

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Durante la ejecución de explanaciones suelen presentarse sectores con capacidad de soporte insuficiente y que no han sido contemplados en los estudios. Estos tramos requieren de mejoramientos de subrasante, los cuales, al no haber sido considerados en el presupuesto inicial de la obra, generan presupuestos adicionales. En este contexto, esta investigación propone innovar el procedimiento para dimensionar el espesor de las capas de subrasante mejorada por medio del reemplazo de suelos de mejor calidad, asimismo, garantizar el adecuado comportamiento del pavimento en el periodo de diseño.

Este trabajo plantea un procedimiento analítico o mecanístico calibrado para suelos limo-arcillosos. El procedimiento se basa en obtener el Módulo Resiliente del suelo de fundación y subrasante mejorada. Estos valores son obtenidos por retrocálculo en base a los resultados de deflectometría por impacto (FWD) y el análisis mecanístico de esfuerzos y deformaciones en el pavimento. Con procedimiento se busca que el módulo resiliente del sistema suelo-subrasante mejorada resulte similar al módulo resiliente del suelo de fundación considerado en el diseño del pavimento. Este procedimiento esta calibración para tramos de prueba con diferentes espesores de remplazo para suelos similares y luego midiendo las deflexiones en campo sobre la subrasante natural y sobre la subrasante mejorada. Esto permite cuantificar la influencia del espesor del mejoramiento en el módulo resiliente en los diferentes tramos con diferentes espesores de subrasante mejorada. Para la aplicación práctica se plantea un procedimiento simplificado de cálculo en base a deflexiones y características del suelo natural. Este enfoque puede ser extendido a otros tipos de suelos; previa calibración de acuerdo al tipo de suelo, condiciones de humedad y estructura del pavimento.

1.2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.2.1.- JUSTIFICACIÓN

La aplicación de métodos mecanístico calibrado para la determinación de espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos es para poder innovar el procedimiento para dimensionar el espesor de las capas de subrasante mejorada por medio del reemplazo de suelos de mejor calidad empleando metodologías racionales que permitan optimizar los recursos empleados, asimismo para garantizar el adecuado comportamiento del pavimento en el periodo de diseño.

La justificación del presente trabajo es la de incorporar y tomar en cuenta en los diseños de carreteras la aplicación de métodos mecanístico calibrado para la determinación de espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos de acuerdo de las recomendaciones de la guía AASHTO (2008).

Lo que se pretende resolver con la aplicación de métodos mecanísticos calibrados es poder determinar el espesor de la subrasante mejorada para los suelos limo-arcillosos.

Los resultados de este estudio serán de gran utilidad para los diseñadores de carreteras, ya que con esta información podrán encontrar los espesores de la subrasante mejorada para suelos limo-arcillosos más fácilmente utilizando estos métodos mecanísticos.

Las experiencias que se adquieren aplicando los métodos mecanísticos calibrados sirven para hacer un mejor pavimento encontrando los espesores correctos para la subrasante en los suelos limo-arcillosos.

El presente trabajo significara un aporte académico importante porque su estudio ya que no se encuentra en materias académicas de la carrera de ingeniería civil para poder ampliar los conocimientos académicos de estudiantes que puedan acceder a este documento. Con la aplicación de métodos mecanísticos calibrado para la determinación de espesor de la subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos será un aporte de un documento de consulta para la universidad.

1.3.- OBJETIVOS

1.3.1.- OBJETIVO GENERAL

Determinar la aplicación de métodos mecanísticos calibrados para la obtención del espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos

1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar los tipos de pavimentos y la subrasante mejorada para suelos limo-arcillosos para obtener una mejora en las propiedades estructurales del pavimento.
- Estudiar y apropiar el manejo del programa Kenpav.
- Realizar la recolección de materiales de un determinado tramo para llevarlos al laboratorio y ejecutar los ensayos en laboratorio para clasificar el suelo seleccionado.
- Obtener muestras de los materiales de subrasante mejorada den suelos limo-arcillosos para la realización de los ensayos.
- Realizar la caracterización de los materiales para utilizarlos en la aplicación.

- Dimensionar y aplicar de la subrasante mejorada con la aplicación del método mecanístico.
- Determinar los resultados obtenidos con la aplicación de métodos mecanísticos para encontrar los diferentes espesores de la subrasante mejorada para los suelos limo-arcillosos.
- Establecer las recomendaciones y las especificaciones en la aplicación de métodos mecanísticos calibrado para la determinación de los espesores de la subrasante mejorada en este tipo de suelos mencionados.

1.4.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.4.1.- SITUACIÓN PROBLEMICA

Debido a los diferentes problemas que sufren los pavimentos en todas las carreteras de nuestro país que aparecen con fallas , los deterioros, los asentamientos, las deflexiones en los pavimentos esto debido por el exceso de las cargas, por los malos materiales que se utilizan, por la falta de la construcción de un asfalto, por los años de vida útil que ya haya tenido ese pavimento, por las bajas estructuras, por varios problemas más que tienen los pavimentos y por una de ellas y en si casi la más importante puede ser por la falta de estructura que se tienen en los pavimentos.

Buscamos alternativas de solución para que estas ocurrencias de los problemas de las fallas, los deterioros, los asentamientos, las deflexiones en los pavimentos y las faltas de estructuras que se tienen en los pavimentos de todo el país, ya que no los vamos a eliminar completamente todos esos problemas que existen por lo menos vamos a bajar la intensidad a través de algunos mecanismos o formas constructivas diferentes.

En este caso particular aplicando métodos mecanísticos calibrado para la determinación del espesor de la subrasante mejorada en los suelos limo-arcillosos se busca tratar de solucionar la falta de estructura en las carreteras donde se encuentren

los suelos limo-arcillosos ya que lo que más se dificulta es encontrar los espesores correctos para la construcción del pavimento.

También se tiene que ver si el suelo es bueno o si se necesita reemplazarlo por otro de mejor calidad o sino hacer mejorar la subrasante y encontrar esos espesores correctos para la aplicación de las diferentes capas de los pavimentos, esto de encontrar los valores correctos o las alturas correctas de las capas del pavimento es lo que más se dificulta y se tiene que hacer muchas veces para dar con los valores correctos para dar con buenas capas para los pavimentos.

1.4.2.- PROBLEMA

¿Será que con la aplicación de métodos mecánicos calibrados para la determinación de espesor de la subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos nos permita un dimensionamiento?

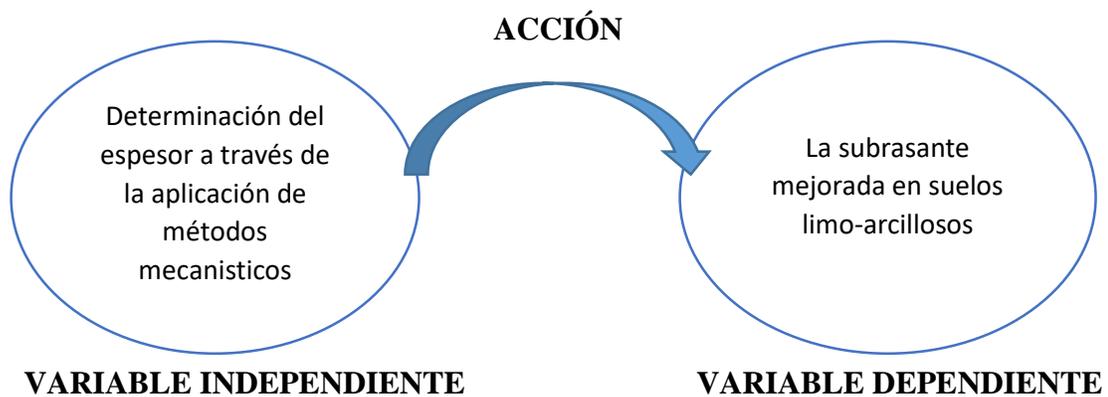
1.5.- VARIABLES

1.5.1.- VARIABLE INDEPENDIENTE

La variable independiente es la “Determinación del espesor a través de la aplicación de métodos mecánicos”

1.5.2.- VARIABLE DEPENDIENTE

La variable dependiente es “La subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos”



LA ACCIÓN es la aplicación de métodos mecanísticos calibrados

1.6.- ALCANCE

El presente trabajo se realizará una aplicación de métodos mecanísticos para la determinación de la subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos existentes en las obras viales.

El tema planteado se hará una introducción, la justificación, los objetivos, el planteamiento del problema y el alcance. Luego veremos los aspectos generales de las capas del pavimento donde se verá las generalidades, los tipos de pavimento que existen, las funciones de estas capas de los pavimentos, los factores que se tienen que utilizar, la subrasante sus especificaciones mínimas, sus propiedades, la evaluación y su mejoramiento. Veremos los métodos mecanísticos para la determinación de espesor que se utilizaran en el presente trabajo, luego realizare la ubicación, las características, la obtención de las muestras de los diferentes tramos en estudio, la caracterización de los materiales de la subrasante y sus respectivos ensayos de laboratorio para todos los tramos en estudio, aplicaremos los métodos mecanísticos y se obtendrán los resultados y hare su respectivo análisis de esos resultados obtenidos, y concluyendo este presente trabajo hare las conclusiones con los resultados obtenidos y sus respectivas recomendaciones para este presente trabajo realizado.

1.7.- DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1.- COMPONENTES

1.7.1.1.- UNIDAD

La unidad de estudio del presente trabajo son las subrasantes mejoradas en los suelos limo-arcillosos.

1.7.1.2.- POBLACIÓN

La población es la subrasantes mejoradas de los suelos limo-arcillosos de cuyos espesores se van a determinar por medio de métodos mecánicos.

1.7.1.3.- MUESTRA

La muestra son los materiales de subrasante mejorada de suelos limo-arcillosos que van a ser determinados los espesores por medio de métodos mecánicos de los tramos Santa Ana – Yesera, Tolomosa – Pampa Redonda, Pampa Redonda – Tunal, Puente Jarcas – Junacas, Junacas – Piedra Larga y Tunal - Alisos que se sacarán las muestras cada 500 metros donde se obtendrán tres muestras, estas muestras sirven para realizar las pruebas necesarias de laboratorio con el fin de definir el tipo de suelo con más exactitud.

1.7.1.3.1.- MUESTREO

Se van a obtener muestras de los tramos Santa Ana – Yesera, Tolomosa – Pampa Redonda, Pampa Redonda – Tunal, Puente Jarcas – Junacas, Junacas – Piedra Larga y Tunal - Alisos de la siguiente manera:

Se sacarán tres muestras de cada tramo a cada 500 metros en lo posible, se obtendrán 25 kg de cada tramo en estudio. Estas muestras se obtendrán cavando con pico y pala y depositándolo en costales diferentes con sus respectivos nombres para posteriormente llevarlos al laboratorio para realizar los ensayos correspondientes.

1.8.- MÉTODOS Y TÉCNICAS

Métodos

Método Deductivo-Inductivo

El método deductivo es un método científico que considera que la conclusión se halla implícita dentro las premisas. Esto quiere decir que las conclusiones son una consecuencia necesaria de las premisas: cuando las premisas resultan verdaderas y el razonamiento deductivo tiene validez, no hay forma de que la conclusión no sea verdadera.

El método inductivo o inductivismo es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro; la clasificación y el estudio de estos hechos; la derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización; y la contrastación.

En el presente trabajo el método utilizado es el método deductivo-inductivo por lo que se utilizaran fórmulas matemáticas lo que vendría a ser lo deductivo y lo

inductivo es donde se a inducir en un suelo limo-arcilloso de una cierta calidad donde tendrá un determinado espesor, es decir, a menor calidad mayor va a ser el espesor es lo que se va a inducir, por esta razón se utiliza el método deductivo-inductivo.

