTRADA o editar un archivo existente. El Archivo de DATOS DE ENTRADA contiene información de capa, información de carga y puntos de evaluación.

Analizar Pavimento.- Esta opción de menú realiza el análisis real y requiere el Archivo de DATOS DE ENTRADA. El análisis se realiza en una ventana DOS y se aconseja no cambiar de ventana hasta la finalización del Análisis.

Imprimir/Ver salida - Esta opción de menú permite al usuario ver la salida en la pantalla y, opcionalmente, imprimirla en la impresora predeterminada de Windows.

Salir.- Esta opción de menú cierra el programa y devuelve al usuario al escritorio de Windows.

b) Ayuda

Contenido.- Contiene descripciones de los distintos menús del programa y los requisitos de entrada para el funcionamiento del programa. La pantalla de ayuda se deriva de las descripciones de los campos contenidas en esta Guía del usuario.

Buscar ayuda sobre....- Formato típico de Windows para buscar descripciones de programas clave.

Acerca de Everstress.- contiene información sobre la versión del programa, contactos de la agencia responsable y del personal, memoria del sistema y recursos.

c) Preparar los datos de entrada

➤ Archivo

Abrir.- Abrir un archivo de datos previamente guardado.

Guardar.- Guarda el Archivo de DATOS DE ENTRADA actual con el mismo nombre.

Guardar como.- Guarda el Archivo de DATOS DE ENTRADA actual con un nombre diferente.

NOTA: El usuario debe guardar todos los archivos de entrada de datos, el programa no guardará automáticamente ninguna entrada ni pedirá al usuario que guarde el archivo.

Salir.- Salir de la entrada de datos. Al seleccionar Salir no se le pedirá que guarde los datos. El usuario debe guardar los datos antes de salir de esta pantalla.

➤ Ayuda

Contenido.- Contiene descripciones de los distintos menús del programa y los requisitos de entrada para el funcionamiento del programa. La pantalla de ayuda se deriva de las descripciones de los campos contenidas en esta Guía del usuario.

Buscar ayuda sobre....- Formato típico de Windows para buscar descripciones de programas clave.

➤ **Datos de entrada**

Título.- Texto de identificación.

Número de capas.- Número total de capas en la estructura del pavimento. El número máximo de capas está limitado a cinco.

Unidades.- Unidades de medida, métricas o US Customary.

Información sobre capas

No - Número de capa.- La capa superior se designa como número 1 y continúa secuencialmente hacia abajo. Esta entrada es sólo para la estructura del archivo

Everstress y no puede ser editada por el usuario.

ID de capa.- Identifica si los módulos de la capa son sensibles a la tensión

0 - Los módulos son insensibles a la tensión (material HMA)

1 - Los módulos varían con la tensión aparente (suelo de grano grueso)

$$E = \text{Multiplicador} \times (\text{Tensión aparente/Presión atmosférica})^{\text{Power}} \quad (\text{Ecuación 3})$$

2 - Los módulos varían con la tensión desviadora (suelo de grano fino)

$$E = \text{Multiplicador} \times (\text{Tensión desviadora/Presión atmosférica})^{\text{Power}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Nota: Se acostumbraba a utilizar la siguiente forma de la ecuación para describir los módulos sensibles a la tensión:

Material de grano grueso

$$E = \text{Multiplicador} * (\text{Tensión aparente})^{\text{Power}} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Material de grano fino

$$E = \text{Multiplicador} * (\text{Esfuerzo desviador})^{\text{Power}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Los nuevos coeficientes se relacionan con estos coeficientes mediante las siguientes relaciones:

$$\text{Poder nuevo} = \text{Poder viejo}$$

$$\text{Multiplicador Nuevo} = (\text{Multiplicador Antiguo}) (\text{Presión Atmosférica})^{\text{PowerOld}}$$

Ejemplo:

$$E = 8500 \times (\text{Bulk Stress})^{0.375} \text{ equivaldría a}$$

$$E = 8500 \times (14,696)^{0.375} \times (\text{Tensión aparente/Presión atmosférica})^{0.375}$$

La presión atmosférica está en las mismas unidades que la tensión (14,696 psi o 101,4 ka). La tensión aparente y la tensión de desviación incluyen la tensión estática (sobrecarga). Las tensiones utilizadas se calculan en $X = 0$, $Y = 0$ y en la parte inferior de la primera capa, en la mitad de las capas intermedias y en la parte superior de la última capa. Los lugares de carga deben especificarse teniendo esto en cuenta.

Contacto de interfaz: describe el contacto por fricción entre capas.

Valor Descripción

- 0** Deslizamiento completo en la interfaz de capas
- 1** Adherencia completa en la interfaz de capas (sin deslizamiento)
- 2 - 1000** Deslizamiento parcial (también varía con E y la relación de Poisson)

Relación de Poisson.- Introduzca la relación de Poisson para cada capa. Los siguientes son valores típicos para la relación de Poisson:

Mezcla asfáltica en caliente	0.35
Base de pavimento triturada	0.40
Subsuelo	0.45

Grosor.- Introduzca el grosor de cada capa (pulgadas o cm)

Módulos.- Módulo de resiliencia para cada capa. Si esta capa es sensible a la tensión, se utilizará como módulo inicial y el programa calculará un módulo compatible con la tensión de forma iterativa (ksi o MPa).

Multiplificador.- Si esta capa es sensible a la tensión, utilice los coeficientes de regresión del multiplicador como se describe en ID de capa más arriba. Si ID de capa es igual a cero, esta entrada no se aplicará y el programa eliminará automáticamente la casilla de datos.

Potencia.- Si esta capa es sensible a la tensión, utilice coeficientes de regresión K2 o K4. Si Layer ID es igual a cero, esta entrada no se aplicará y el programa eliminará automáticamente la casilla de datos.

Max. Iteración.- Si alguna de las capas es sensible a la tensión, el número máximo de iteraciones permitidas en la obtención de módulos compatibles con la tensión.

Normalmente se utiliza un valor de cinco.

Módulo Tol. (%).- Si alguna de las capas es sensible a la tensión, porcentaje de tolerancia del módulo en iteraciones sucesivas. Normalmente se utiliza un valor de 1,0.

➤ **Ubicaciones de carga/evaluación**

Nº de cargas.- Número de cargas aplicadas a la estructura del firme. Actualmente el programa está limitado a un máximo de 20 cargas.

Número de puntos de evaluación X-Y.- Número de puntos de evaluación X-Y.

Actualmente el programa está limitado a un máximo de 50 puntos, esto incluye todas las combinaciones de localizaciones X-Y y Z. Por ejemplo, si el usuario introduce cinco localizaciones X-Y y tres localizaciones Z para cada localización X-Y, entonces el número de puntos de evaluación es $5 (X-Y) \times 3 (Z) = 15$. Cada punto X-Y puede tener hasta cinco puntos en la dirección Z. Si se necesitan más de cinco puntos en la dirección Z en las mismas posiciones X-Y, entonces se puede utilizar el siguiente punto de evaluación con las mismas posiciones X-Y

Posición X.- Coordenada X del punto de carga/evaluación (pulgadas o cm).

Posición Y.- Coordenada Y del punto de carga/evaluación (pulgadas o cm).

Posición Z.- Coordenada Z del punto de evaluación (pulgadas o cm).

Carga.- Magnitud de la carga (Ib. o N)

Presión.- Presión de contacto de la carga aplicada (psi o kPa).

Radio.- Radio del área cargada.

Nota: Sólo se requieren dos de los tres valores anteriores (carga, presión, radio), el tercer valor se calculará automáticamente (pulgadas o cm).

➤ **Peso unitario**

El peso unitario de cada capa de material es necesario si alguno de los módulos de la capa es sensible a la tensión para el cálculo de las presiones de sobrecarga. El programa

proporciona los siguientes valores por defecto, que pueden modificarse según sea necesario.

Tabla N°5. Peso Unitario de acuerdo al material

N° de capa	Capa descripción	Peso unitario	
		(lbs/ft) ³	(kN/m) ³
1	Mezcla asfáltica en caliente	145,0	22,8
2	Base de piedra triturada	130,0	20,5
3	Subsuelo	125,0	19,7
4	Subsuelo	120,0	18,9
5	Subsuelo	120,0	18,9

Fuente: Everstress. (2005). Guía del uso del Everstress

2.3.1.1.4. Analizar el pavimento

Realiza el análisis propiamente dicho. El programa le pedirá el Archivo de DATOS DE ENTRADA y un Archivo de DATOS DE SALIDA. El análisis se lleva a cabo en una ventana y se aconseja no cambiar a otras ventanas hasta que el análisis se haya completado.

2.3.1.1.5. Imprimir/ver resultados

Esta opción de menú permite al usuario seleccionar el nombre de archivo de salida que se revisara en la pantalla o se imprimirá en la impresora predeterminada de Windows.

Opciones.- Los protocolos estándar de Windows se utilizan para ver varias páginas, hacer zoom, seleccionar el estilo de fuente para la vista en pantalla y la impresión, imprimir y salir de la pantalla de impresión.

Descripción de la salida.- La mayoría de las cantidades de salida se explican por sí mismas, excepto las siguientes:

Tensiones. - tensiones debidas a la(s) carga(s) de la(s) rueda(s) de entrada (no incluye los componentes de sobrecarga).

Tensiones. - Las tensiones no incluyen los componentes estáticos.

Módulos (1). - Módulos especificados en los datos de entrada.

Módulos (2). - Módulos compatibles con la tensión calculados (sólo para materiales sensibles a la tensión).

Error máximo en el módulo.- Error máximo en los módulos calculados (compatibles con la tensión) al final de la última iteración.

S_{xx} , S_{yy} , S_{zz} , S_{yz} , S_{xy} , S_{xz} .- Tensiones normales en las direcciones X-Y-Z.

E_{xx} , E_{yy} , E_{zz} .- Deformaciones normales en las direcciones X-Y-Z.

U_x , U_y , U_z .- Deflexiones en las direcciones X-Y-Z.

S_1 , S_2 , S_3 . - Tension principal.

E_1 , E_2 , E_3 .- Cepas principales. (Everstress, 2005)

2.4. Posición del autor

De acuerdo al proyecto es importante saber que es un pavimento y que tipos de pavimentos existen, entre ellas la que más importancia damos de acuerdo al proyecto es el pavimento flexible, sus características principales y las fallas que presentan además de las respuestas de cargas aplicadas por la carga vehicular.

La normativa que se puso en práctica es el Manual de Diseño de conservación vial de la Administradora Bolivia de Carreteras (ABC) debido a que es una normativa vigente que se utiliza en toda obra y que es respaldada por la ABC y la Ley de Cargas por eje en Bolivia es decir que esta ley se debería cumplir en Bolivia y si no se cumplen es sancionado de acuerdo a la ley

CAPÍTULO III
RELEVAMIENTO DE
INFORMACIÓN Y
PROCESAMIENTO

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN Y PROCESAMIENTO

3.1. Ubicación del área de estudio

El presente proyecto está ubicado en la Ciudad de Tarija, Provincia Cercado del departamento de Tarija, del Estado Plurinacional de Bolivia.

El área de estudio del proyecto seleccionado comprende la vía del pavimento flexible en la ciudad de Tarija, específicamente a orillas del río Guadalquivir desde el puente San Martín hasta el puente Peregrino, la cual fue seleccionada por su paquete estructural, variedad de tráfico y año de ejecución. A continuación detallaremos los siguientes aspectos y trayectos de estudio:

- Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo, con la ejecución de obra en el 2011

Gráfica N°13. Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo



Fuente: Google Earth

3.2. Descripción del área de estudio

3.2.1. Características generales

La Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo tiene la característica de ser una vía de doble carril y ser de un pavimento flexible, está ubicada a orillas del río Guadalquivir, desde el puente San Martín con coordenadas UTM 319910,80 m E, 7617637,20 m N, pasando su trayectoria por el puente Bicentenario hasta finalizar en el puente Peregrino con coordenadas UTM 320375,0 m E, 7617273,30 m N, con un recorrido aproximado 1379,82 m. Con la empresa encargada Asociación Accidental “COSTANERA”, supervisada por la empresa Asociación Accidental Consunción y Asociados desde el 2009-2011.