Técnicas

En el presente trabajo se utilizarán dos tipos de técnicas:

1.- La técnica experimental que se realizara en el laboratorio esto a través de diferentes ensayos de los cuales se van a obtener todos los resultados para aplicarlos en el método mecanicista.

2.- La técnica donde se utilizará una metodología de cálculo que vendría a ser el método mecanicista donde se realizaran cálculos procedimentales, con todos los valores obtenidos en los ensayos realizados se procederá con la aplicación de los métodos mecanicistas.

PROCEDIMIENTO METODOLOGICO



Proceso Metodológico

Ubicación De Los Tramos

Los tramos para el presente trabajo se ubicarán en el departamento de Tarija en la provincia Cercado, Avilés y O'Connor y estos tramos serán Santa Ana – Yesera,

Tolomosa – Pampa Redonda, Pampa Redonda – Tunal, Puente Jarcas – Junacas, Junacas – Piedra Larga y Tunal - Alisos que se obtendrán las muestras cada 500 metros.

Obtención De Las Muestras

Se obtendrán tres muestras de cada tramo escogido cada 500 metros en lo posible, se realizará la obtención de las muestras con pico y pala depositándolo en un costal con su respectivo nombre de cada tramo que se extraiga la muestra.

Caracterización De Las Muestras

Se hará la caracterización de las muestras en el laboratorio de cada tramo del que se obtuvieron las muestras como ser: análisis granulométrico, límites de consistencia, compactación y CBR.

Aplicación Del Método Mecánico

Teniendo la caracterización de las muestras y con los resultados obtenidos en el laboratorio aplicaremos los métodos mecánicos, teniendo estas fórmulas para ya reemplazarlas con los resultados obtenidos en el laboratorio para así poder determinar el espesor de la subrasante mejorada de los suelos limo-arcillosos.

Obtención De Resultados

Con la aplicación de los métodos mecánicos obtendremos los resultados esperamos que sean los más adecuados para el presente trabajo.

Análisis De Resultados

Haremos un análisis de todos los resultados obtenidos de la realización del laboratorio y se verá si llegamos al objetivo principal de este presente trabajo.

1.9 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

En el presente trabajo se va a utilizar la estadística descriptiva de tendencia central donde esta lo siguiente:

Media Aritmética

La media aritmética de n valores, es igual a la suma de todos ellos dividida entre n . Se denota por \bar{x} . Esto es:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Cuando los datos tienen más de una frecuencia, para obtener la media aritmética se agrega otra columna a la tabla estadística con el producto de las observaciones y sus frecuencias. Es decir, si se cuenta con una distribución de datos entonces se aplica la fórmula:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n f \cdot x_i}{n}$$

Las características de la media aritmética son:

1. Es una medida totalmente numérica o sea sólo puede calcularse en datos de características cuantitativas.
2. En su cálculo se toman en cuenta todos los valores de la variable.
3. Es lógica desde el punto de vista algebraico.
4. La media aritmética es altamente afectada por valores extremos.
5. No puede ser calculada en distribuciones de frecuencia que tengan clases abiertas.

6. La media aritmética es única, o sea, un conjunto de datos numéricos tiene una y sólo una media aritmética.

Mediana

La mediana es el punto central de una serie de datos ordenados de forma ascendente o descendente.

De acuerdo al número de casos o datos, hay dos formas para calcular la mediana: para número impar y para número par:

Número impar de datos ordenados de menor a mayor o de mayor a menor: la mediana es el valor que queda justo al centro.

Las características de la mediana son:

1. En su cálculo no se incluyen todos los valores de la variable.
2. La Mediana no es afectada por valores extremos.
3. Puede ser calculada en distribuciones de frecuencia con clases abiertas.
4. No es lógica desde el punto de vista algebraico.

Moda

La moda de un conjunto de datos numéricos es el valor que más se repite, es decir, el que tiene el mayor número de frecuencias absolutas. La moda puede ser no única e inclusive no existir.

La moda es una medida de tendencia central muy importante, porque permite planificar, organizar y producir para satisfacer las necesidades de la mayoría.

Las características de la moda son:

1. En su cálculo no se incluyen todos los valores de la variable.

2. El valor de la moda puede ser afectado grandemente por el método de designación de los intervalos de clases.
3. No está definida algebraicamente.
4. Puede ser calculada en distribuciones de frecuencia que tengan clases abiertas.
5. No es afectada por valores extremos.

Media Ponderada

La media ponderada de un conjunto de valores de una variable x a los que se han asignado, respectivamente, una ponderación se calcula mediante la fórmula:

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 + \cdots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \cdots + p_n}$$

Los valores $n, p, p, \dots, p_1, 2, 3$ indican la importancia que se quiere dar a cada uno de los valores que toma la variable x .

Media Geométrica

La media geométrica de un conjunto de n observaciones es la raíz n -ésima de su producto. El cálculo de la media geométrica exige que todas las observaciones sean positivas:

$$\bar{x}_g = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdots x_n}$$

Las características de la media geométrica son:

1. Se toman en cuenta todos los valores de la variable.
2. Es afectada por valores extremos, aunque en menor medida que la media aritmética.
3. Si un dato es cero, su resultado será cero.
4. No puede ser calculada en distribuciones con clase abiertas.
5. Es mayormente usada para promediar tasas de intereses anuales, inflación razones y valores que muestren una progresión geométrica (efecto multiplicativo sobre el de los años anteriores).

Centro De Amplitud

Es el valor que queda en medio de los valores mínimo y máximo. Esto es:

$$C_a = \frac{x_{max} + x_{min}}{2}$$

Desviación Estándar

La desviación estándar o desviación típica se define como la raíz cuadrada de los cuadrados de las desviaciones de los valores de la variable respecto a su media. Esto es:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

La desviación estándar es una medida estadística de la dispersión de un grupo o población. Una gran desviación estándar indica que la población está muy dispersa

respecto de la media. Una desviación estándar pequeña indica que la población está muy compacta alrededor de la media.

Para el caso de datos agrupados, la desviación estándar se calcula por medio de:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f \cdot (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Varianza

La varianza mide la mayor o menor dispersión de los valores de la variable respecto a la media aritmética. Cuanto mayor sea la varianza mayor dispersión existirá y, por tanto, menor representatividad tendrá la media aritmética. La varianza se expresa en las mismas unidades que la variable analizada, pero elevadas al cuadrado.

La varianza de un conjunto de datos se define como el cuadrado de la desviación estándar y está dada por:

$$v = \sigma^2$$

Coefficiente De Variación

Cuando se quiere comparar el grado de dispersión de dos distribuciones que no vienen dadas en las mismas unidades o que las medias no son iguales se utiliza el coeficiente de variación de Pearson que se define como el cociente entre la desviación estándar y el valor absoluto de la media aritmética:

$$\% CV = \frac{\sigma}{x} \cdot 100$$

Este coeficiente, representa el porcentaje que la desviación estándar contiene a la media aritmética y por lo tanto cuanto mayor es CV mayor es la dispersión y menor la representatividad de la media.

CAPITULO II

ASPECTOS GENERALES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO

2.1.- GENERALIDADES

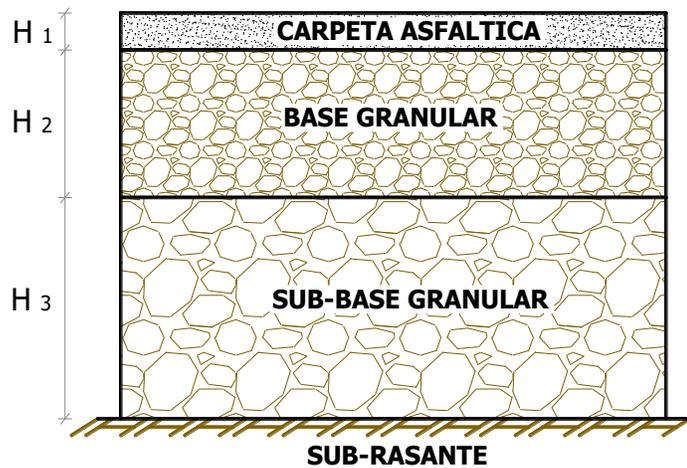
2.1.1.- DEFINICIÓN DE PAVIMENTOS

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y constituyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. Un pavimento debe cumplir adecuadamente sus funciones deben reunir los siguientes parámetros:

- ❖ Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- ❖ Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- ❖ Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- ❖ Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal, que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- ❖ Debe ser durable.
- ❖ Debe ser económico.
- ❖ El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior, que influyen en el entorno, deber ser adecuadamente moderado.

- ❖ Deber poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito

Figura 1. Estructura Del Pavimento



Fuente: Firmes y Explanaciones

2.2.- TIPOS DE PAVIMENTOS

En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, semirrígido, rígidos y articulados.

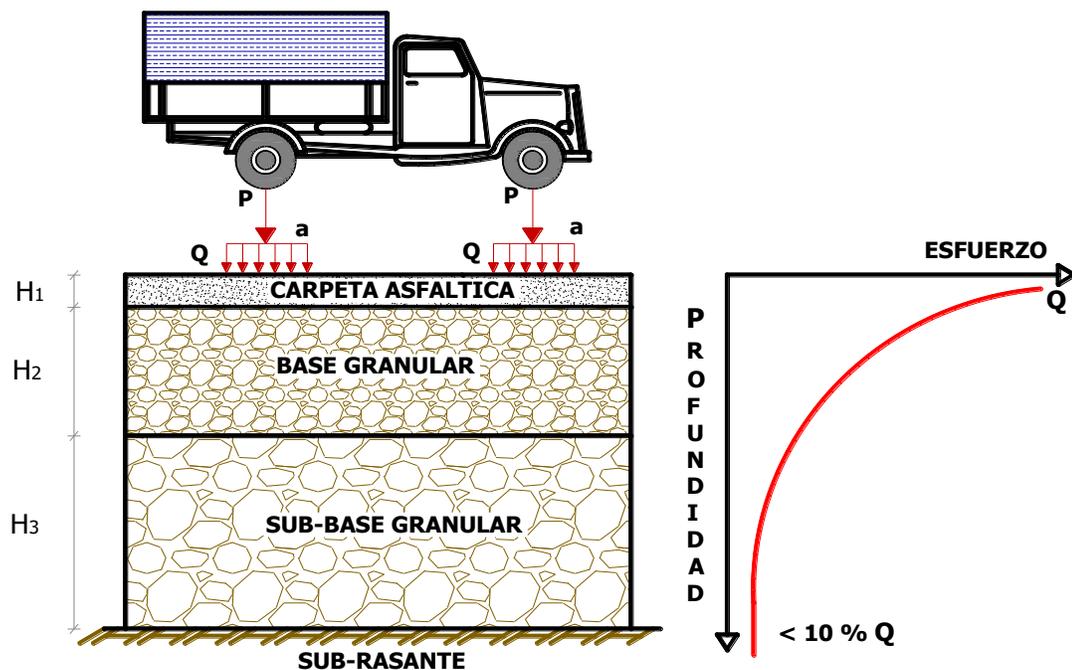
2.2.1.- PAVIMENTOS FLEXIBLES

Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, (Base granular y Sub-base granular). Las cuales transmiten los esfuerzos al terreno de soporte, mediante un mecanismo de disipación de tensiones, presiones que van disminuyendo en su magnitud, con la profundidad. Este tipo de pavimento, presenta las siguientes particularidades:

- ❖ Las capas granulares, se colocan para disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

- ❖ Se considera que los esfuerzos se han disipado, cuando el esfuerzo en un punto cualquiera, es menor que el 10% de la presión de contacto.
- ❖ Las magnitudes normales de los Módulos de las capas de esta clase de estructuras, están alrededor de:
 - Carpeta Asfáltica ➡ 25000 Kg/cm²
 - Base Granular ➡ 2000 Kg/cm² a 5000 Kg/cm²
 - Sub-base granular ➡ 1000 Kg/cm² a 3000 Kg/cm²
- ❖ En pavimentos flexibles, apoyados sobre Sub-rasante fina, por ningún motivo, se debe omitir la Sub-base Granular

Figura 2. Mecanismo De Disipación De Tensiones En Pavimentos Flexibles



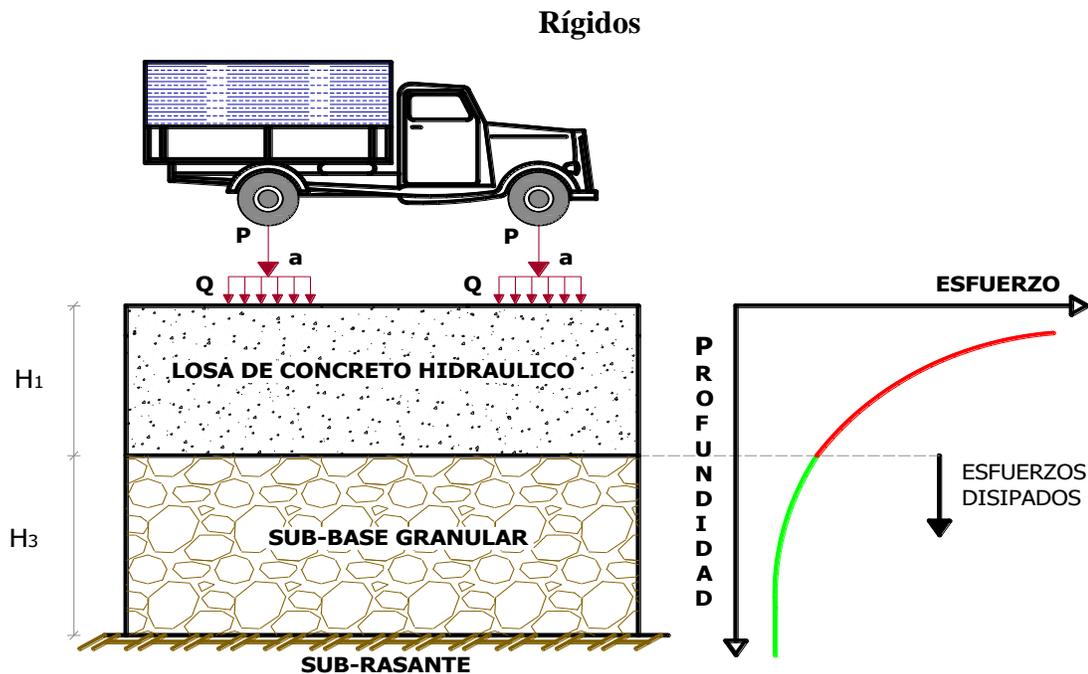
Fuente: Firmes y Explanaciones

2.2.2.- PAVIMENTO RÍGIDO

Constituido por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

- ❖ La losa, es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento.
- ❖ La sub-base granular, debe dar a la losa un apoyo óptimo a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad.
- ❖ La deformación de la sub-base granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino, produciendo la des compactación del apoyo y su erosión.
- ❖ Una forma de disminuir considerablemente el efecto erosivo producido por el tránsito en el apoyo, es utilizar una base asfáltica para esta función.

Figura 3. Mecanismo De Distribución De Esfuerzos En Pavimentos

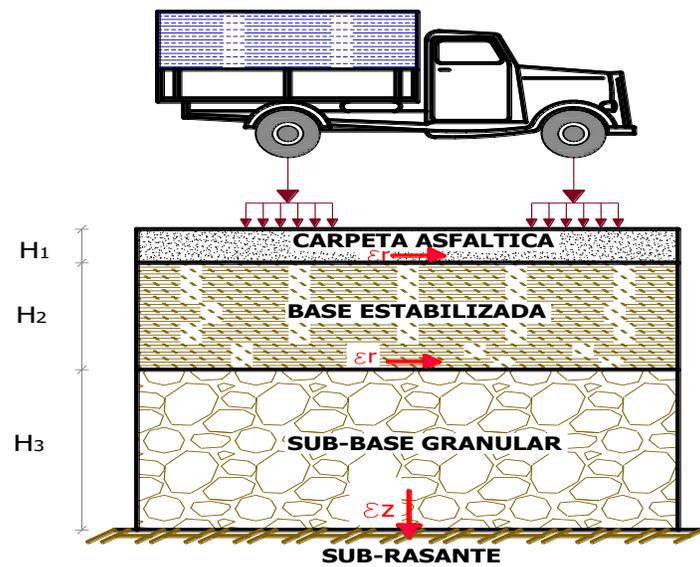


Fuente: Firmes y Explanaciones

2.2.3.- PAVIMENTO SEMIRRÍGIDO

Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción.

Figura 4. Mecanismo De Disipación De Tensiones En Pavimentos Semirrígidos



Fuente: Firmes y Explanaciones

2.3.- FUNCIONES DE LAS CAPAS DE LOS PAVIMENTOS

Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Flexibles

Sub-Base Granular

- Economía con respecto a la base y al concreto asfáltico.
- Transición entre materiales de distinta calidad.
- Control de deformaciones, absorbiendo los cambios volumétricos de la sub-rasante.
- Debido a su distribución granulométrica, sirve para romper la capilaridad ayudando a mantener un buen drenaje en la estructura.
- Presenta muy poco aporte estructural, debido a las características de forma, textura y gradación de sus partículas.

Base Granular

- Es de gran aporte estructural, debido a las características de gradación y trituración de sus partículas (finos no plásticos).
- Economía con respecto a la carpeta asfáltica.
- Buen drenaje, debido a que presenta pocos finos.
- Sirve como rodadura provisional.

Riego De Imprimación

- Adherir la base granular a la carpeta asfáltica.
- Impermeabilizar la interface entre la carpeta asfáltica y la base granular.

Carpeta Asfáltica

- Da la resistencia a la tracción en la estructura.

- Al ser “impermeable”, evita que el agua ingrese a la estructura del pavimento, junto con el bombeo y el peralte de la calzada.
- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito (concepción del usuario); se controla con el I.R.I.

Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Rígidos

Sub-Base Granular

- Controlar el fenómeno del bombeo.
- Servir como transición.
- Proporcionar apoyo uniforme y estable en el tiempo a la losa de concreto; se controla mediante el análisis de erosión, durante el diseño de la estructura.

Losa De Concreto Hidráulico

- Su principal función es el aporte estructural, ya que, del paquete de la estructura, es el único elemento que da resistencia. El parámetro de diseño, es el módulo de rotura.
- Proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito.
- Impermeabiliza la estructura del pavimento, aunque se debe ser muy estricto en el procedimiento de sellado de juntas.

Juntas

- Controlar el agrietamiento del concreto simple, por efectos de retracción, expansión y alabeo.
- Facilitar la construcción de la estructura de la vía.

Funciones De Las Capas De Los Pavimentos Semi-Rígidos

Capa Estabilizada

- Su función principal es estructural, es muy resistente a la compresión y, por lo tanto, su parámetro de diseño es la resistencia a la tracción, en la parte inferior de la capa estabilizada.

Otras Capas

- La Base granular, sub-base granular, y la carpeta asfáltica, tienen las mismas funciones de estas capas en los pavimentos flexibles.

2.4.- FACTORES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

El tránsito

Interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por ejes esperados en el carril de diseño solicitado, que determinara la estructura del pavimento de la carretera durante el periodo de diseño adoptado. La repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento son fundamentales para el cálculo. Además, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos y la canalización del tránsito etc.

La subrasante:

De la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que deber tener un pavimento, sea este flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre este, por esta razón cuando se construya un pavimento sobre este tipo de suelos deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal.

El clima:

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimentos rígidos ocasionan en éstas esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas.

2.5.- SUBRASANTE

La Sub-rasante se puede definir como el área de terreno (cabida) sobre la cual se construye la estructura de un pavimento; ya sea para una autopista, vías urbanas y rurales, carreteras o pistas de aeropuertos. Esto implica tener ya definido un perfil de

rasante del pavimento, que de acuerdo con la estructura que se diseñe del mismo, fija también una línea de proyecto para la sub-rasante. Como toda obra de Ingeniería debe estudiarse su terreno de fundación.

a) Si el terreno de fundación es pésimo, debe desecharse el material que lo compone siempre que sea posible, y sustituirse este por un suelo de mejor calidad.

b) Si el terreno de fundación es malo, habrá que colocar una sub - base de material seleccionado antes de colocar la base.

c) Si el terreno de fundación es regular o bueno, podría prescindirse de la sub - base.

De la calidad de ésta depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen. Los cambios de volumen en un suelo expansivo, pueden ocasionar graves daños a las estructuras que se apoyan sobre éste, por esta razón, al construir un pavimento hay que intentar al máximo controlar las variaciones volumétricas del mismo a causa de la humedad.

Es una parte esencial en el diseño de pavimentos. Tiene la particularidad de otorgar la respuesta estructural y el comportamiento del pavimento en construcción y operación.

La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural, o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como la estabilización mecánica, la

estabilización físico –química con aditivos como el cemento Portland, la cal, el asfalto, entre otras.

Cuadro 1. Materiales Utilizados Subrasantes

0 - Suelos Tolerables	Máx. 25% de Partículas > 15 cm
	LL<40 ó bien LL<65 e IP>0,6 LL -9
	d Proctor normal \geq 1.450 kg/dm
	CBR >3
	Materia Orgánica > 2%
1 - Suelos Adecuados	0 % de Partículas > 10 cm
	< 35 % de Partículas > 0,80 UNE
	LL < 40
	d Proctor normal \geq 1.750 kg/dm
	CBR > 5 Hinchamiento < 2 %
	Materia Orgánica < 1 %
2 - Seleccionados	0 % de Partículas > 8 cm
	< 25 % de Partículas > 0.080 UNE
	LL < 30 IP < 10
	CBR > 10 sin Hinchamiento
	Materia Orgánica 0 %
S-EST1 Suelo Estabilizado in Situ con Cemento ó Cal	CBR de la Mezcla a los 7 días \geq 5
	Contenido de Cemento ó Cal \geq 2 %
S-EST2 Suelo Adecuado Estabilizado in Situ con Cemento ó Cal	CBR de la Mezcla a los 7 días \geq 10
	Contenido de Cemento ó Cal \geq 3 %
S-EST3 Suelo Adecuado Estabilizado in Situ con Cemento	Resistencia a Compresión simple a los 7 días \geq 1.5 MPa

Fuente: Especificaciones www.e-asfalto.com

Cuadro 2. Materiales Utilizables En Subrasantes

SIMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO CORRESPONDIENTE DEL PPTG	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
0	Suelo tolerable	330 Terraplenes	
1	Suelo adecuado	330 Terraplenes	
2	Suelo seleccionado	330 Terraplenes	
3	Suelo seleccionado	330 Terraplenes	CBR > 20
T	Material de la zona de transición en terraplenes	331 Pedraplenes	
S-EST 1	Suelo estabilizado in situ con cemento o cal	511 Suelos estabilizados in situ con cemento 510 Suelos estabilizados in situ con cal	CBR de la mezcla a los 7 días > 5 cemento o cal > 2%
S-EST 2	Suelo estabilizado in situ con cemento o cal	330 Terraplenes 511 Suelos estabilizados in situ con cemento 510 Suelos estabilizados in situ con cal	CBR de la mezcla a los 7 días > 10 cemento o cal > 3%
S EST-3	Suelo estabilizado in situ con cemento	330 Terraplenes 511 Suelos estabilizados in situ con cemento	Resistencia a compresión simple a los 7 días > 1,5MPa

Fuente: CMT. Características De Los Materiales

2.6.- CAPA DE SUB-RASANTE ESPECIFICACIONES MÍNIMAS

De acuerdo a todos los aspectos descritos los materiales de la sub-rasante, de acuerdo al diseño deberán presentar un CBR no menor de 3% en caso de no obtenerse debe acudir al mejoramiento de la sub-rasante, ya sea por adición de otro material o por medio de usos de Geotextiles, Geomallas y Geomembranas si los medios mecánicos no actúan para mejorarlo. Finalmente se puede acudir a medios químicos.