3.2.2. Características geométricas

Tabla N°6. Características geométricas de la Avenida General de San Martín de Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Carril	3,00	m	Medición propia
Berma	1,00	m	Medición propia
Calzada	6,00	m	Medición propia
Longitud	1379,82	m	Medición propia

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°14. Medición de la calzada de la Avenida General de San Martín de Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°15. Medición de la berma de la Avenida General de San Martín de Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo



Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Características estructurales

Tabla N°7. Características estructurales de la Avenida General de San Martín de Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Espesor carpeta asfáltica	10,00	cm	Medición propia
Espesor base	18,00	cm	Medición propia
Espesor sub-base	30,00	cm	Medición propia
CBR base	85,78	%	Ensayo propio
CBR sub-base	55,65	%	Ensayo propio
CBR subrasante	37,13	%	Ensayo propio

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°7 los podemos observar en anexo 1 y anexo 2.

3.3. Criterios metodológicos

3.3.1. Unidad de muestra

La unidad de muestra es el punto de medición.

3.3.2. Población

La población a estudiar será del tipo infinito es decir todos los puntos de medición.

3.3.3. Muestra

La muestra serán 30 puntos de medición.

3.4. Tamaño de la muestra

De acuerdo a los criterios se definió que es un muestreo probabilístico aleatorio es decir que es una muestra significativa donde todos los puntos de medición tienen la misma oportunidad de ser seleccionados.

3.5. Caracterización de los materiales del tramo

3.5.1. Obtención de datos

Para la obtención de datos se realizó los siguientes ensayos en el Laboratorio de Suelos:

- Contenido de Humedad
- Granulometría
- Límites
- Compactación
- California Bearing Ratio (CBR)

Tabla N°8. Cuadra resumen de los ensayos realizados

Item	Humedad (%)	Granulometría (% que pasa)										Compactación T-180		CBR		
		3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	$\rho_{\text{máx}}$ (g/cm ³)	H.opt (%)	100%	95%
Capa base	1,28	100	100	87,08	83,08	69,6	62,8	50,5	44,33	38,82	28,02	11,82	2,155	6,93	90	85,78
Capa sub-base	1,75	79,83	72,5	68,08	62,26	53	47,70	39,4	31,72	25,21	19,12	11,03	2,219	5,29	59	55,65
Capa subrasante	1,58	82,65	79,7	75,56	70,08	56,6	48,6	38,2	29,80	24,67	16,53	10,12	2,236	4,63	39	37,13

Fuente: Elaboración propia

Además se pidió a la empresa Consultora Unión SRL, encargada en ese entonces de realizar todos los estudios necesarios para la ejecución de la obra de toda la información obtenida se seleccionó los datos relevantes para nuestro proyecto.

3.5.2. Datos requeridos para el software Everstress

Para la selección de datos están los siguientes valores:

Tabla N°9. Datos seleccionados para el software Everstress

Característica	Valor	Unidad	Fuente
Espesor carpeta asfáltica	10,00	Cm	Medición propia
Espesor base	18,00	Cm	Medición propia
Espesor sub-base	30,00	Cm	Medición propia
Peso unitario Carpeta asfáltica	145,00	pcf (lb/ft ³)	Defecto del software
Peso unitario capa base	130,00	pcf (lb/ft ³)	Defecto del software
Peso unitario capa sub-base	125,00	pcf (lb/ft ³)	Defecto del software
Peso unitario capa subrasante	120,00	pcf (lb/ft ³)	Defecto del software

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°9 los podemos observar en anexo 1.

Tabla N°10. Valores del CBR de cada capa

Característica	Valor	Unidad	Consultora Unión SRL
CBR base	85,78	%	Ensayo propio
CBR subbase	55,65	%	Ensayo propio
CBR subrasante	37,13	%	Ensayo propio

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°10 los podemos observar en anexo 2.

Tabla N°11. Datos específicos del tipo de material de cada capa

Característica	Tipo de suelo	Especificaciones	Fuente
Carpeta Asfáltica	Asfalto 85/100	Ductilidad a 25°C Penetración a 25°C, Densidad a 25°C/25°C	Consultora Unión SRL
Capa Base	A-1-a ₍₀₎	Grava bien graduada con presencia de arena fina	Ensayo propio
Capa Subbase	A-1-a ₍₀₎	Grava bien graduada con presencia de arena fina	Ensayo propio
Capa Subrasante	A-1-a ₍₀₎	Grava bien graduada con presencia de arena fina	Ensayo propio

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°11 los podemos observar en anexo 2 y anexo 3.

3.5.3. Cálculos de complementación

Con los ensayos realizados ya en laboratorio y los datos ya obtenidos que nos proporcionó la Consultora Unión, se realiza algunos cálculos para poder completar los datos que necesita el software Everstress, a continuación realizaremos los siguientes cálculos:

3.5.3.1. Coeficiente de Poisson

Estos valores se obtuvieron mediante la tabla N°12 de acuerdo al tipo de material que tiene cada capa del pavimento flexible.

Tabla N°12. Valores de la relación de poisson

Tipo de suelo	lb/ pulg ²	MN/m ²	Relación de Poisson (μ)
Arena suelta	1,500-3,500	10.35-24.15	0.20-0.40
Arena densa media	2,500-4,000	17.25-27.60	0.25-0.40
Arena densa	5,000-8,000	34.50-55.20	0.30-0.45
Arena limosa	1,500-2,500	10.35-17.25	0.20-0.40
Arena y grava	10,000-25,000	69.00-172.5	0.15-0.35
Arcilla suave	600-3,00	4.1-20.7	
Arcilla media	3,000-6,000	20.7-41.4	0.20-0.50
Arcilla firme	6,000-14,000	41.4-96.6	

Fuente: Clasificación de suelos. (2010). Calculo de las propiedades del suelo a través de parámetros indirectos

Tabla N°13. Coeficiente de Poisson (n) en función de la ductilidad de ensayo para la carpeta asfáltica

Temperatura °C	-10	+5	+20	+40
Coeficiente de Poisson, (μ)	0.20	0.25	0.35	0.40

Fuente: NLT 360. Norma de laboratorio de transportes. P.2

La temperatura de la mezcla asfáltica se encuentra en anexos 3 que es un valor de 25°C.

Tabla N°14. Valores del Coeficiente de poisson

Coeficiente de poisson	Tipo de suelo	Valor	Unidad
Carpeta Asfáltica	Asfalto 85/100	0,35	-
Capa base	Grava bien graduada con presencia de arena fina	0,30	-
Capa sub-base	Grava bien graduada con presencia de arena fina	0,30	-
Capa subrasante	Grava bien graduada con presencia de arena fina	0,30	-

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.2. Módulo Resiliente

- Carpeta asfáltica:

$$M_R = M_{RB} * 2$$

$$M_{RCA} = 128,670 \text{ ksi} * 2$$

$$M_{RCA} = 128,670 \text{ ksi} * 2$$

$$M_{RCA} = 257,34 \text{ ksi}$$

- Capa base:

$$M_{RB} = \text{CBR}\% * 1500$$

$$M_{RB} = 85,78 * 1500 = 128670 \text{ psi}$$

$$M_{RB} = 128670 \text{ psi} * 0,001 \text{ ksi} / 1 \text{ psi} = 128,670 \text{ ksi}$$

$$M_{RB} = \mathbf{128,670 \text{ ksi}}$$

- Capa Sub-base:

$$M_{RSB} = \text{CBR}\% * 1500$$

$$M_{RSB} = 55,75 * 1500 = 83625 \text{ psi}$$

$$M_{RSB} = 83625 \text{ psi} * 0,001 \text{ ksi} / 1 \text{ psi} = 83,625 \text{ ksi}$$

$$M_{RSB} = \mathbf{83,63 \text{ ksi}}$$

- Capa subrasante:

$$M_{RSR} = \text{CBR}\% * 1500$$

$$M_{RSR} = 37,13 * 1500 = 55695 \text{ psi}$$

$$M_{RSR} = 55695 \text{ psi} * 0,001 \text{ ksi} / 1 \text{ psi} = 55,695 \text{ ksi}$$

$$M_{RSR} = \mathbf{55,70 \text{ ksi}}$$

Tabla N°15. Valores del módulo resiliente

Módulo resiliente	Valor	Unidad
Carpeta Asfáltica	257,34	Ksi
Capa base	128,670	Ksi
Capa subbase	83,625	Ksi
Capa subrasante	55,695	Ksi

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.3. Multiplicador

$$E = \text{multiplicador} * (\text{Tensión aparente})^{0.375} \quad \text{Ecuación 5}$$

Según la guía del software Everstress se optó por la ecuación 5 que se encuentra en la guía del software porque son para material de grano grueso. Para la ecuación nos proporciona el valor de la tensión aparente de 14,696 psi y un multiplicador de 8500.

$$E = 8500 * (14,696 \text{ psi})^{0.375}$$

$$E = 23287,27 \text{ psi} * (1 / 0,001 \text{ ksi}) = 23,287 \text{ ksi}$$

$$E = 23,29 \text{ ksi}$$

3.5.3.4. Potencia

Según las constantes de regresión k_2 son para suelos granulares, mientras que para un k_4 son para suelos finos.

Revisando toda la información se concluyó que todos los suelos son suelos granulares por tanto optamos por una K_2 y el valor lo obtuvimos de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla N°16. Constantes no lineales K_1 y K_2 para materiales granulares

Tipo de material	N° de datos	K_1 (Mpa)		K_2	
		media	desviación estándar	media	desviación estándar
Arena limosa	8	11.17	0.54	0.62	0.13
Grava arenosa	37	30.89	29.65	0.53	0.17
Arena-grava	78	30.00	18.13	0.59	0.13
Roca triturada	115	49.70	51.64	0.45	0.23

Fuente: Instituto Mexicano del transporte. Módulos de resiliencia en suelos finos y granulares.

$$K_2 = 0.530$$

3.5.4. Distribución de cargas

De acuerdo a la tabla N°3. Límites de cargas por ejes según la ley de cargas de Bolivia tomamos como la mínima carga de 7 Ton y la máxima 25 Ton, comenzamos con un valor de 7 Ton y vamos aumentando cada 0,621 Ton hasta llegar a los 25 Ton a la carga máxima según la ley de Bolivia.

Tabla N°17. Distribución de Cargas

Distribución de cargas		
Tramo	Ton	lbf
1	7,00	15432,3
2	7,62	16801,4
3	8,24	18170,5
4	8,86	19539,5
5	9,48	20908,6

6	10,11	22277,7
7	10,73	23646,8
8	11,35	25015,8
9	11,97	26384,9
10	12,59	27754,0
11	13,21	29123,0
12	13,83	30492,1
13	14,45	31861,2
14	15,07	33230,2
15	15,69	34599,3
16	16,32	35968,4
17	16,94	37337,4
18	17,56	38706,5
19	18,18	40075,6
20	18,80	41444,7
21	19,42	42813,7
22	20,04	44182,8
23	20,66	45551,9
24	21,28	46920,9
25	21,90	48290,0
26	22,53	49659,1
27	23,15	51028,1
28	23,77	52397,2
29	24,39	53766,3
30	25,01	55135,3

Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Ubicación de los puntos de estudio

Los 30 puntos de estudios están divididos equitativamente a lo largo de la longitud de la calle que tiene como longitud de 1379,82 m (54323,62 in), es decir que cada punto de estudio está a cada 47,58 m (1873,23in).