Los materiales deberán estar libres de materia orgánica, deben estar en lo posible en clasificaciones previamente seleccionadas y su compactación debe ser por lo menos el 95% de la densidad máxima proctor estándar y la última capa (entre 15 a 30 cm según el caso), debe ser por lo general mejorada con el 100% de la densidad máxima y cumplir con la humedad óptima, el índice de plasticidad no será superior a un 10% en lo posible. De no lograrse estas condiciones debe buscarse unas especificaciones especiales y métodos no convencionales de construcción.

Cuadro 3. Valores De Calidad Para Materiales De La Capa Subrasante

CARACTERÍSTICA	C A L I D A D				
	DESEABLE		ADECUADA		TOLERABLE
Granulometría Tamaño Máximo (mm)	76		76		76
% Finos (Mat. < 0.074 mm)	25	máx	35	máx	40 máx
Límite Líquido (LL) (%)	30	máx	40	máx	50 máx
Índice Plástico (IP) (%)	10	máx	20	máx	25 máx
Compactación (%) (AASHTO Est.) (1)	100	min	100	+ - 2	100 + - 2
V. R. S. (%) (Compact. dinámica) (2)	30	min	20	min	15 min

Fuente: Manual De Calidad De Los Materiales En Secciones. Estructurales De Pavimentos Carreteros Documento Técnico No. 1 Sanfandila, Qro, 1990

- (1) Con humedad de compactación hasta 3 % mayor a la óptima
- (2) Al porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable la del material en el banco, a 1.5 m de profundidad.

2.7.- PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE

1. Propiedades físicas: son propiedades relacionadas con el tipo de material a utilizar y las características constructivas de los mismos.

- Granulometría (propiedades iniciales de los suelos)
- Clasificación de los suelos
- Relación humedad-densidad

2. Propiedades ingenieriles: dan una estimación de la calidad de los materiales para las vías. La calidad de los suelos para subrasantes se puede relacionar con:

- Módulo resiliente
- Módulo de poisson
- Valor soporte del suelo
- Módulo de reacción de la subrasante (K)

2.8.- EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE

El parámetro más importante para caracterizar la explanada es su capacidad de soporte, el cual es típicamente representado por el valor de CBR (“California Bearing Ratio”) determinado mediante ensayos en el laboratorio del material muestreado (ASTM D1883) o in-situ (ASTM D4429). Se considera la explanada caracterizada

considerando el valor de CBR para los primeros 0.75m a 1.00m, que se definirá como la profundidad de evaluación. Si se considera corte o remoción de parte de la profundidad de la explanada, la profundidad de evaluación deberá de corregirse según sea necesario. En los casos donde se ejecuten los ensayos in-situ donde se estime una diferencia con la condición de saturación típica de los suelos de la explanada, a juicio del Ingeniero, podrá ajustar los valores medidos de CBR a valores de humedad mayores aplicando la siguiente ecuación y tabla:

$$CBR_i = CBR_{campo} - (\Delta\%H_{campo} \cdot F_H)$$

Clasificación Suelo	F_H (reducción CBR / % incremento humedad $\Delta\%H_{campo}$)
Arenas y Gravas	0.2
Limos y Arcillas	1.0
Caliche	1.5

Para definir el CBR representativo de la profundidad de evaluación se podrá utilizar la siguiente ecuación

$$CBR_M = \left[\frac{\sum h_i \times CBR_i^{0.33}}{h_e} \right]^3 \leq 75$$

Donde: CBR_M: Valor representativo de CBR para la profundidad de evaluación.

CBR_i: Valor de CBR determinado con el cono de penetración dinámica (ASTM D6951) y ajustado para la condición de humedad durante su vida útil. En cada caso CBR máximo es 100%, incluyendo estratos rocosos.

h_i : espesor de estrato “i” dentro de la profundidad de evaluación h_e , no menor a 0.20-m, mts.

h_e : espesor de la profundidad de evaluación, entre 0.75-mts. y no mayor a 1.0-mts.

Para esta guía, se considerarán las siguientes categorías de explanadas:

Cuadro 4. Categoría De Explanada

Categoría de Explanada	Valor de CBR
Débil	$CBR_m \geq 5$
Medio	$CBR_m \geq 10$
Resistente	$CBR_m \geq 20$
Muy Resistente	$CBR_m \geq 30$

2.9.- MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE

Sub-rasante mejorada:

Es una capa que tiene mayor capacidad portante que el suelo de fundación. Esta se coloca con la finalidad de reducir los espesores de las capas del pavimento.

Los trabajos de mejoramiento de subrasante deberán efectuarse según procedimientos puestos a consideración del Interventor y aprobados por éste. Su avance físico deberá ajustarse al programa de trabajo.

Si los trabajos de mejoramiento de la subrasante afectaren el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones y cruces con otras vías, el Constructor será responsable de tomar las medidas para mantenerlo adecuadamente.

El suelo de aporte para el mejoramiento se aplicará en los sitios indicados en los documentos del proyecto o definidos por el Interventor, en cantidad tal, que se garantice que la mezcla con el suelo existente, en el espesor señalado en los planos o ajustado por el Interventor.

Los materiales disgregados y los de adición, se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y, previa la eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), si las hubiere, se compactarán hasta obtener los niveles de densidad establecidos para la corona del terraplén.

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

2.10.- SUBRASANTE MEJORADA

Para una subrasante $CBRM \leq 7$ (o modulo Elástico representativo de soporte de subrasante $E_{subM} \leq 8,000 \text{ lbs/pulg}^2$) se deberá colocar una subrasante mejorada o una subbase. El material de subbase o subrasante mejorada deberá tener un $CBR=25$ y el espesor mínimo debe ser 10-cms, 15-cms preferiblemente, o hasta asegurar una plataforma adecuada para las operaciones de construcción del pavimento.

En caso de aplicar carpeta de subbase granular o una subrasante mejorada; deberá determinarse el valor de $CBRM$ nuevamente introduciendo el espesor y CBR de esta carpeta. Alternativamente, puede evaluarse la capacidad de soporte luego de colocar la subrasante mejorada y/o subbase aplicando una placa de carga para determinar el módulo equivalente de soporte EM y retrocalcular el $CBR M. Falling Weight Deflectometer (FWD)$, es un dispositivo mecánico – dinámico de prueba usado por los ingenieros civiles para evaluar las características físicas del pavimento.

2.11.- DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR DE LA SUBRASANTE MEJORADA

Utilizando el gráfico de la figura V.2 se obtiene el espesor total de pavimento, en función de N y I.S. (o C.B.R.). El espesor provisto por este gráfico considera un coeficiente de equivalencia estructural $K = 1,00$ que corresponde a una base granular.

Marcando en la abscisa, el valor de N, se traza una línea vertical hasta interceptar la línea que representa la capacidad de soporte (I.S. o C.B.R.), desde este punto se proyecta una recta horizontal hasta encontrar las ordenadas del espesor del pavimento.

En el caso de suelos con un C.B.R o un I.S. inferior a 2, se recomienda efectuar un cambio de material en un espesor igual o mayor a un metro, para que este suelo sea remplazado con materiales que tenga un C.B.R. o I.S. mayor a 2.

La compactación de materiales granulares debe ejecutarse en capas con un espesor mínimo de 10 cm, y un espesor máximo de 20 cm.

En la figura 7 la simbología utilizada en el dimensionamiento del pavimento, tiene el significado siguiente:

H_m = espesor total del pavimento, m designa el C.B.R. o I.S. de la subrasante.

H_n = espesor encima de la subrasante mejorada, n indica el CBR o I.S del refuerzo.

H_{20} = espesor combinado de base + carpeta, se considera una sub-base con CBR= 20, aun tuviera un CBR mayor.

R = espesor de la carpeta, se obtiene de la tabla V.9

B = espesor de la capa base

h_{20} = espesor de la sub-base

h_n = espesor del refuerzo o subrasante mejorada

Una vez determinados los espesores H_m , H_n , H_{20} utilizando la figura 6; y determino R mediante la tabla 5, los espesores de base (B), sub-base (h_{20}) y refuerzo de la subrasante (h_n), se obtienen por la resolución sucesiva de las siguientes inecuaciones:

Cuadro 5. Determinación De R

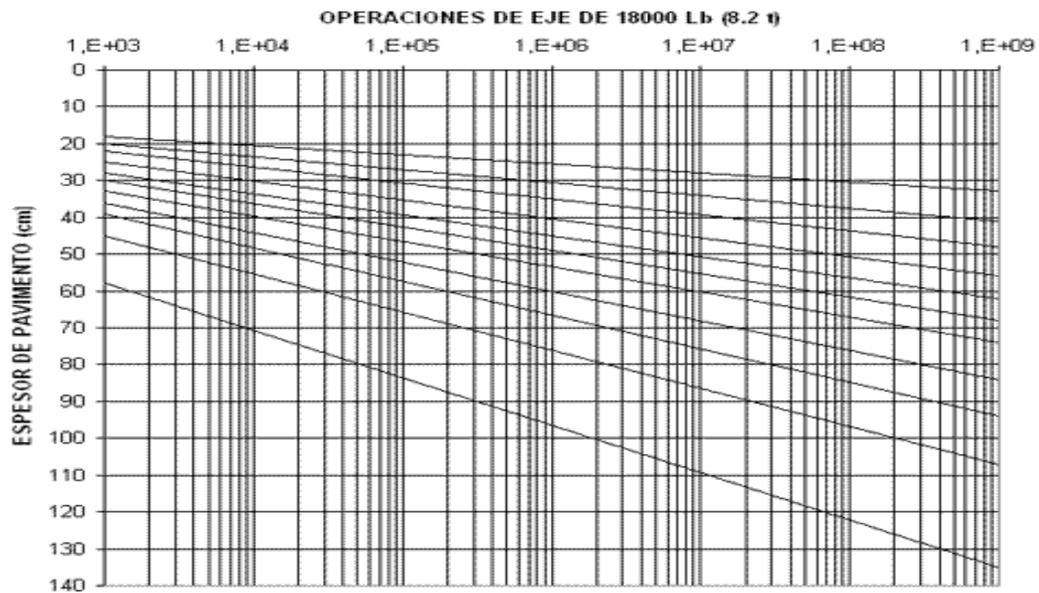
$$R * K_R + B * K_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$R * K_R + B * K_B + h_{20} * K_S \geq H_n \quad (2)$$

$$R * K_R + B * K_B + h_{20} * K_S + h_n * K_{Rf} \geq H_m \quad (3)$$

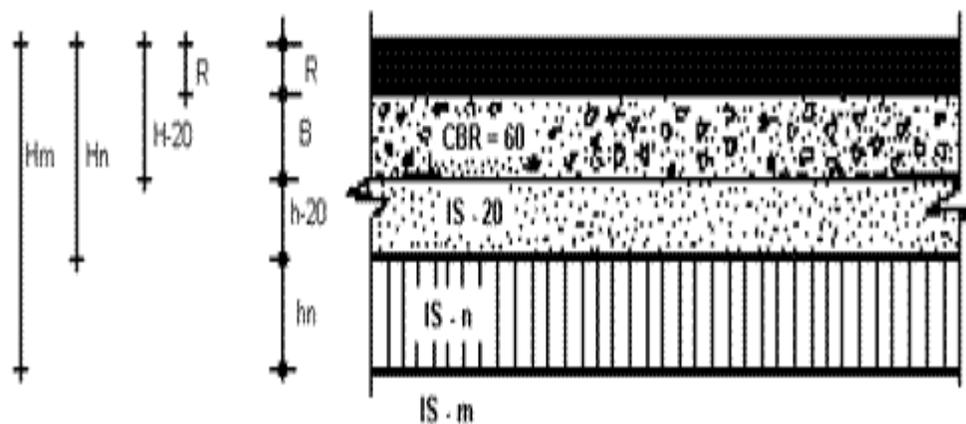
El espesor combinado de base + carpeta se puede disminuir en un 30 %, para sub-bases granulares con $CBR \geq 40$, ó sub-bases estabilizadas con $CBR \geq 20$, y para capas de refuerzo (subrasante mejorada) con $CBR \geq 20$.

Figura 5. Espesor De Pavimento, En Función De (N) Y El I.S. (O El C.B.R.).



Fuente: Método de Proyecto de Pavimentos Flexibles, Ing. Murillo Lopes de Souza, 1981

Figura 6. Simbología Utilizada En El Dimensionamiento Del Pavimento



Fuente: Método de Proyecto de Pavimentos Flexibles, Ing. Murillo Lopes de Souza, 1981

CAPITULO III

MÉTODOS MECANÍSTICOS PARA DETERMINACIÓN DE ESPESOR

3.1.- MÉTODOS MECANÍSTICAS

3.1.1.- KENPAV

KENPAV es un software desarrollado para trabajar en un ambiente Windows, está desarrollado sobre una plataforma elaborada en Visual Basic, razón por la cual se trató de construir un ambiente lo más amable y sencillo posible facilitando el trabajo de quien vaya a utilizar el programa.

El programa está elaborado para diseñar pavimentos optimizando una capa de la estructura escogida de acuerdo a parámetros antes definidos por el usuario. Una vez finalizado este proceso, presenta la opción de calcular una recalza a la estructura antes diseñada.

Aunque el programa es fácil de manejar, hay que aclarar que la persona que va a hacer uso de él debe tener los conocimientos suficientes sobre el tema para entender los resultados y las sugerencias hechas por este durante su ejecución, además, los datos ingresados deben estar soportados por estudios y ensayos reales de laboratorio que correspondan a las condiciones de la estructura de pavimento cuando esta sea construida; esto con el fin de evitar errores en el dimensionamiento de la estructura que lleve, una vez esté construida, a daños inesperados antes de la finalización del periodo de diseño.

3.1.2.- FORMULA DEL Dr. WESTERGAARD

Las formulas del Dr. Westergaard significaron un gran progreso, como ya se ha indicado, con respecto a la primitiva de Older por que toma en cuenta el área de la distribución de las cargas de ruedas sobre un circulo cuya área es equivalente a la correspondiente de apoyo de las ruedas sobre el pavimento y, además, toma en cuenta la reacción de la subrasante.

La fórmula propuesta por el Dr. Westergaard, para el caso critico de esquina que es el que más interesa, es la siguiente:

$$S = \frac{3 * P}{h^2} \left(1 - \left(\frac{a * \sqrt{2}}{l}\right)^{0.6}\right)$$

En la que:

S = Esfuerzo provocado en la losa por la carga P, en Kg/cm².

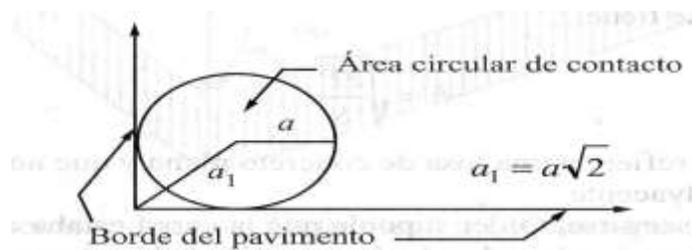
P = Carga en Kg que se aplica en la esquina de la losa.

a = Radio del circulo de área equivalente al área cargada, en cm.

h = Altura o espesor de carpeta, en cm.

l = Radio de rigidez relativa entre losa y subrasante, en centímetros, que vale:

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



E = Modulo de elasticidad del concreto en Kg/cm².

u = Coeficiente de Poisson para el concreto con un valor medio de 0.15.

K = Modulo de reacción de la subrasante en Kg/cm³; representa la presión necesaria en Kg/cm² que debe aplicarse sobre un área circular (cuyo diámetro estará comprendido entre 15 y 75 cm) para producir un hundimiento de 1.27 cm. Ver graficas

Las fórmulas de Westergaard fueron sometidas a una extensa verificación de carácter experimental, llevada a cabo por el departamento de Caminos Públicos de Estados Unidos de América en su campo experimental ubicado en Arlington, en donde se midieron esfuerzos de las losas construidas especialmente y sometidas a la acción de cargas de rueda. Estos ensayos demostraron que los esfuerzos reales que se desarrollan en las esquinas de las losas cuando esta esta alabeada hacia arriba a causa de la diferencia de temperatura y humedad entre el fondo y la superficie, es decir, cuando no hay un contacto completo entre la losa y la subrasante, son más elevadas que las que se obtienen por la fórmula del Dr. Westergaard para el caso de la carga de la esquina. Como consecuencia de esas y otras comprobaciones efectuadas en los ensayos de Arlington, se propusieron diversas modificaciones a la fórmula del Dr. Westergaard, fórmulas que toman en cuenta la condición indicada.

3.1.3.- FORMULA DEL Dr. GERALD PICKETT

El Dr. Gerald Pickett, físico investigador de la Asociación del Cemento Portland de Estados Unidos de América, de acuerdo con los ensayos de Arlington propuso la fórmula que sigue:

$$S = \frac{4.2 * P}{h^2} * \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22 * \frac{a}{l}}\right)$$

En esta fórmula las literales indican lo mismo que en la fórmula del Dr. Westergaard.

La fórmula de Pickett es aplicable cuando $\frac{a*\sqrt{2}}{l}$ varía entre 0.1 y 1.0, valores que encierran probablemente todos los que se pueden presentar, y para cuando no haya transferencia de carga de una losa a otra. La carga P usada debe ser igual a la carga estática por eje sencillo dividida entre dos. Con cargas en ruedas duales o tándem se usa la carga equivalente. Cuando haya alguna transferencia de carga de una losa a la otra, la fórmula debe multiplicarse por 0.8 para tomar en cuenta un 20% de transferencia ya que se supone es de orden. En este caso la fórmula de Pickett quedaría así:

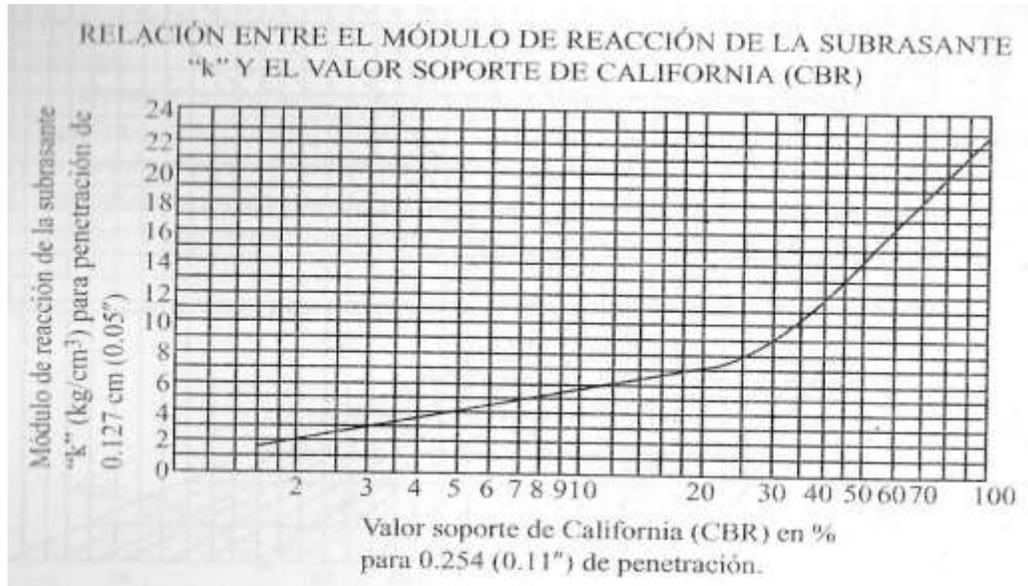
$$S = \frac{3.36 * P}{h^2} \left(1 - \frac{\sqrt{\frac{a}{l}}}{0.925 + 0.22 * \frac{a}{l}}\right)$$

Además de la fórmula del Dr. Gerald Pickett, que quizá sea la mejor, se han propuesto otras que a continuación se insertan, todas ellas para carga esquina.

3.1.4.- FORMULA DE ROYALL D. BRADBURY

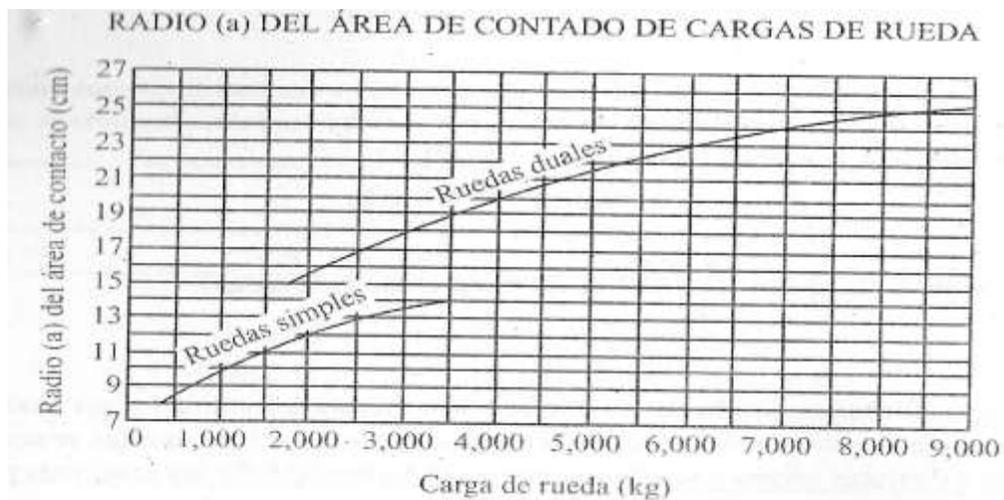
$$S = \frac{3 * P}{h^2} \left(1 - \left(\frac{a}{l}\right)^{0.6}\right)$$

Figura 7: Relación entre el módulo de reacción de la subrasante K y el valor soporte de california (CBR)



Fuente: Vías de Comunicación Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos, Ing. Carlos Crespo Villalaz, Cuarta Edición

Figura 8: Radio (a) del área de contacto en cargas de rueda



Fuente: Vías de Comunicación Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos, Ing. Carlos Crespo Villalaz, Cuarta Edición

3.1.5.- FORMULA DE E.F. KELLEY

$$S = \frac{3 * P}{h^2} \left(1 - \left(\frac{a * \sqrt{2}}{l}\right)^{1.2}\right)$$

La fórmula de Gerald Pickett tiene en cuenta un 40% de aumento en los esfuerzos debido a la distribución no uniforme del momento a lo largo de la sección normal a la bisectriz del ángulo de la esquina que, según Spargler, sería el factor de mayor importancia para que los esfuerzos experimentales resulten mayores que los teóricos, y también tiene en cuenta la falta de soporte de la subrasante en la región de la esquina, a la que Kelley y otros autores indican como la causa primaria a que obedece la falta de concordancia señalada.