Para tener una mejor obtención de resultados en el software se dividió en 5 segmentos, todo segmento cuenta con 6 tramos de estudio, haciendo un total de 30 puntos de estudio.

En la gráfica N°16 se observada las divisiones para obtener los 5 segmentos:

**Gráfica N°16. Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle
Hermanos Uriondo y sus puntos de estudio**



Fuente: Google Earth

Tabla N°18. Distancia de los puntos de estudio

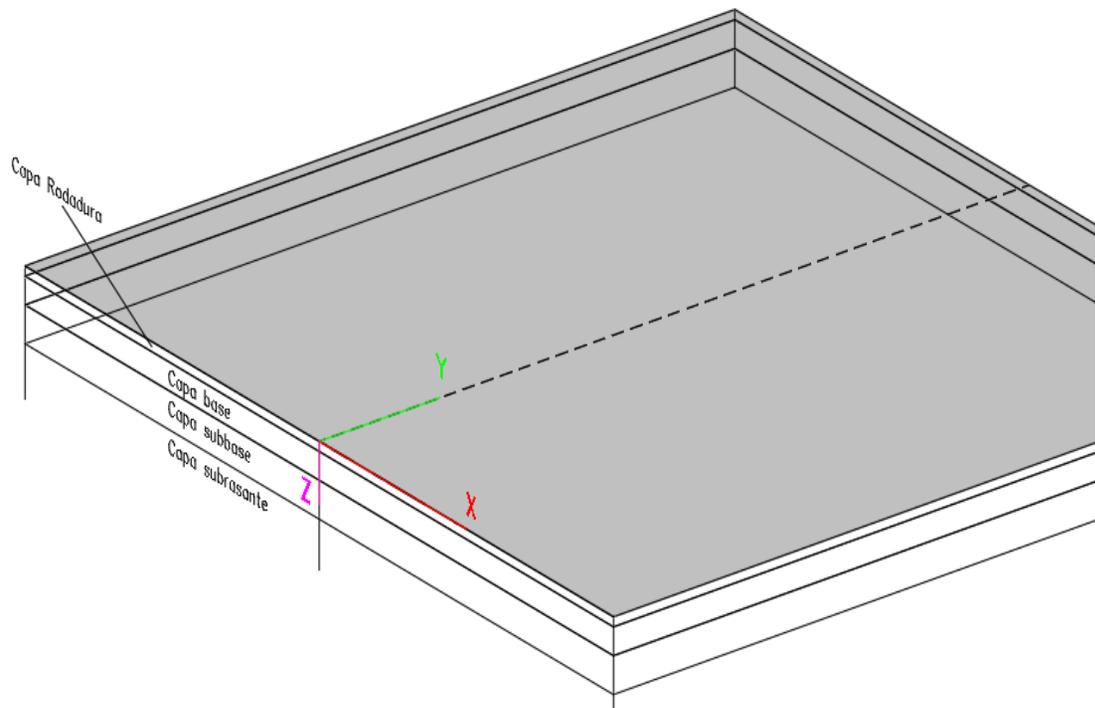
Distancias			
Segmento	Punto	in	m
1	1	0,00	0,00
1	2	1873,23	47,58
1	3	3746,46	95,16
1	4	5619,69	142,74
1	5	7492,92	190,32
1	6	9366,15	237,9
2	7	0,00	285,48
2	8	1873,23	333,06
2	9	3746,46	380,64
2	10	5619,69	428,22
2	11	7492,92	475,8
2	12	9366,15	523,38
3	13	0,00	570,96
3	14	1873,23	618,54
3	15	3746,46	666,12
3	16	5619,69	713,7
3	17	7492,92	761,28
3	18	9366,15	808,86
4	19	0,00	856,44

4	20	1873,23	904,02
4	21	3746,46	951,6
4	22	5619,69	999,18
4	23	7492,92	1046,76
4	24	9366,15	1094,34
5	25	0,0	1141,92
5	26	1873,23	1189,5
5	27	3746,46	1237,08
5	28	5619,69	1284,66
5	29	7492,92	1332,24
5	30	9366,15	1379,82

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de estudio se realizaron en una sola vía, ya que ambas vías cuentan con las mismas características. Los ejes de estudio que se tomó para la ubicación de los puntos de estudio es en la mitad de la vía para cada punto, a continuación se mostraran de forma gráfica para mejor comprensión en la siguiente gráfica:

Gráfica N°17. Definición de los ejes de la Avenida General de San Martín de Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo



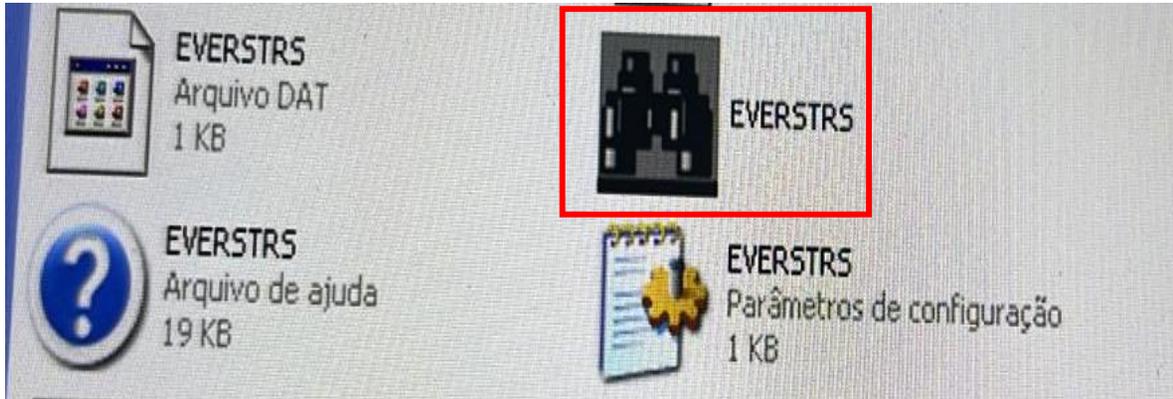
Fuente: Elaboración propia

3.6. Ejecución del software

3.6.1. Inicio del programa

Realizando la correcta instalación del software, se inicia el programa haciendo doble clic en el logo Everstress, como se muestra en la siguiente gráfica:

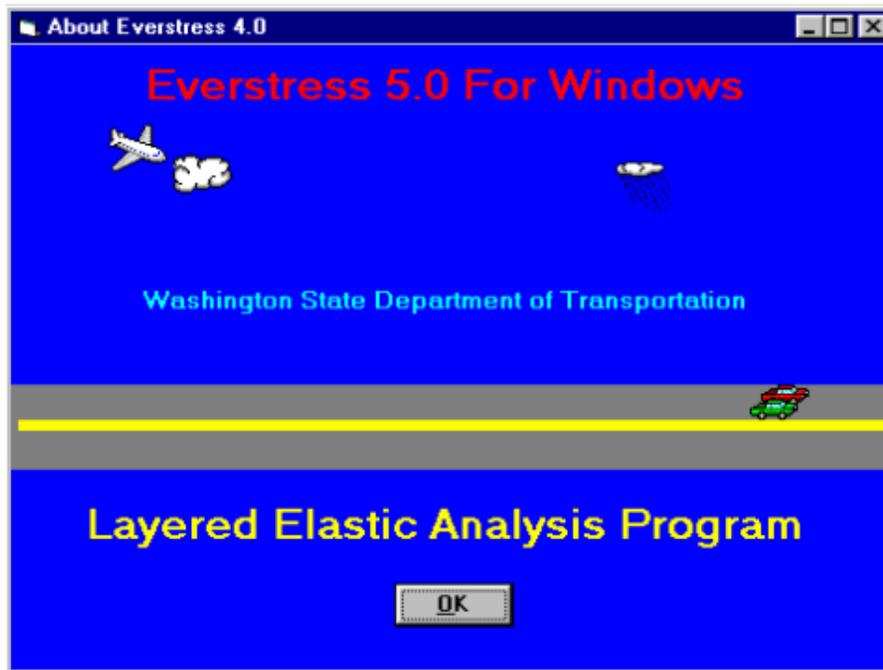
Gráfica N°18. Logo del software Everstress



Fuente: Software Everstress

Luego aparece la siguiente gráfica y se pulsa el botón **OK**:

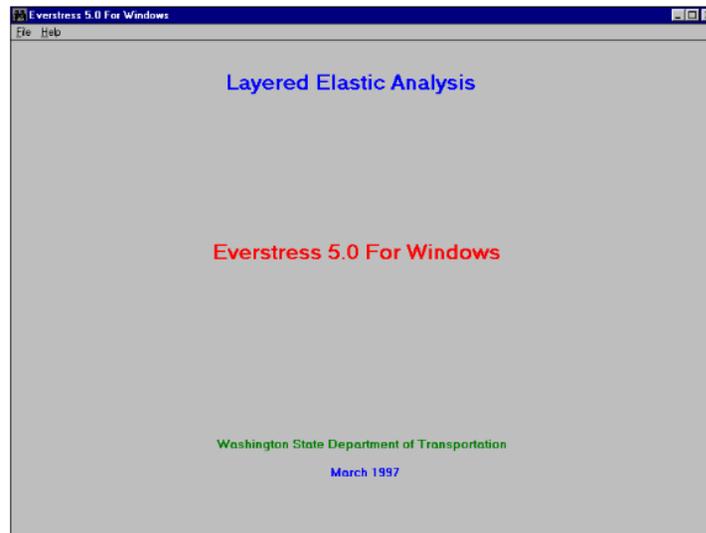
Gráfica N°19. Inicio del software



Fuente: Software Everstress

Finalmente se entra a la pantalla principal de Everstress:

Gráfica N°20. Pantalla principal del software Everstress



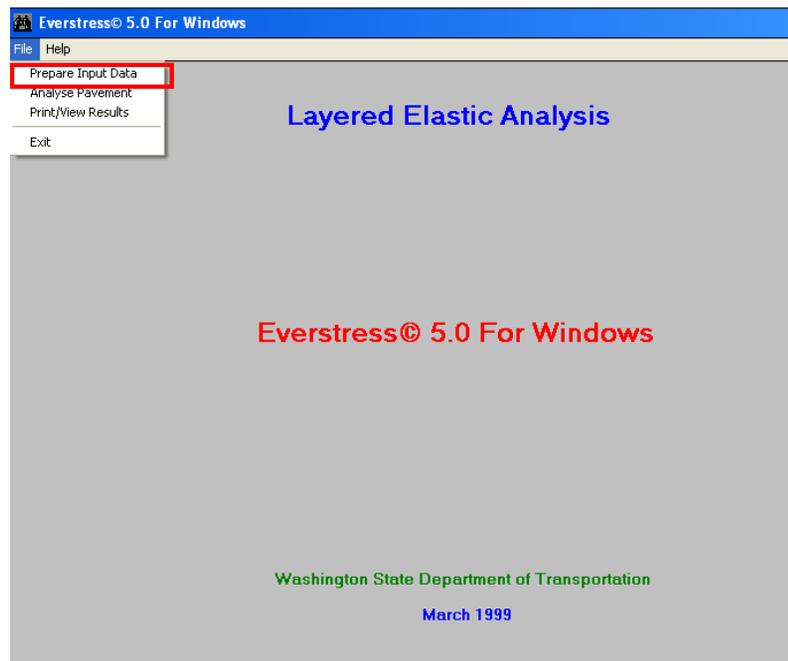
Fuente: Software Everstress

3.7. Datos requeridos del software Everstress

3.7.1. Datos de entrada

Para ingresar a los datos de entrada se va a la parte superior izquierdo se oprime file y luego Prepare Input Data.