Siendo las formulas anteriores (Westergaard, Bradbury, Kelley y Pickett) algo laboriosas se han preparado gráficos que sirven para facilitar el empleo. En la página anterior se tiene el grafico para calcular el espesor de las losas de concreto hidráulico basado en las formula de Gerald Pickett.

3.2.- DATOS REQUERIDOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

En este se presentan los datos necesarios para aplicar el método de dimensionamiento, cuyos cálculos se pueden efectuar de manera manual para obtener las admisibles en las interfaces de los materiales. Para el cálculo de las solicitaciones impuestas por el tránsito.

Los datos requeridos para el diseño de un pavimento se clasifican en cuatro categorías:

- **Tránsito**

- **Parámetros de base de cálculo.** Trata de los parámetros de cálculo cuya selección de valores se basa en el análisis de la función económica de la carretera, tales como tipo de estructura, periodo de diseño y estrategia de mantenimiento.
- **Datos climáticos y del ambiente.** Estos parámetros agrupan los datos descriptivos de las condiciones climáticas del sitio del proyecto que tienen una influencia directa sobre la selección de variables de cálculo.
- **Parámetros descriptivos de los materiales.** Este conjunto corresponde a las propiedades de los materiales de pavimento y del soporte necesario en el cálculo de estructuras.

3.3.- TRÁNSITO

El conocimiento de los vehículos pesados (carga, clase, y tipo de ejes, número de ellos) intervienen en:

- El criterio de selección de las calidades de ciertos constituyentes que se emplean en la fabricación de los materiales de la calzada, como por ejemplo la dureza de los granulares.
- El parámetro de entrada para el análisis mecánico del comportamiento a la fatiga de la estructura de la calzada.
- Los vehículos se definen como pesados cuando su carga útil es superior o igual a 5 toneladas (50 KN).

3.3.1.- CLASES DE TRÁNSITO

Estas se determinan a partir del tránsito de vehículos pesados por sentido, teniendo en cuenta el tránsito promedio diario para el carril más cargado en el año de puesta en servicio.

En el caso de las calzadas de dos carriles de ancho inferior a 6 m, incluyendo el recubrimiento de las bandas de rodadura, se aplicará la regla siguiente para el cálculo de tráfico anual diario promedio:

- Si el ancho es inferior a 5 m, asumir el 100% del tránsito total de los dos sentidos.
- Si el ancho está comprendido entre 5 y 6 m, asumir el 75% del tránsito total de los dos sentidos.

En el caso de vías que comprenden calzadas separadas, el carril más cargado es generalmente de vía lenta; si no se tiene información sobre la repartición probable del tránsito entre los carriles, se tomara como sigue:

Calzadas rurales

- Vías de cuatro carriles. Se tomará 90% de los vehículos pesados en el sentido considerado y el 10% en el carril rápido.
- Si las vías son de 6 carriles, se consideran el 80 % en la vía lenta, el 20% en la vía media y 0% en la vía rápida o vía de sobrepaso.

3.3.2.- TRÁNSITO EQUIVALENTE

Para el dimensionamiento del pavimento, el tránsito se expresa por número equivalente de ejes de referencia correspondiente al paso de los vehículos pesados acumulados en el periodo de diseño (vida útil).

El eje de referencia en un eje simple con ruedas gemelas, cuya carga es de 130 KN. El número de ejes equivalentes es función de los valores de los conteos del tránsito en el año de puesta en servicio de este, de la tasa de crecimiento durante el periodo de diseño, de la composición del tránsito y de la naturaleza de la estructura de la calzada. Se calcula teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$NE = N \times CAM \text{ (factor camión)} \quad (1)$$

NE: números de ejes equivalentes.

N= número acumulado de pesos pesados para el periodo de cálculo de P años

CAM= Agresividad media de los vehículos pesados en relación con el eje de referencia.

Posteriormente se hará un ejemplo completo de este cálculo.

$$N = 365 \times MJA \times C \quad (2)$$

C = Factor de proyección

MJA= Tránsito pesado promedio anual diario

Para n años y una tasa de crecimiento geométrica i constante sobre este periodo, se obtiene el valor de C por la formula siguiente:

$$C = \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \quad (3)$$

3.3.3.- VALOR DEL COEFICIENTE DE AGRESIVIDAD MEDIA (CAM)

La configuración de ejes (tándem, tridem) con ruedas (simples o gemelas) y su carga son variables de un vehículo pesado con respecto a otro. Para una carga dada, la cual depende de la naturaleza propia de los materiales. Un vehículo no tendrá la misma agresividad si circula sobre un pavimento asfáltico flexible o sobre un pavimento compuesto por capas tratadas con ligantes hidráulicos.

3.4.- PARÁMETROS DE LA BASE DEL CÁLCULO

En todo dimensionamiento de una estructura de pavimentos se han de tener en cuenta los términos probabilísticos de una primera etapa de cálculo, así como tomar un valor de probabilidad de ruptura de los pavimentos en los n años de diseño; si se consideran los conteos del tránsito, esta duración inicial variará según el riesgo de los daños que se tomen. Un menor daño equivale a incrementos económicos en la construcción de esta vía.

3.5.- DATOS CLIMÁTICOS Y DE AMBIENTE

En las condiciones climáticas se deben tener en cuenta la abundancia de las precipitaciones y los drenajes dispuesto para la vía, los ciclos estacionarios y los valores extremos de la temperatura, particularmente en las calzadas tratadas con ligantes asfálticos. Donde la durabilidad y la deformalidad dependen de la temperatura, de la resistencia del suelo soporte y del estado hídrico de la subrasante.

3.6.- PARÁMETROS DESCRIPTIVOS DE LA PLATAFORMA DE SOPORTE

3.6.1.- SUELO SOPORTE.

Para los cálculos de las solicitaciones en el cuerpo del pavimento bajo el eje de referencias, el suelo soporte se asimila generalmente a un medio elástico definido por el módulo de Young y el coeficiente de poisson, parámetros mecánicos que definen el comportamiento a largo plazo para la parte superior de la subrasante; para el coeficiente de poisson se tomara un valor medio de 0.15, sabiendo que este parámetro varia con la naturaleza de los suelos, su estado hídrico y las solicitaciones aplicadas. Se recomienda tomar el módulo como $E = 5 \text{ CBR (MPa)}$ o $8.5 \text{ CBR}^{0.825} \text{ (MPa)}$.

Para las estructuras de calzadas rígidas, el criterio de la resistencia se determina por las leyes de fatiga de las capas, la deformación admisible de la subrasante, ϵ , se puede tomar así:

Cuadro 6. Ecuación De La Deformación Vertical Admisible Según El Transito

PAVIMENTO CON TRÁNSITO MEDIO A ALTO (T3 a T5) $\epsilon Z = 0.012(N) - 0.222$

PAVIMENTO CON TRÁNSITO BAJO (T1 Y T2) $\epsilon Z = 0.016(N) - 0.222$

Fuente: Diseño Racional de Pavimentos, Fredy Alberto Reyes Liscano, 1ª ed.-

Bogotá: CEJA, 2003

3.6.2.- CAPA DE SUBRASANTE

Es necesario que los materiales de sustitución o de aporte que tengan un CBR ≥ 10 para la circulación de equipos, cuando el suelo natural presenta insuficiencia

portante. La capa de forma es indispensable para los suelos en los que resulta imposible alcanzar el 95% de la densidad seca máxima del proctor modificado.

Cuadro 7. Recomendaciones Para Sustituir Un Material De La Plataforma

Material que reemplaza el S1 CBR	Aporte Espesor mínimo (cm)	Nueva clase de la plataforma que se debe tener en cuenta
5-10 (S2)	45	S2
10-15 (S3)	35	S2
10-15 (S3)	45	S3
15-30 (S4)	30	S2
15-30 (S4)	35	S3
15-30 (S4)	50	S4

Fuente: Diseño Racional de Pavimentos, Fredy Alberto Reyes Liscano, 1ª ed.-
Bogotá: CEJA, 2003

De acuerdo con este criterio, es posible utilizar diversos suelos; sin embargo, deben evitarse:

Aquellos cuyo tamaño máximo de partículas sea superior a 150 mm.

Aquellos cuyo porcentaje de finos (tamaño menor de 0.075 mm) sea superior a 35 o 45% y su índice de plasticidad supere 20 o 30, dependiendo del tránsito.

Es posible tratar suelos finos con $IP < 25$.

Cuando el suelo de subrasante lo conformen suelos finos con un elevado grado de saturación, deberá tenerse en cuenta que estos presentan el fenómeno de colchón elástico durante la compactación. En tales casos no es posible el grado de compactación deseado y el aumento de la energía de compactación resulta contraproducente; deberá tratarse entonces de disminuir la humedad del suelo estabilizarlo mecánicamente con algunos de los métodos antes mencionados.

Cuadro 8. Deflexiones Admisibles Con Viga Benkelman (1/100 Mm)

Nivel de medida	Medidas realizadas antes de la recepción (temporada seca)							Vía en servicio luego de la estación de lluvias
	Tipo de subrasante							
	Subrasante			Subbase		Base		
Tránsito	S1	S2	S3	S4	S5	S1 a S5	S1 a S5	
T ₁	500	400	350	350	300	300	125 a 150	150
T ₂	400	250	250	200	200	200	90 a 100	100
T ₃	250	200	200	150	150	150	60 a 65	65
T ₄	200	150	100	200	100	100	35 a 40	40

Fuente: Diseño Racional de Pavimentos, Fredy Alberto Reyes Liscano, 1ª ed.-

Bogotá: CEJA, 2003

Para apreciar en el sitio la calidad de la subrasante, se puede medir su deformabilidad. Esta se determina al medir las deflexiones producidas por la aplicación de la carga de un eje de 130 kN mediante una viga Benkelman. Los valores de deflexión admisibles dependen del tránsito y del suelo de subrasante. Pueden admitirse como aceptables los valores que se presentan en la tabla anterior.

Criterios de protección de las capas granulares

Cuando la subrasante está constituida principalmente por suelos finos existe el peligro de que se produzca su migración, contaminando así las capas granulares y afectando sus propiedades mecánicas.

Para evitar este problema, se pueden verificar los siguientes criterios:

$$4S_{15} < F_{15} < 4S_{85}$$

$$5S_{15} < F_{15} < 5S_{85}$$

$$5 < F_{50}/S_{50} < 10$$

Donde:

S15, S50, S85: son las aberturas de los tamices por los cuales pasan el 15, 50 u 85% del suelo de subrasante.

F15, F50, F85: son las aberturas de los tamices por los cuales pasan el 15, 50, 85% del material granular que hay que proteger.

En caso de que no se cumpla ninguno de estos criterios, se deberá colocar un material que realice la función de separación.