Gráfica N°21. Preparación de datos de entrada



Fuente: Software Everstress

En los datos de entradas se colocan todos los datos que se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°22. Datos de entrada

Fuente: Software Everstress

A continuación se explicara por pasos como se debe colocar los datos de entrada del tramo 1-6:

1. **Titulo.-** Tramo 1-6.
2. **N° de Capas.-** 4.
3. **Unidad.-** US Units (Sistema Ingles).
4. **Identificación de capa.-** En esta identificación nos sale tres opciones:

Gráfica N°23. Identificación de capas

Fuente: Software Everstress

0- moduli is stress insensitive —→ el modulo es insensible a la tensión.

1- moduli varies with bulk stress (coarse grained) —→ los módulos varían con la tensión aparente (grano grueso).

2- moduli varies with derivator stress (fine grained)—→ los módulos varían con la tensión del derivador (grano fino).

De acuerdo a estas opciones obtuvimos los siguientes valores de la siguiente tabla:

Tabla N°19. Distribución de distancia de los puntos de estudio

Identificación de capa	Valor
Carpeta asfáltica	0
Capa base	1
Capa sub-base	1
Capa subrasante	1

Fuente: Elaboración propia

5. Contacto de interfaz.- Describe el contacto por fricción entre capas:

Tabla N°20. Valores del contacto de interfaz

Valor	Descripción
0	Deslizamiento completo en la interfaz de capas
1	Adherencia completa en la interfaz de capas (sin deslizamiento)
2-1000	Deslizamiento parcial (también varía con E y la relación de poisson)

Fuente: Software Everstress

En lo cual nos indica para nuestro pavimento flexible el valor de 1 en cada capa, porque existe una adherencia completa en la interfaz de capas.

6. Coeficiente de poisson.- Se coloca los valores de la tabla N°14.

7. Espesor.- Colocamos los valores de la tabla N°7.

8. Módulo resiliente.- Colocamos los valores de la tabla N°15.

9. Multiplicador.- 23,287 ksi.

10. Potencia.- 0.530.

11. Máxima iteración.- Normalmente utilizamos el valor de 5, pero el software itera hasta su máximo número permitido, lo cual sea el valor que coloquemos en el software al final sacara su propio valor de máxima iteración.

12. Modulo tol (%).- Normalmente utilizamos el valor de 1. De igual forma que el máxima iteración sea el valor que coloquemos el programa sacara al final su propio valor de iteración sucesivas.

Gráfica N°24. Datos de entrada completa TRAMO 1-6

The screenshot shows the 'Everstress Data Entry' window with the following data:

Title: TRAMO 1-6

No of Layers: 4

Units: Metric US Units

No	Layer ID	Interface Contact	Poisson's Ratio	Thickness (in)	Modulus (ksi)	Multiplier (ksi)	Power
1	0	1.00	0.35	3.93	257.34		
2	1	1.00	0.30	7.09	128.67	23.29	0.530
3	1	1.00	0.30	11.81	83.63	23.29	0.530
4	1		0.30		55.70	23.29	0.530

Max. Iteration: 5 Moduli Tol.: 1.00

Buttons: Load & Evaluation Locations...
Change Default Unit Weight...

Fuente: Software Everstress

Los valores de cada tramo de estudio los podemos encontrar en anexo 4.

3.7.2. Peso unitario

Presionamos la opción Change Default Unit Weight:

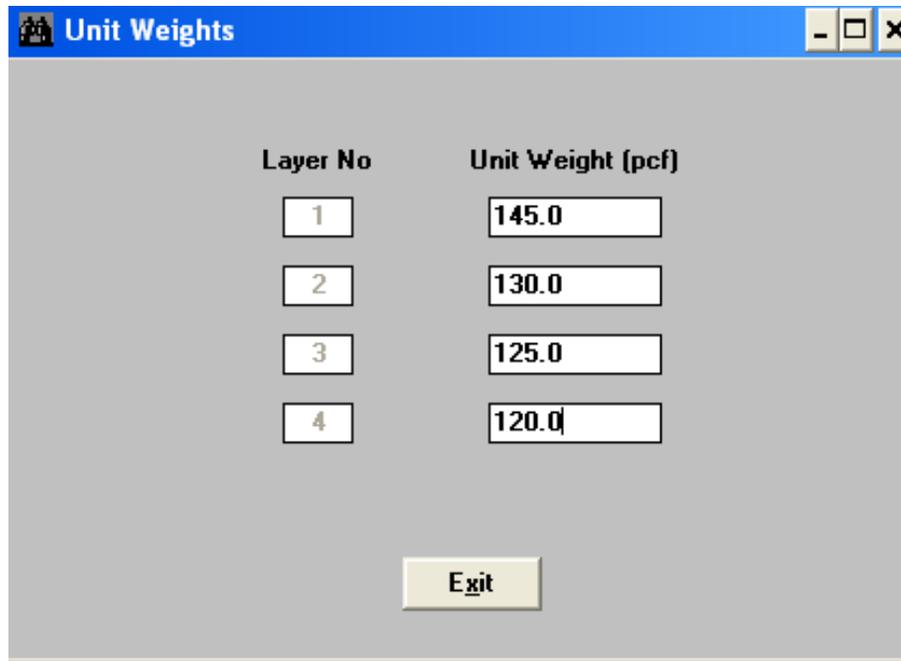
Gráfica N°25. Entrada a la opción de Pesos unitarios

This close-up shows the 'Max. Iteration: 5' and 'Moduli Tol.: 1.00' fields. Below them are two buttons: 'Load & Evaluation Locations...' and 'Change Default Unit Weight...'. The 'Change Default Unit Weight...' button is highlighted with a red rectangular box.

Fuente: Software Everstress

Para finalmente poder ingresar los datos de la tabla N° 11 como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°26. Pesos Unitarios en el software Everstress



Layer No	Unit Weight (pcf)
1	145.0
2	130.0
3	125.0
4	120.0

Exit

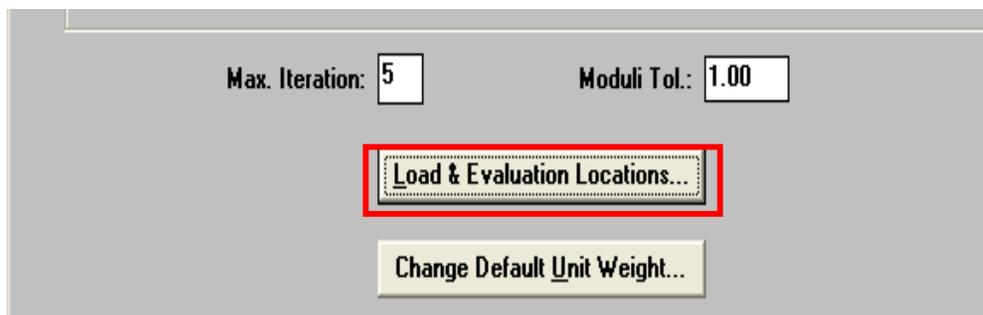
Fuente: Software Everstress

Los valores de todos los pesos unitarios son valores por defecto del software.

3.7.3. Puntos de carga y evaluación

Presionamos la opción Load & Evaluation Locations como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°27. Entrada a la opción de lugares de carga y evaluación



Max. Iteration: 5 Moduli Tol.: 1.00

Load & Evaluation Locations...

Change Default Unit Weight...

Fuente: Software Everstress

Para finalmente poder ingresar los datos de la tabla N° 17 y N°18, además se debe colocar los datos de presión y radio de las cuales si colocamos una de las dos automáticamente el otro dato se calculara por defecto del software, en nuestro caso colocamos el radio de contacto que es igual al ancho de un neumático es decir de 15cm o 5.9 in. Como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°28. Datos de la carga y evaluación

Load & Evaluation Points

No of Loads: No of X-Y Evaluation Points:

Load Information

X-Position (in):	<input type="text" value="0.00"/>					
Y-Position (in):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="1873.23"/>	<input type="text" value="3746.46"/>	<input type="text" value="5619.69"/>	<input type="text" value="7492.92"/>	<input type="text" value="9366.15"/>
Load (lbf):	<input type="text" value="15432.3"/>	<input type="text" value="16801.4"/>	<input type="text" value="18170.5"/>	<input type="text" value="19539.5"/>	<input type="text" value="20908.6"/>	<input type="text" value="22277.7"/>
Pressure (psi):	<input type="text" value="141.1"/>	<input type="text" value="153.6"/>	<input type="text" value="166.2"/>	<input type="text" value="178.7"/>	<input type="text" value="191.2"/>	<input type="text" value="203.7"/>
Radius (in):	<input type="text" value="5.90"/>					

Evaluation Points

X-Position (in):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>
Y-Position (in):	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="1873.23"/>	<input type="text" value="3746.46"/>	<input type="text" value="5619.69"/>	<input type="text" value="7492.92"/>	<input type="text" value="9366.15"/>
Z-Position (in):	<input type="text" value="3.929"/>	<input type="text" value="3.929"/>	<input type="text" value="3.929"/>	<input type="text" value="3.929"/>	<input type="text" value="3.929"/>	<input type="text" value="3.929"/>
Z-Position (in):	<input type="text" value="7.475"/>	<input type="text" value="7.475"/>	<input type="text" value="7.475"/>	<input type="text" value="7.475"/>	<input type="text" value="7.475"/>	<input type="text" value="7.475"/>
Z-Position (in):	<input type="text" value="16.925"/>	<input type="text" value="16.925"/>	<input type="text" value="16.925"/>	<input type="text" value="16.925"/>	<input type="text" value="16.925"/>	<input type="text" value="16.925"/>
Z-Position (in):	<input type="text" value="22.831"/>	<input type="text" value="22.831"/>	<input type="text" value="22.831"/>	<input type="text" value="22.831"/>	<input type="text" value="22.831"/>	<input type="text" value="22.831"/>
Z-Position (in):	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Fuente: Software Everstress

Los valores colocados para cada tramo de estudio los podemos encontrar en anexo 4.

En los valores de las posiciones de Z son dados por defecto por el software dependiendo de los datos que ingresamos en el espesor de las capas.