3.6.3.- CAPA DE SUB-BASE

En lo que concierne de la capa base y de la verificación del dimensionamiento del cuerpo de la calzada, se emplean dos aproximaciones en la práctica. La primera es la más tradicional y consiste en seleccionar el espesor de la capa de subbase en función de la capacidad portante del suelo soporte, en donde se realiza la verificación de los espesores del suelo soporte más capa de subbase, en un proceso donde se tiene un masivo homogéneo que se describe mediante el módulo de Young y el coeficiente de poisson, y se comprueba el criterio de la deformación vertical que satisfaga los valores admisibles de la subrasante.

En el segundo método de la capa sub-base se individualiza como una capa de calzada más en el cálculo de la estructura, aproximación que resulta válida cuando se busca optimizar los espesores del conjunto de calzadas y de la capa de sub-base en función de las características mecánicas que pueden obtenerse en obra con los materiales de sub-base.

En este segundo caso las características mecánicas de tales materiales deben determinarse estrictamente en laboratorio. Cuando se utilizan capas de sub-base en

materiales no tratados, hay que verificar que los valores de la deformación vertical en la parte superior de la capa de la sub-base y del suelo soporte sean admisibles; igualmente, cuando se emplean materiales tratados se deben verificar las leyes de fatiga adoptando los modelos propios para el caso del material que se esté utilizando.

3.6.4.- CAPA DE BASE

Granulometría de la capa base

La base será ejecutada con materiales que cumplan los siguientes requisitos:

- a) Deberán poseer una composición granulométrica encuadrada en una de las columnas de la siguiente tabla.

Cuadro 9: Gradación para Materiales de Capa Base

Tamiz (Malla cuadrada AASHTO M-147-65)	Porcentajes por peso del material que pasa Tipo de gradación		
	A	B	C
2"	100	100	-
1"	-	75 - 95	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85
Nº 4	25 - 55	30 - 60	35 - 65
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30
Nº 200	2 - 8	5 - 20	5 - 15

- b) La fracción que pasa por el tamiz No. 40 deberá tener un límite líquido inferior o igual a 25% y un índice de plasticidad inferior o igual a 6%.
- c) El índice de Soporte de California no deberá ser inferior a 80% y la expansión máxima será de 0.5%, cuando sean determinados con la energía de compactación del ensayo AASHTO T-180-D.

- d) El agregado retenido en el tamiz No. 10 debe estar constituido de partículas duras y durables, exentas de fragmentos blandos, materia vegetal, terrones de arcilla u otra sustancia perjudicial.
- e) Se deben emplear materiales homogéneos, de un tipo único de agregados gruesos que presenten un porcentaje de desgaste "Los Ángeles" inferior a 50% a 500 revoluciones (AASHTO T-96). No se admitirán mezclas de materiales con diferentes valores de desgaste.
- f) Los agregados deberán consistir en partículas o fragmentos duros y durables de piedra triturada o semitriturada, escoria triturada o grava triturada. No se deberán emplear materiales que se partan cuando son congelados y descongelados o mojados y secados alternadamente.
- g) No menos del 50% en peso de las partículas retenidas en el tamiz N° 4 deberán tener lo menos una cara fracturada fabricada.
- h) El agregado fino (material que pasa por el tamiz N° 4) deberá consistir en arena natural o triturada y partículas minerales finas. La fracción que pasa por el tamiz N° 200 no deberá ser mayor que los dos tercios de la fracción que pasa por el tamiz N° 40.
- i) Todo el material deberá estar libre de materia vegetal y de terrones o pelotas de arcilla.
- j) Cuando se utilicen mezclas de materiales naturales con materiales triturados, por lo menos el 50% deberá corresponder a estos últimos.

3.7.- MATERIALES DE LAS CAPAS DE PAVIMENTO

3.7.1.- GRAVAS NO TRATADAS

- Características intrínsecas

El método de cálculo que se requiere para representar el comportamiento reversible bajo una carga está dado en función del módulo de Young y del coeficiente de poisson para una grava no tratada

Cuadro 10. Valores Del Módulo De Young De Capas De Gravas No Tratadas

Pavimento de bajo tránsito t1 a t3

Capa de base	<p>categoria 1* e gnt = 600 mpa</p> <p>Categoria 2* e gnt = 400 mpa</p> <p>Categoria 3* e gnt = 200 mpa</p>
capa de sub-base	gnt [1] = k e plataforma de soporte
(gnt sub-dividida en sub-capas de 0.25 m De espesor)	k depende de la categoría de la gnt e gnt [sub-capas i] =k e gnt [sub-capa(1-i)]

Fuente: Diseño Racional de Pavimentos, Fredy Alberto Reyes Liscano, 1ª ed.-

Bogotá: CEJA, 2003

A falta de ensayos o valores particulares para cada tipo de estos materiales, el coeficiente de poisson tendrá un valor de 0.35.

3.7.2.- GRAVAS TRATADAS CON LIGANTES HIDRÁULICOS Y CONCRETOS COMPACTOS

- **Características**

Teniendo en cuenta la evolución del material en el tiempo y el fenómeno de fraguado, las características mecánicas de los materiales tratados con ligantes hidráulicos se deben apreciar así:

Por una parte, a lo largo del plazo para juzgar el comportamiento durante la vida de servicio y, por otra, a corto plazo para verificar que las resistencias adquiridas son suficientes desde las primeras solicitaciones, o sea que soporta el tránsito de la obra o

su comportamiento es adecuado desde los primeros pasos de los vehículos cuando se pone en servicio.

Para el largo plazo se consideran las características a un año, mientras que el corto plazo es función de la programación de los trabajos.

- Requerimiento del método de cálculo

Para comprobar el comportamiento reversible bajo una carga, se deben conocer el módulo de Young E y el coeficiente de Poisson, el cual puede tomar un valor promedio de 0.25 para este tipo de materiales. Los daños se representan mediante la ley de la fatiga, que se hace con base en los parámetros de σ_6 y b y se enuncia con la siguiente formula:

$$\sigma / \sigma_6 = (N/10^6)^b$$

Donde

σ : Esfuerzo aplicado

σ_6 : esfuerzo al millón de repeticiones a 10 °C y 10 Hz.

N : números de ejes equivalentes de trece toneladas

B : pendiente de la ley de fatiga

Los valores característicos de estos datos para las técnicas empleadas en gravas tratadas como los módulos de Young y la ley de fatiga, se deben determinar a través de los ensayos normalizados de laboratorio.

- Características para la ejecución de calzadas

Cuando se ejecuta una obra con este tipo de material, debe tenerse en cuenta que existe una dispersión que depende de sus características y que altera el espesor de la capa que se está colocando en obra, en la que se debe considerar que dispersión es de orden de 3 cm.

3.8.- PROGRAMA A UTILIZAR

El programa a utilizar en este presente trabajo de los métodos mecanicistas es el Kenpav (Diseño Racional de Pavimentos), también utilizamos los métodos de Westergaard, Pickett, Bradbury y Kelley.

3.9.- MANUAL DEL USUARIO

Este manual constituye un resumen de todas las metodologías utilizadas en el diseño racional de pavimentos explicadas de manera completa y detallada.

En el manual se explica el funcionamiento del programa, así como los parámetros necesarios para su ejecución. El fundamento teórico y los principios sobre los cuales se basa el desarrollo de la metodología racional de pavimentos.

El programa desarrollado es:

- Kenpav (Diseño Racional de Pavimentos).

3.10.- MANUAL DE MANEJO DEL PROGRAMA

KENPAV es un software desarrollado para trabajar en un ambiente Windows, está desarrollado sobre una plataforma elaborada en Visual Basic, razón por la cual se trató de construir un ambiente lo más amable y sencillo posible facilitando el trabajo de quien vaya a utilizar el programa.

El programa está elaborado para diseñar pavimentos optimizando una capa de la estructura escogida de acuerdo a parámetros antes definidos por el usuario. Una vez finalizado este proceso, presenta la opción de calcular una rehabilitación a la estructura antes diseñada.

Aunque el programa es fácil de manejar, hay que aclarar que la persona que va a hacer uso de él debe tener los conocimientos suficientes sobre el tema para entender los resultados y las sugerencias hechas por este durante su ejecución, además, los datos ingresados deben estar soportados por estudios y ensayos reales de laboratorio que correspondan a las condiciones de la estructura de pavimento cuando esta sea construida; esto con el fin de evitar errores en el dimensionamiento de la estructura que lleve, una vez esté construida, a daños inesperados antes de la finalización del periodo de diseño.

El presente manual de manejo muestra cómo llevar a cabo el diseño de una estructura de pavimento con o sin recalza, para ello es necesario seguir las instrucciones que vienen a continuación.

3.10.1.- INSTALACIÓN

Para la instalación del programa Kenpav hay que seguir las siguientes instrucciones:

- Colocar el CD de la aplicación Kenpav en la unidad CD-ROM.
- Abrir el explorador de Windows y seleccionar la unidad de CD-ROM. Hacer doble click sobre el icono SETUP.EXE.
- Iniciar el proceso de instalación.
- Seguir las instrucciones que da el programa de instalación.

Nota: al seleccionar la unidad y el directorio en que se instalara el programa, se recomienda crear un nuevo directorio o subdirectorio llamado Kenpav, para instalar allí todos los componentes del programa.

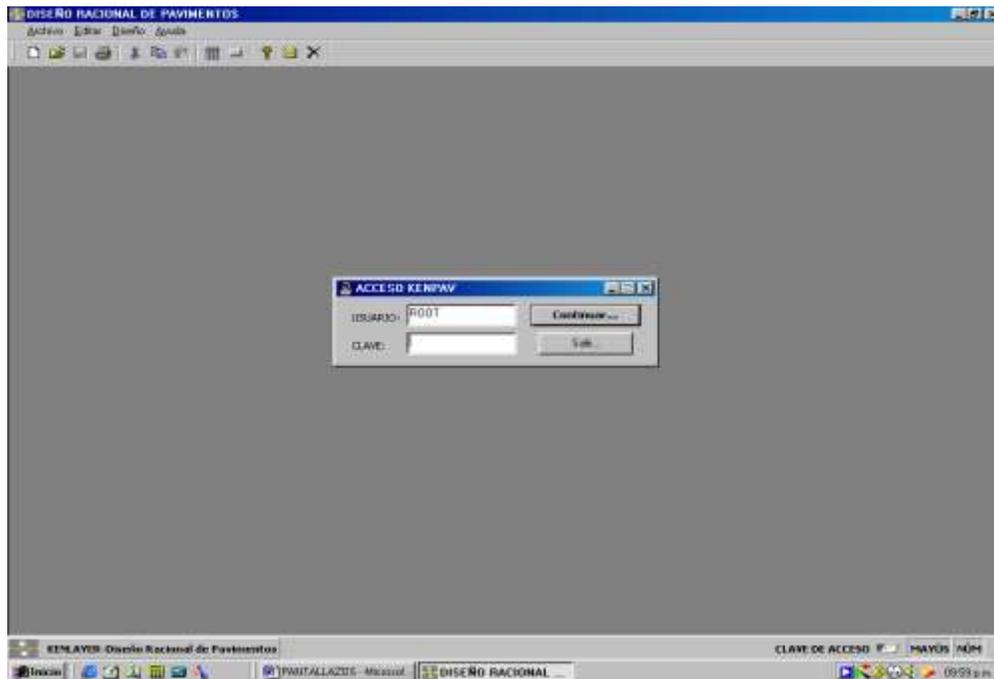
3.10.2.- ACCESO

Para tener acceso al programa primero se debe digitar la clave en la caja de texto que se encuentra en la ventana de acceso (figura 9); una vez terminado el procedimiento, hay que oprimir el botón “continuar” para ejecutar el programa. Si, por el contrario, se abrió el programa, pero no se desea tener acceso, se debe oprimir el botón “salir”, que se encuentra en la parte superior.