Finalmente se va a la opción de guardar que está en la parte superior a la izquierda como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°29. Guardar archivo en el software Everstress

Everstress© Data Entry

File Help

Open
Save
 Save As...
 Exit

Title:

of Layers:

Units
 Metric US Units

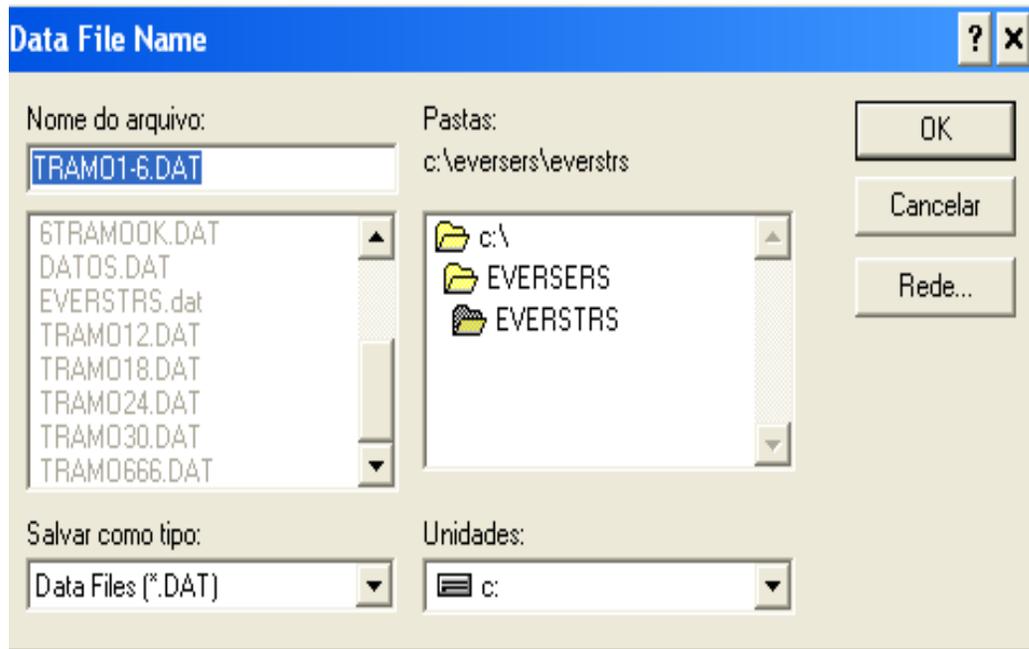
Layer Information

No	Layer ID	Interface Contact	Poisson's Ratio	Thickness (in)	Modulus (ksi)	Multiplier (ksi)	Power
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0.35"/>	<input type="text" value="3.93"/>	<input type="text" value="257.34"/>		
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0.30"/>	<input type="text" value="7.09"/>	<input type="text" value="128.67"/>	<input type="text" value="23.29"/>	<input type="text" value="0.530"/>
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="0.30"/>	<input type="text" value="11.81"/>	<input type="text" value="83.63"/>	<input type="text" value="23.29"/>	<input type="text" value="0.530"/>
<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1"/>		<input type="text" value="0.30"/>		<input type="text" value="55.70"/>	<input type="text" value="23.29"/>	<input type="text" value="0.530"/>

Fuente: Software Everstress

Se guarda con el nombre que desee con la extensión DAT y OK para guardarlo en el lugar determinado que ya tiene el software. Como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°30. Guardar archivo con la extensión DAT

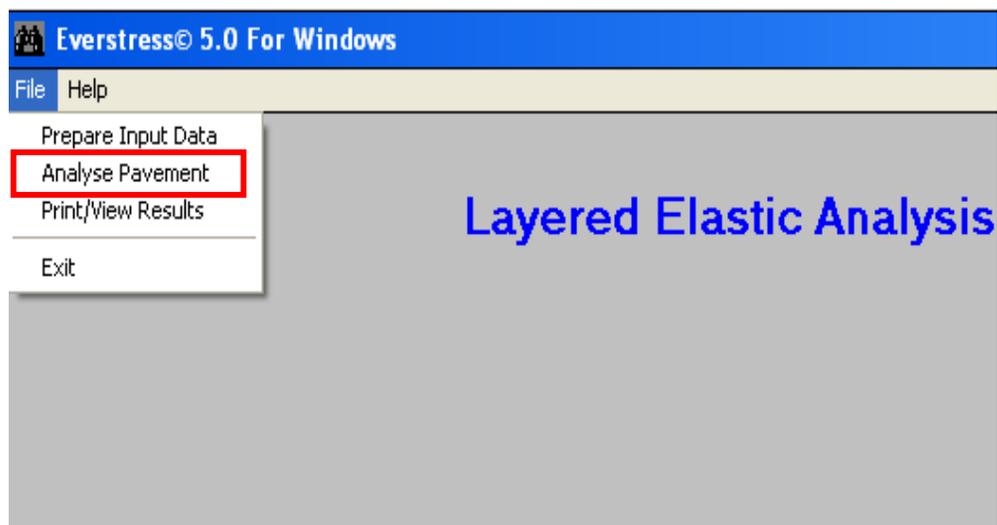


Fuente: Software Everstress

3.8. Análisis de los datos del software Everstress

Se va en la parte superior a la izquierda y se va a la opción Analyse Pavement como se muestra en la siguiente gráfica:

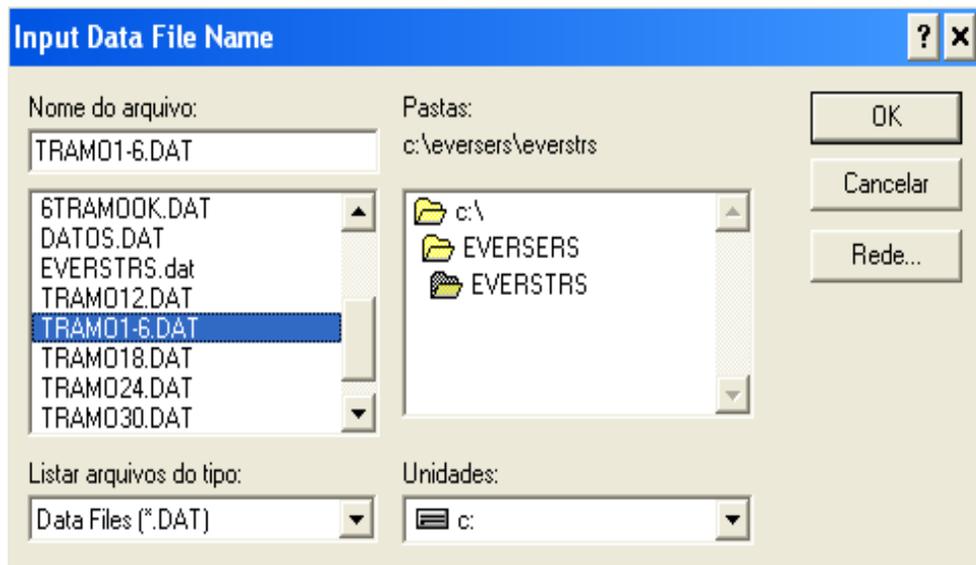
Gráfica N°31. Analizar Pavimento



Fuente: Software Everstress

Buscamos el nombre del archivo con el que guardamos, lo seleccionamos y presionamos la opción OK, como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°32. Selección del archivo

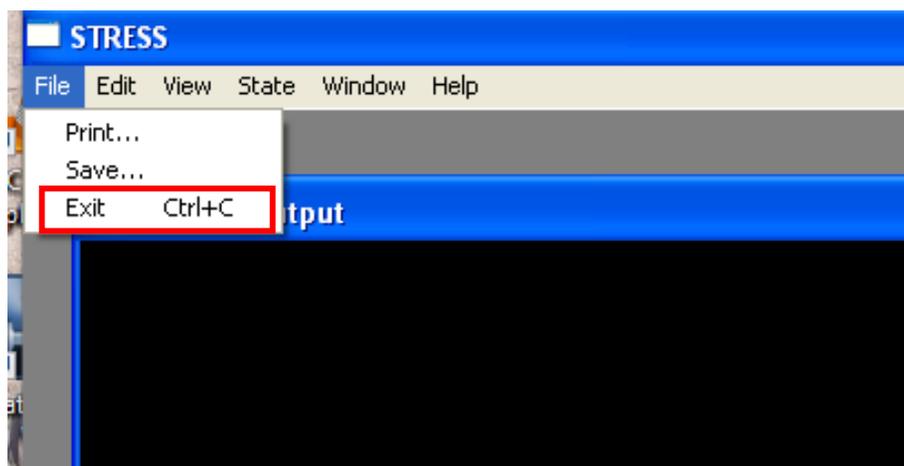


Fuente: Software Everstress

El software empezara a procesar y analizar todos los datos, por lo que se recomienda esperar un tiempo entre 1 a 5 minutos dependiendo de la cantidad de numero de cargas y puntos de evaluación.

Terminando la espera del análisis de los datos, se sale de la opción de análisis presionando la opción File y luego Exit que está en la parte superior izquierda. Como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°33. Salida del análisis

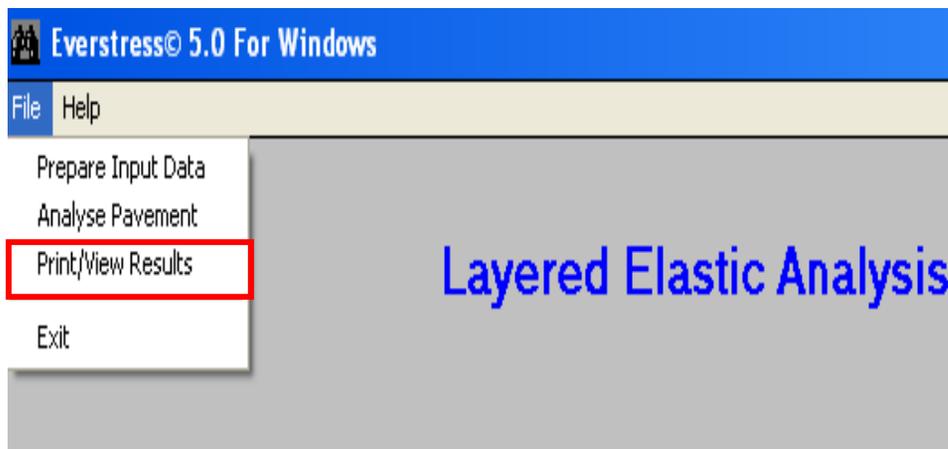


Fuente: Software Everstress

3.9. Imprimir y ver resultados del software Everstress

Se presiona la opción Print/View Results que se encuentra en la parte superior izquierda como se muestra en la siguiente gráfica:

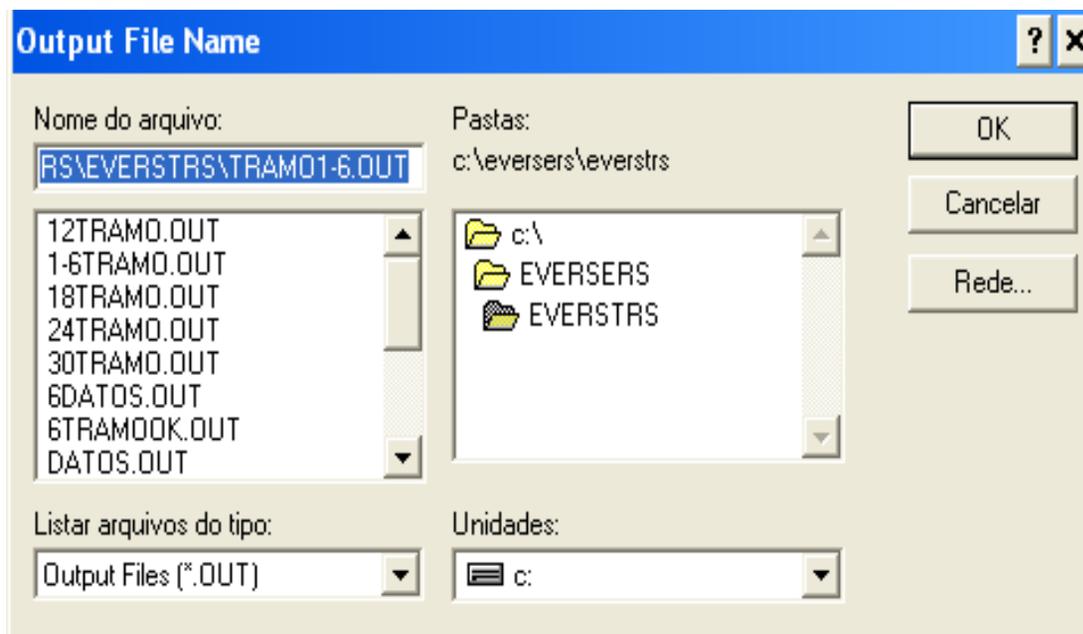
Gráfica N°34. Imprimir / Ver resultados



Fuente: Software Everstress

Seleccionamos el nombre del archivo que analizamos y presionamos la opción ok, como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°35. Selección del archivo para ver los resultados



Fuente: Software Everstress

Finalmente se visualizara los resultados como se muestra en la siguiente gráfica.

Gráfica N°36. Visualización de resultados

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0 - C:\EVERSERS\EVERSTRS\16.OUT

Options

Layered Elastic Analysis by Everstress© 5.0

Title: TRAMO 1-6
No of Layers: 4
No of Loads: 6
No of X-Y Evaluation Points: 6

Layer	Poisson's Ratio	Thickness (in)	Moduli(1) (ksi)	Moduli(2) (ksi)	Multiplier (ksi)	Power
1	.35	3.930	257.34			
2	.30	7.090	128.67	37.71	23.29	.530
3	.30	11.810	83.63	22.19	23.29	.530
4	.30		55.70	19.17	23.29	.530

Load No	X-Position (in)	Y-Position (in)	Load (lb)	Pressure (psi)	Radius (in)
1	.00	.00	15432.3	141.12	5.900
2	.00	1873.23	18801.4	153.64	5.900
3	.00	3746.46	18170.5	166.15	5.900
4	.00	5619.69	19539.5	178.67	5.900
5	.00	7492.92	20908.6	191.19	5.900
6	.00	9366.15	22277.7	203.71	5.900

No of Iteration: 11
Maximum Error in Modulus: .1

Location No: 1
X-Position (in): .000
Y-Position (in): .000

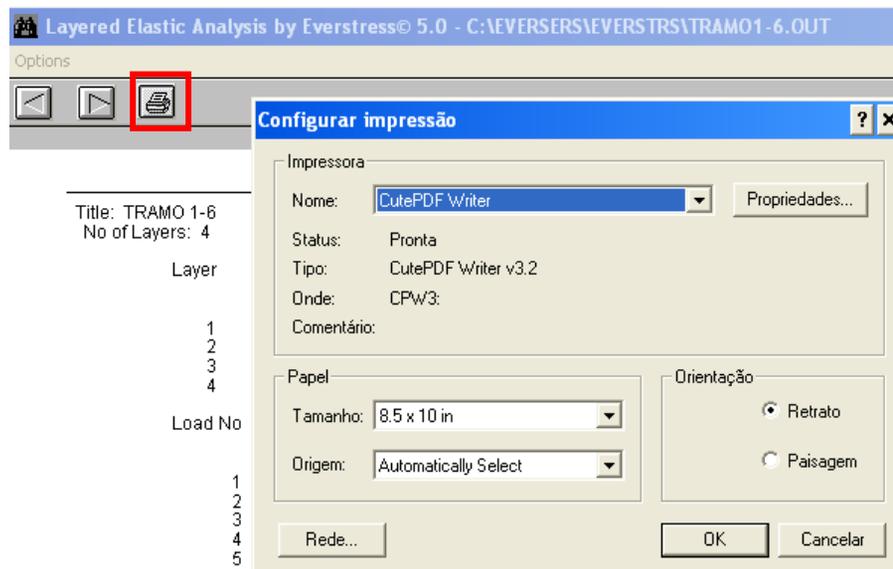
Z-Position (in)	Layer	Normal Stresses					
		Sxx (psi)	Syy (psi)	Szz (psi)	Syz (psi)	Sxz (psi)	Sxy (psi)
3.929	1	169.17	169.18	-76.42	.00	.00	.00

Fuente: Software Everstress

Los valores de todos los resultados los podemos encontrar en anexo 4.

Para poder imprimir los resultados vamos al icono de impresión que se encuentra en la parte superior y seleccionamos la impresora que está conectada o simplemente guardarla en formato pdf en la ubicación que deseamos y presionamos la opción Ok, como se muestra en la siguiente gráfica:

Gráfica N°37. Impresión de resultados.



Fuente: Software Everstress

3.10. Resultados

El software proporciona varios resultados que puede proporcionar información sobre el comportamiento del pavimento, pero de los principales a considerar son:

- Deformación horizontal normal (U_x).
- La deformación horizontal normal (U_y).
- La deformación vertical normal (U_z).

Estas deformaciones lo calcula en la parte inferior de la carpeta asfáltica, en la mitad de la capa base, capa media de la sub-base y en la capa superior de la subrasante.

Debido a la cantidad de resultados obtenidos se realizó una tabla resumen de los resultados más relevantes mencionados anteriormente. A continuación se observara la tabla resumen de resultados:

Tabla N°21. Resultados de las deformaciones y deflexiones normales en la capa inferior de la carpeta asfáltica

Deformaciones y deflexiones normales						
Características				Capa inferior de la carpeta asfáltica		
Segmento	Punto	Distancia (in)	Carga (lbf)	U_x (mils)	U_y (mils)	U_z (mils)
1	1	0,0	15432,3	0,000	0,093	31,654
1	2	1873,23	16801,4	0,000	0,056	34,544
1	3	3746,46	18170,5	0,000	0,029	37,371
1	4	5619,69	19539,5	0,000	0,000	40,164
1	5	7492,92	20908,6	0,000	-0,036	42,914
1	6	9366,15	22277,7	0,000	-0,097	45,560
2	7	0,00	23646,8	0,000	0,116	40,968
2	8	1873,23	25015,8	0,000	0,065	43,457
2	9	3746,46	26384,9	0,000	0,030	45,861
2	10	5619,69	27754,0	0,000	-0,005	48,221
2	11	7492,92	29123,0	0,000	-0,048	50,530
2	12	9366,15	30492,1	0,000	-0,119	52,719
3	13	0,00	31861,2	0,000	0,133	48,553
3	14	1873,23	33230,2	0,000	0,072	50,782
3	15	3746,46	34599,3	0,000	0,031	52,909
3	16	5619,69	35968,4	0,000	-0,009	54,985

3	17	7492,92	37337,4	0,000	-0,057	57,005
3	18	9366,15	38706,5	0,000	-0,136	58,892
4	19	0,00	40075,6	0,000	0,148	55,063
4	20	1873,23	41444,7	0,000	0,079	57,108
4	21	3746,46	42813,7	0,000	0,032	59,037
4	22	5619,69	44182,8	0,000	-0,012	60,910
4	23	7492,92	45551,9	0,000	-0,065	62,721
4	24	9366,15	46920,9	0,000	-0,150	64,388
5	25	0,00	48290,0	0,000	0,161	60,624
5	26	1873,23	49659,1	0,000	0,084	62,525
5	27	3746,46	51028,1	0,000	0,033	64,298
5	28	5619,69	52397,2	0,000	-0,015	66,010
5	29	7492,92	53766,3	0,000	-0,072	67,654
5	30	9366,15	55135,3	0,000	-0,163	69,145

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°21 los podemos encontrar en anexo 4.

Tabla N°22. Resultados de las deformaciones y deflexiones normales en la capa media de la base

Deformaciones y deflexiones normales						
Características				Capa media de la base		
Segmento	Punto	Distancia (in)	Carga (lbf)	Ux (mils)	Uy (mils)	Uz (mils)
1	1	0,0	15432,3	0,000	0,093	26,044
1	2	1873,23	16801,4	0,000	0,056	28,436
1	3	3746,46	18170,5	0,000	0,029	30,765
1	4	5619,69	19539,5	0,000	0,000	33,060
1	5	7492,92	20908,6	0,000	-0,036	35,312
1	6	9366,15	22277,7	0,000	-0,096	37,461
2	7	0,00	23646,8	0,000	0,115	33,800
2	8	1873,23	25015,8	0,000	0,065	35,874
2	9	3746,46	26384,9	0,000	0,030	37,862
2	10	5619,69	27754,0	0,000	-0,005	39,807
2	11	7492,92	29123,0	0,000	-0,048	41,702
2	12	9366,15	30492,1	0,000	-0,119	43,476
3	13	0,00	31861,2	0,000	0,132	40,055
3	14	1873,23	33230,2	0,000	0,072	41,919

3	15	3746,46	34599,3	0,000	0,031	43,681
3	16	5619,69	35968,4	0,000	-0,009	45,393
3	17	7492,92	37337,4	0,000	-0,057	47,047
3	18	9366,15	38706,5	0,000	-0,135	48,569
4	19	0,00	40075,6	0,000	0,147	45,430
4	20	1873,23	41444,7	0,000	0,078	47,146
4	21	3746,46	42813,7	0,000	0,032	48,746
4	22	5619,69	44182,8	0,000	-0,012	50,290
4	23	7492,92	45551,9	0,000	-0,065	51,772
4	24	9366,15	46920,9	0,000	-0,150	53,110
5	25	0,00	48290,0	0,000	0,160	50,042
5	26	1873,23	49659,1	0,000	0,084	51,643
5	27	3746,46	51028,1	0,000	0,033	53,116
5	28	5619,69	52397,2	0,000	-0,015	54,528
5	29	7492,92	53766,3	0,000	-0,071	55,872
5	30	9366,15	55135,3	0,000	-0,162	57,063

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°22 los podemos encontrar en anexo 4.

Tabla N°23. Resultados de las deformaciones y deflexiones normales en la capa media de la sub-base

Deformaciones y deflexiones normales						
Características				Capa media de la sub-base		
Segmento	Punto	Distancia (in)	Carga (lbf)	Ux (mils)	Uy (mils)	Uz (mils)
1	1	0,00	15432,3	0,000	0,091	16,931
1	2	1873,23	16801,4	0,000	0,055	18,515
1	3	3746,46	18170,5	0,000	0,028	20,035
1	4	5619,69	19539,5	0,000	0,000	21,522
1	5	7492,92	20908,6	0,000	-0,035	22,966
1	6	9366,15	22277,7	0,000	-0,095	24,306
2	7	0,00	23646,8	0,000	0,114	22,128
2	8	1873,23	25015,8	0,000	0,065	23,526
2	9	3746,46	26384,9	0,000	0,030	24,839
2	10	5619,69	27754,0	0,000	-0,005	26,108
2	11	7492,92	29123,0	0,000	-0,048	27,327
2	12	9366,15	30492,1	0,000	-0,117	28,425

3	13	0,00	31861,2	0,000	0,131	26,199
3	14	1873,23	33230,2	0,000	0,072	27,468
3	15	3746,46	34599,3	0,000	0,031	28,634
3	16	5619,69	35968,4	0,000	-0,009	29,750
3	17	7492,92	37337,4	0,000	-0,057	30,810
3	18	9366,15	38706,5	0,000	-0,134	31,736
4	19	0,00	40075,6	0,000	0,145	29,696
4	20	1873,23	41444,7	0,000	0,078	30,875
4	21	3746,46	42813,7	0,000	0,032	31,937
4	22	5619,69	44182,8	0,000	-0,012	32,943
4	23	7492,92	45551,9	0,000	-0,064	33,888
4	24	9366,15	46920,9	0,000	-0,148	34,688
5	25	0,00	48290,0	0,000	0,158	32,748
5	26	1873,23	49659,1	0,000	0,083	33,859
5	27	3746,46	51028,1	0,000	0,033	34,841
5	28	5619,69	52397,2	0,000	-0,015	35,762
5	29	7492,92	53766,3	0,000	-0,071	36,617
5	30	9366,15	55135,3	0,000	-0,160	37,317

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°23 los podemos encontrar en anexo 4.

Tabla N°24. Resultados de las deformaciones y deflexiones normales en la capa media de la subrasante

Deformaciones y deflexiones normales						
Características				Capa superior de la Subrasante		
Segmento	Punto	Distancia (in)	Carga (lbf)	Ux (mils)	Uy (mils)	Uz (mils)
1	1	0,0	15432,3	0,000	0,091	13,736
1	2	1873,23	16801,4	0,000	0,055	15,036
1	3	3746,46	18170,5	0,000	0,028	16,273
1	4	5619,69	19539,5	0,000	0,000	17,476
1	5	7492,92	20908,6	0,000	-0,035	18,637
1	6	9366,15	22277,7	0,000	-0,094	19,694
2	7	0,0	23646,8	0,000	0,113	18,047
2	8	1873,23	25015,8	0,000	0,064	19,209
2	9	3746,46	26384,9	0,000	0,030	20,285
2	10	5619,69	27754,0	0,000	-0,005	21,318

2	11	7492,92	29123,0	0,000	-0,047	22,301
2	12	9366,15	30492,1	0,000	-0,116	23,162
3	13	0,0	31861,2	0,000	0,130	21,366
3	14	1873,23	33230,2	0,000	0,071	22,427
3	15	3746,46	34599,3	0,000	0,031	23,386
3	16	5619,69	35968,4	0,000	-0,009	24,294
3	17	7492,92	37337,4	0,000	-0,056	25,146
3	18	9366,15	38706,5	0,000	-0,132	25,865
4	19	0,0	40075,6	0,000	0,144	24,218
4	20	1873,23	41444,7	0,000	0,077	25,209
4	21	3746,46	42813,7	0,000	0,031	26,084
4	22	5619,69	44182,8	0,000	-0,012	26,903
4	23	7492,92	45551,9	0,000	-0,064	27,661
4	24	9366,15	46920,9	0,000	-0,147	28,274
5	25	0,0	48290,0	0,000	0,157	26,739
5	26	1873,23	49659,1	0,000	0,083	27,679
5	27	3746,46	51028,1	0,000	0,033	28,492
5	28	5619,69	52397,2	0,000	-0,015	29,242
5	29	7492,92	53766,3	0,000	-0,071	29,926
5	30	9366,15	55135,3	0,000	-0,159	30,456

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°24 los podemos encontrar en anexo 4.

Tabla N°25. Resultados totales de las deformaciones y deflexiones normales de toda la estructura del pavimento.

Deformaciones y deflexiones normales									
Características				Carpeta asfáltica Capa base Capa sub-base Capa subrasante			Carpeta asfáltica Capa base Capa sub-base Capa subrasante		
S e g m e n t o	P u n t o	Distancia (in)	Carga (lbf)	Ux Total (mils)	Uy Total (mils)	Uz Total (mils)	Ux Total (mm)	Uy Total (mm)	Uz Total (mm)
1	2	1873,23	16801,4	0,000	0,167	81,495	0,000	0,004	2,070

1	3	3746,46	18170,5	0,000	0,086	88,171	0,000	0,002	2,240
1	4	5619,69	19539,5	0,000	0,000	94,746	0,000	0,000	2,407
1	5	7492,92	20908,6	0,000	0,107	101,192	0,000	0,003	2,570
1	6	9366,15	22277,7	0,000	0,288	107,327	0,000	0,007	2,726
2	7	0,0	23646,8	0,000	0,345	96,896	0,000	0,009	2,461
2	8	1873,23	25015,8	0,000	0,195	102,857	0,000	0,005	2,613
2	9	3746,46	26384,9	0,000	0,090	108,562	0,000	0,002	2,757
2	10	5619,69	27754,0	0,000	0,015	114,136	0,000	0,000	2,899
2	11	7492,92	29123,0	0,000	0,144	119,559	0,000	0,004	3,037
2	12	9366,15	30492,1	0,000	0,355	124,620	0,000	0,009	3,165
3	13	0,0	31861,2	0,000	0,396	114,807	0,000	0,010	2,916
3	14	1873,23	33230,2	0,000	0,216	120,169	0,000	0,005	3,052
3	15	3746,46	34599,3	0,000	0,093	125,224	0,000	0,002	3,181
3	16	5619,69	35968,4	0,000	0,027	130,128	0,000	0,001	3,305
3	17	7492,92	37337,4	0,000	0,171	134,862	0,000	0,004	3,425
3	18	9366,15	38706,5	0,000	0,405	139,197	0,000	0,010	3,536
4	19	0,0	40075,6	0,000	0,440	130,189	0,000	0,011	3,307
4	20	1873,23	41444,7	0,000	0,235	135,129	0,000	0,006	3,432
4	21	3746,46	42813,7	0,000	0,096	139,720	0,000	0,002	3,549
4	22	5619,69	44182,8	0,000	0,036	144,143	0,000	0,001	3,661
4	23	7492,92	45551,9	0,000	0,194	148,381	0,000	0,005	3,769
4	24	9366,15	46920,9	0,000	0,448	152,186	0,000	0,011	3,866
5	25	0,0	48290,0	0,000	0,479	143,414	0,000	0,012	3,643
5	26	1873,23	49659,1	0,000	0,251	148,027	0,000	0,006	3,760
5	27	3746,46	51028,1	0,000	0,099	152,255	0,000	0,003	3,867
5	28	5619,69	52397,2	0,000	0,045	156,300	0,000	0,001	3,970
5	29	7492,92	53766,3	0,000	0,214	160,143	0,000	0,005	4,068
5	30	9366,15	55135,3	0,00	0,485	163,525	0,00	0,012	4,154

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°25 los podemos encontrar en anexo 4.

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

Tabla N°26. Análisis de resultados de las deformaciones totales en Uz.

S e g m e n t o	P u n t o	Distancia (in)	Carga (lbf)	Software Everstress Total Uz δ (mm)	1 cm = 100 mm < deformación de la carpeta asfáltica 1 cm = 100 mm > insuficiencia del espesor de la base o mala calidad de los agregados	Condición
1	1	0,00	15432,3	1,896	100	Deformación de la carpeta asfáltica
1	2	1873,23	16801,4	2,070	100	Deformación de la carpeta asfáltica
1	3	3746,46	18170,5	2,240	100	Deformación de la carpeta asfáltica
1	4	5619,69	19539,5	2,407	100	Deformación de la carpeta asfáltica
1	5	7492,92	20908,6	2,570	100	Deformación de la carpeta asfáltica
1	6	9366,15	22277,7	2,726	100	Deformación de la carpeta asfáltica
2	7	0,00	23646,8	2,461	100	Deformación de la carpeta asfáltica
2	8	1873,23	25015,8	2,613	100	Deformación de la carpeta asfáltica
2	9	3746,46	26384,9	2,757	100	Deformación de la carpeta asfáltica

2	10	5619,69	27754,0	2,899	100	Deformación de la carpeta asfáltica
2	11	7492,92	29123,0	3,037	100	Deformación de la carpeta asfáltica
2	12	9366,15	30492,1	3,165	100	Deformación de la carpeta asfáltica
3	13	0,00	31861,2	2,916	100	Deformación de la carpeta asfáltica
3	14	1873,23	33230,2	3,052	100	Deformación de la carpeta asfáltica
3	15	3746,46	34599,3	3,181	100	Deformación de la carpeta asfáltica
3	16	5619,69	35968,4	3,305	100	Deformación de la carpeta asfáltica
3	17	7492,92	37337,4	3,425	100	Deformación de la carpeta asfáltica
3	18	9366,15	38706,5	3,536	100	Deformación de la carpeta asfáltica
4	19	0,00	40075,6	3,307	100	Deformación de la carpeta asfáltica
4	20	1873,23	41444,7	3,432	100	Deformación de la carpeta asfáltica
4	21	3746,46	42813,7	3,549	100	Deformación de la carpeta asfáltica
4	22	5619,69	44182,8	3,661	100	Deformación de la carpeta asfáltica
4	23	7492,92	45551,9	3,769	100	Deformación de la carpeta asfáltica
4	24	9366,15	46920,9	3,866	100	Deformación de la carpeta asfáltica

5	25	0,00	48290,0	3,643	100	Deformación de la carpeta asfáltica
5	26	1873,23	49659,1	3,760	100	Deformación de la carpeta asfáltica
5	27	3746,46	51028,1	3,867	100	Deformación de la carpeta asfáltica
5	28	5619,69	52397,2	3,970	100	Deformación de la carpeta asfáltica
5	29	7492,92	53766,3	4,068	100	Deformación de la carpeta asfáltica
5	30	9366,15	55135,3	4,154	100	Deformación de la carpeta asfáltica

Fuente: Elaboración propia

Los valores de la tabla N°26 los podemos encontrar en anexo 4.

De acuerdo a la normativa de la ABC nos indica que cuando la deformación del pavimento es menor a 1cm se debe solamente a la deformación de la carpeta asfáltica, mientras que si el valor es mayor a 1 cm se puede deber a la insuficiencia del espesor de base o a mala calidad de los agregados.

4.1. Estadística descriptiva

Tabla N°27. Valores de la estadística descriptiva

Numero de datos=	30
Deformación máxima =	4,154 mm
Deformación mínima =	1,896 mm
Rango =	2,258 mm
NC =	5,91 clases
NC =	6,00 clases
Ancho de clases =	0,376

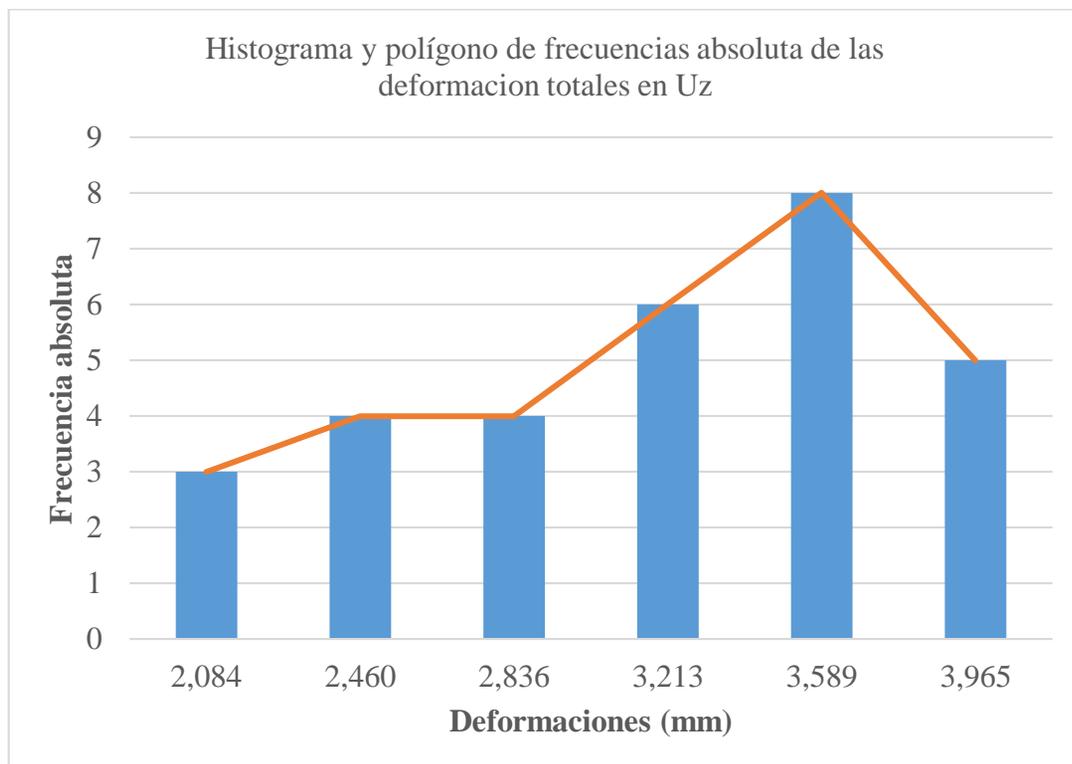
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°28. Datos agrupados de la tabla de Frecuencias

Tabla de frecuencias para las deformaciones totales en Uz					
Intervalo de clase	Marca de Clase (mm)	Frecuencia absoluta	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa (%)	Frecuencia relativa acumulada (%)
[1,896 - 2,272]	2,084	3	3	0,10	0,10
[2,272 - 2,648]	2,460	4	7	0,13	0,23
[2,648 - 3,025]	2,836	4	11	0,13	0,37
[3,025 - 3,401]	3,213	6	17	0,20	0,57
[3,401 - 3,777]	3,589	8	25	0,27	0,83
[3,777 - 4,154]	3,965	5	30	0,17	1,00
		30		1	

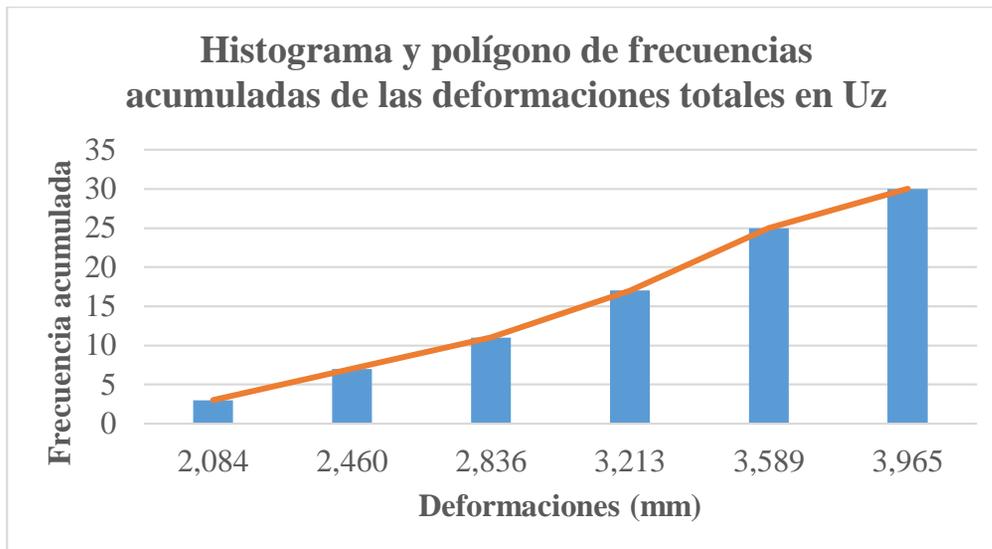
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°38. Histograma y polígono de frecuencias absolutas de las deformaciones totales en Uz



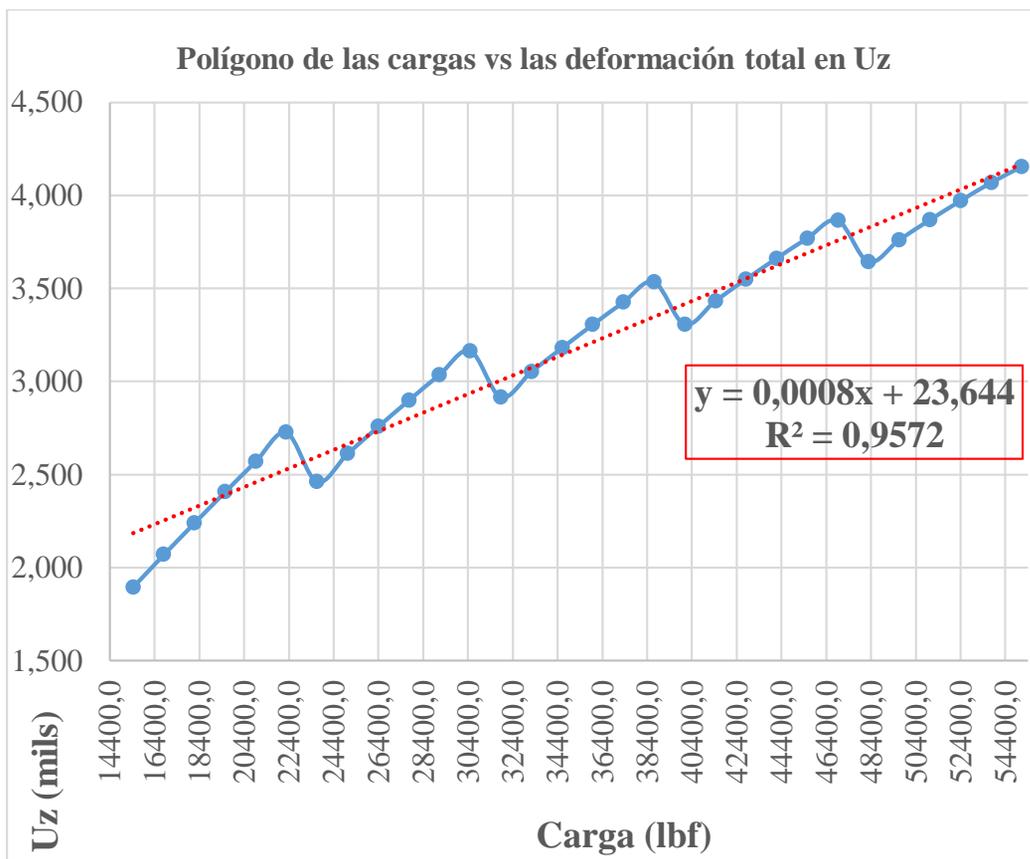
Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°39. Histograma y polígono de frecuencias acumuladas de las deformaciones totales en Uz



Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°40. Polígono de las cargas vs las deformaciones totales en Uz



Fuente: Elaboración propia

4.2. Medidas de tendencia central

Tabla N°29. Medidas de tendencia central

Valores medios (X_m) =	3,177 mm
Mediana (m) =	3,242
Moda (Mo)=	# N/A
Desviación estándar de la muestra (S) =	0,616 mm
Desviación estándar de la población (σ) =	0,605 mm
Relación entre desviaciones (σ) =	0,112
Varianza (σ^2) =	0,013

Fuente: Elaboración propia

4.3. Intervalo de confianza

Tabla N°30. Valores usuales para la prueba de hipótesis

Nivel de confianza (%)	90	95	99
Nivel de significancia (%)	10	5	1
Valor (Z) una sola cola	1,28	1,64	2,32
Valor (Z) dos colas	1,64	1,96	2,57

Fuente: Yurquina, L., (2024). Criterios de investigación en Ingeniería Civil

$$\mu = \bar{x} \pm z \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Tabla N°31. Valores del intervalo de confianza superior e inferior

Límite superior :	3,180 mm
Límite inferior :	3,173 mm

Fuente: Elaboración propia

$$3,180 \leq \bar{x} \leq 3,173$$

Indicando que si alguien en un futuro desea medir las deformaciones del lugar de estudio de este proyecto, los valores no tendrán que salir de este intervalo de confianza calculado.

4.4. Prueba (Z) para una sola muestra independiente.

Variable calculada:
$$ZC = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

Parámetros:

Tabla N°32. Parámetros para la prueba Z

Valores medios (\bar{x}) =	3,177 mm
Media poblacional (μ) =	10,00 mm
Desviación estándar de la población (S) =	0,616 mm
Tamaño de los datos observados (n) =	30

Fuente: Elaboración propia

Si:
$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Entonces:
$$ZC = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\frac{\sqrt{n}}{\sqrt{n}}}}$$

Zc=	-322,460
------------	----------

Zc=	-332,460
NC =	95%
α =	5%
Zt =	1,64

$$Z = Zt$$

Si $Zc > Z$ entonces H_0 debe rechazarse

$-322,460 > 1,64$ no hay rechazo de H_0 (**FALSO**)

H_0 no se rechaza $\rightarrow H_1$ si se rechaza

La hipótesis de investigación alternativa es rechazada. Por lo tanto, al estar asociada con la hipótesis de investigación es también rechazada.

4.5. Descripción real de tramo

Considerando los resultados se puede observar que el estado actual del tramo en estudio se encuentra en óptimas condiciones, es decir sin fallas de gran consideración que requieran reparaciones o mantenimiento.

Al obtener que la hipótesis es falsa, nos indica que el tramo está en perfectas condiciones.

Al tener un crecimiento en la población de la ciudad de Tarija implica un implementación de mayor tráfico vehicular, es por eso que de acuerdo al crecimiento vehicular de acuerdo al INE desde el 2011 al 2023 creció entre un 9,9%, es decir que aproximadamente el año 2035 tendrá un crecimiento más o menos un de 9,9 pronosticando valores de deformaciones aumentadas, pero sin embargo aun aumentando el tráfico vehicular se estima que no presentara fallas de gran consideración y se encontrara aun en condiciones óptimas.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se ha cumplido con el objetivo general de “Analizar las deformaciones en el pavimento flexible de la Avenida General de San Martín Miguel de Güemes y Calle Hermanos Uriondo; considerando la aplicación con el software Everstress, para establecer las posibles causas según la normativa vigente de la ABC”.
- Se ha ubicado el tramo de estudio dentro del área urbana de la ciudad de Tarija, que fue el tramo desde el Puente San Martín hasta el Puente Peregrino.
- Se ha realizado el objetivo específico de realizar los ensayos correspondientes al tramo de estudio dentro del laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, dando unos resultados de CBR en la capa base de un 85,78%, sub-base de un 55,65% y la subrasante de 37,13% y una clasificación de suelo del tipo A-1-a₍₆₎ para la capa base, sub-base y subrasante.
- Si se procesó toda la información del tramo de estudio con el software Everstress.
- Se realizó el análisis de las deformaciones obtenidos con el software Everstress dando valores tanto en U_x, U_y y U_z donde los valores más importantes al momento de realizar el análisis de la deformación es en U_z dando una deformación total mínima de 1,896 mm para una carga de 7 Ton y una deformación máxima de 4,154 para una carga de 45 Ton.
- Se determinó las posibles causas de las deformaciones de acuerdo a los resultados obtenidos con el software Everstress que en todos los casos fueron menores a 1cm es decir que las deformaciones son solamente en la carpeta asfáltica esto puede ser debido a la baja estabilidad de la carpeta, por exceso de asfalto o deficiencias en la granulometría.
- Observando el tramo de estudio podemos decir que las deformaciones que recibe a diferentes cargas no ocasionan una falla significativa, es decir que el tramo de estudio se encuentra en óptimas condiciones.
- Como bien sabemos que a mayor carga existen mayores deformaciones y deflexiones en los pavimentos flexibles, con el software observamos de igual

forma en los resultados obtenidos que a mayor carga existen mayores deformaciones es por eso que podemos concluir que el software realiza los cálculos de manera efectiva.

- Las deformaciones en la capa inferior de la carpeta asfáltica es la que mayor deformación lleva al momento de recibir las cargas, mientras que la capa superficial de la subrasante se lleva menores deformaciones, es decir que la carpeta asfáltica está cumpliendo su función de recibir las cargas y distribuir las cargas de forma homogénea de manera que la capa subrasante no sufra mayores deformaciones significativas.
- Con el software Everstress si se reduce el tiempo al analizar los datos, procesarlos y obtener resultados de manera efectiva en un tiempo corto.

5.2. Recomendaciones

- Se debe verificar que el pavimento en estudio sea de pavimento flexible de no más de 5 capas, porque el software Everstress es solo para pavimentos flexibles y tiene un límite de estudio para un paquete estructural de 5 capas.
- Es importante realizar los ensayos de caracterización de los materiales con el debido cuidado, ya que estos afectaran directamente en los resultados que nos proporciona el software Everstress.
- Al momento de colocar datos al software especialmente en las cargas o en las posiciones de los puntos de evaluación X, Y y Z, se recomienda trabajar hasta con valores de 6 dígitos esto tanto en unidades metric o Us units que tiene de opciones el software, si los datos son demasiados grandes se recomienda totalmente trabajar en unidades Us units y de igual forma colocando como máximos valores de 6 dígitos, esto no significa que el software no pueda hacer el análisis de los datos, sino que simplemente al momento de visualizar los resultados y saldrán como varios asteriscos, es por eso que es preferible utilizar 6 dígitos como máximo.
- Para los valores de posiciones de Z que nos da el software de manera automática se recomienda dejarlos con los valores proporcionados, debido a que el programa ya define los puntos donde realmente se realizara el análisis de las deformaciones que realmente son importantes para el pavimento flexible.