3.10.3.- INICIO

Se puede dar inicio a la ejecución del programa en dos formas diferentes, la primera es creando una nueva estructura, y la segunda es abriendo una ya existente. Para abrir o crear un documento, según sea el caso, se puede recurrir a un menú, a iconos o a teclas.

Figura 9. Acceso E Inicio A Kenpav.



El menú ubicado en la barra de trabajo de la ventana principal (ver figura 9), recibe el nombre de “Archivo”, al desplegarse da la opción de nuevo diseño y abrir diseño, entre otros.

Los iconos ubicados en su respectiva barra de trabajo, se encuentran en la parte superior de la ventana principal (ver figura 9).



Permite diseñar una nueva estructura de pavimento.



Permite abrir una estructura de pavimento existente.

Por último, el usuario tendrá la posibilidad de seleccionar cualquiera de estas dos opciones por medio del conjunto de teclas específicas en menú desplegable “Archivo” de la ventana principal.

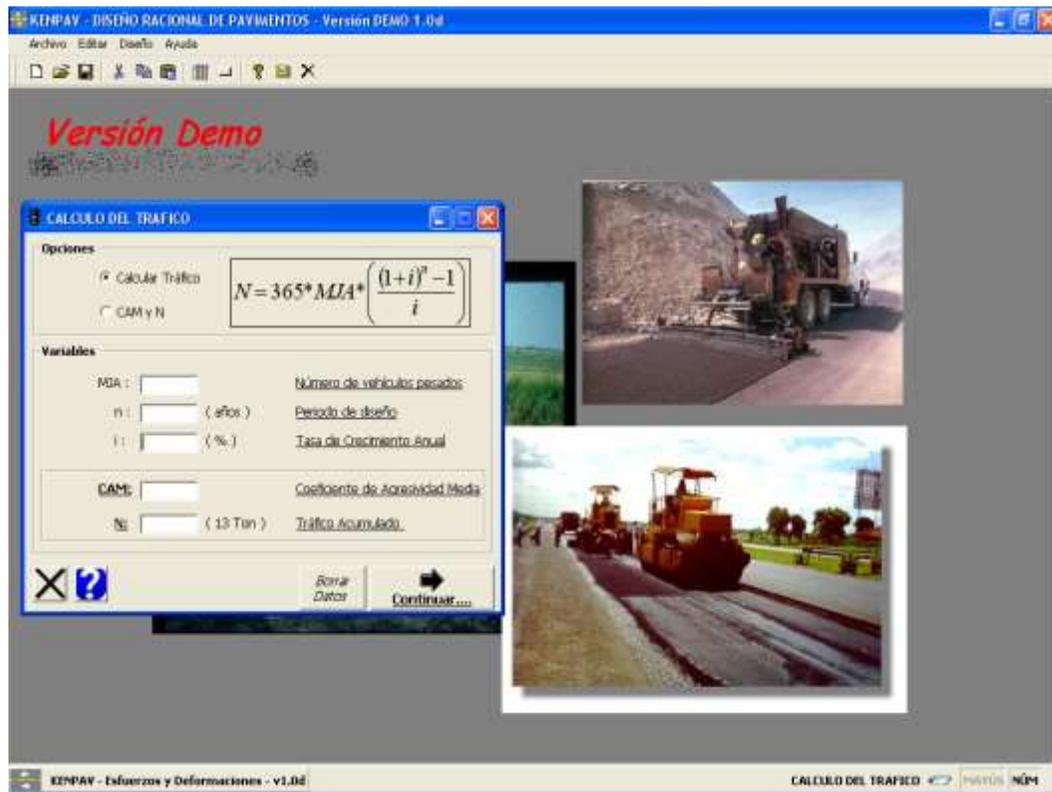
3.10.4.- CÁLCULO DEL TRÁFICO

La ventana para el **Cálculo del Tráfico** se divide en dos cuadros, “Opciones” y “Variables” (ver figura 10). La primera da la posibilidad de escoger entre “Calcular tráfico” o “CAM y N”; se escoge calcular tráfico cuando se tienen valores de vehículos pesados (MJA), de periodo de diseño (n), y de tasa de crecimiento anual (i), datos con los cuales se puede calcular el tráfico acumulado (N), al escoger esta opción se habilitan las cajas de texto que se encuentran en el cuadro de “Variables”. La otra opción, se escoge cuando se tiene un valor del tráfico acumulado confiable con el que puedan ser realizados los cálculos.

Cabe aclarar que en las dos opciones antes mencionadas es necesario digitar el valor correspondiente al CAM que se encuentra en la parte inferior del cuadro de “Variables” (ver figura 10).

Los botones ubicados en la parte inferior de la ventana **Cálculo del Tráfico** indican los procedimientos que siguen si son oprimidos. “Borrar datos” elimina el contenido de todas las cajas de texto que se encuentran en esta ventana, mientras que “Continuar”, abre una ventana nueva llamada **Tipo de Estructura**.

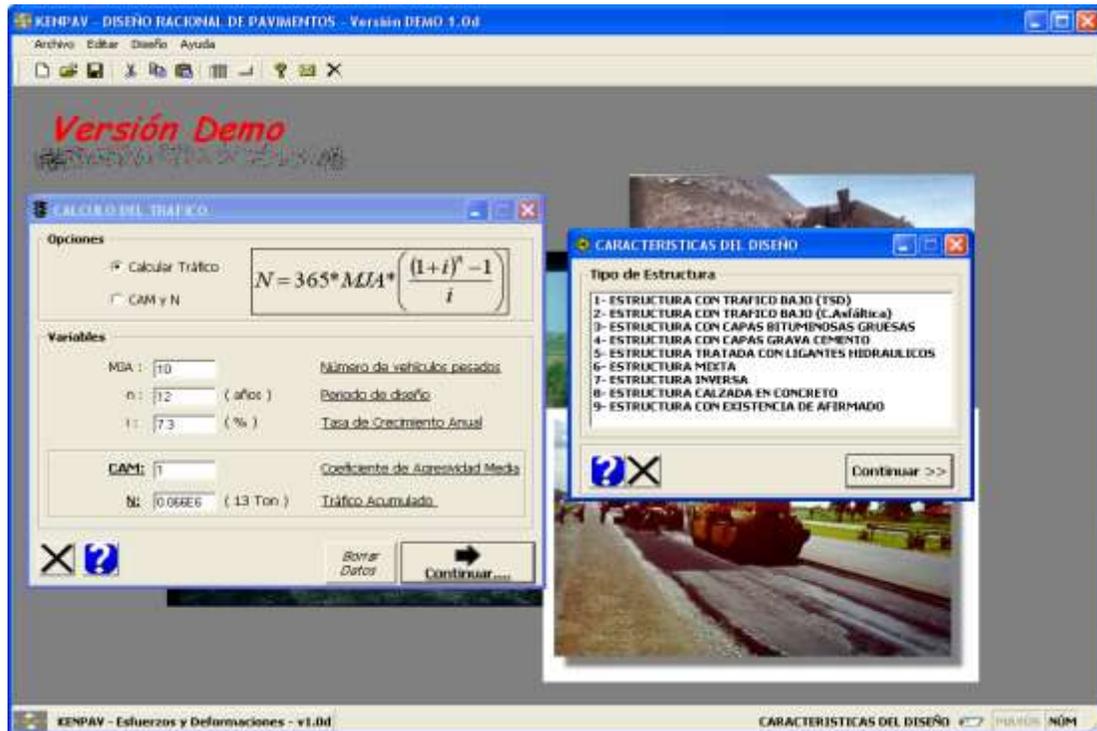
Figura 10. Cálculo Del Tráfico.



3.10.5.- TIPO DE ESTRUCTURA.

En la ventana **Características del Diseño** (ver figura 11) se muestran diferentes opciones de estructura de pavimentos, se debe escoger una que se adapte a las condiciones de la calzada a construir.

Figura 11. Tipo De Estructura.



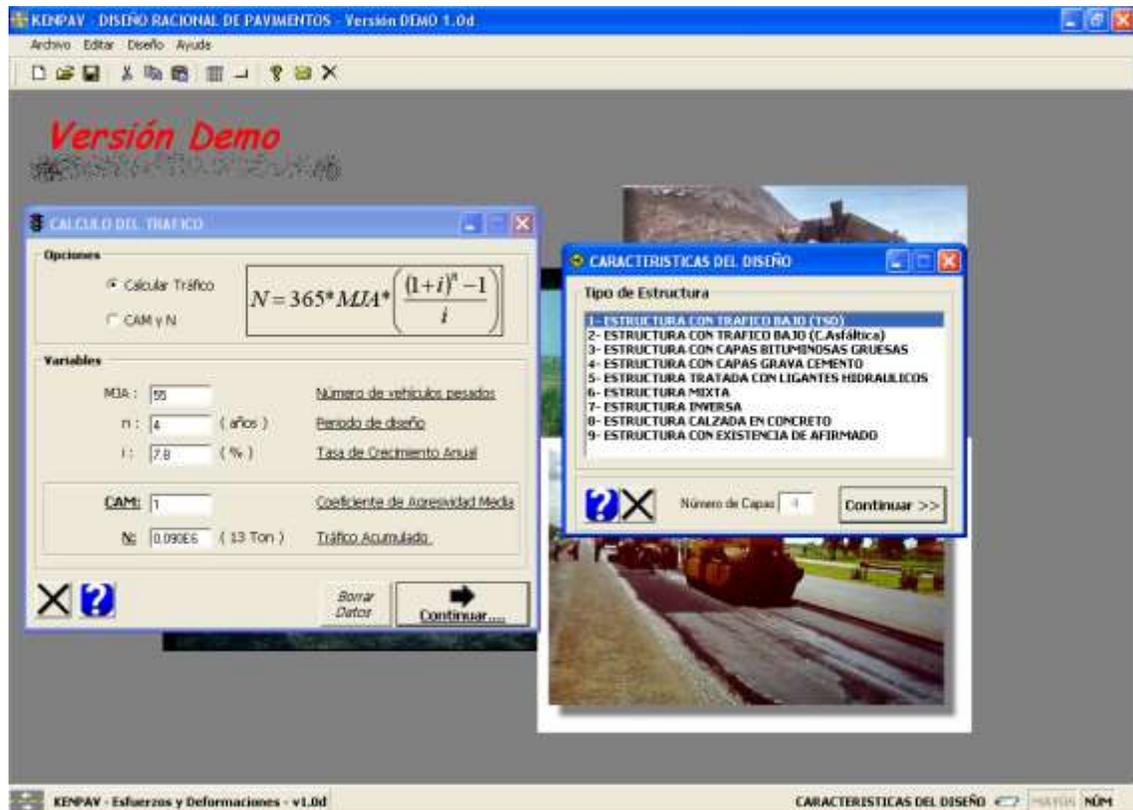
En total son nueve tipos de estructuras entre los que están, estructura con tráfico bajo (T.S.D.), estructura con tráfico bajo (Carpeta asfáltica), estructura con capas bituminosas gruesas, estructuras con capas de grava cemento, estructuras tratadas con ligantes hidráulicos, estructura mixta, estructura inversa, y, por último, estructura con calzada en concreto.

3.11.- ESTRUCTURA DE TRÁNSITO BAJO (CARPETA ASFALTICA)

Al seleccionar la ventana del tipo de estructura, aparece en la parte inferior de la misma una caja de texto en la que se digita el número de capas con que se va a diseñar (figura 12), el cual debe estar en un rango de 2 a 10; una vez digitado se oprime el

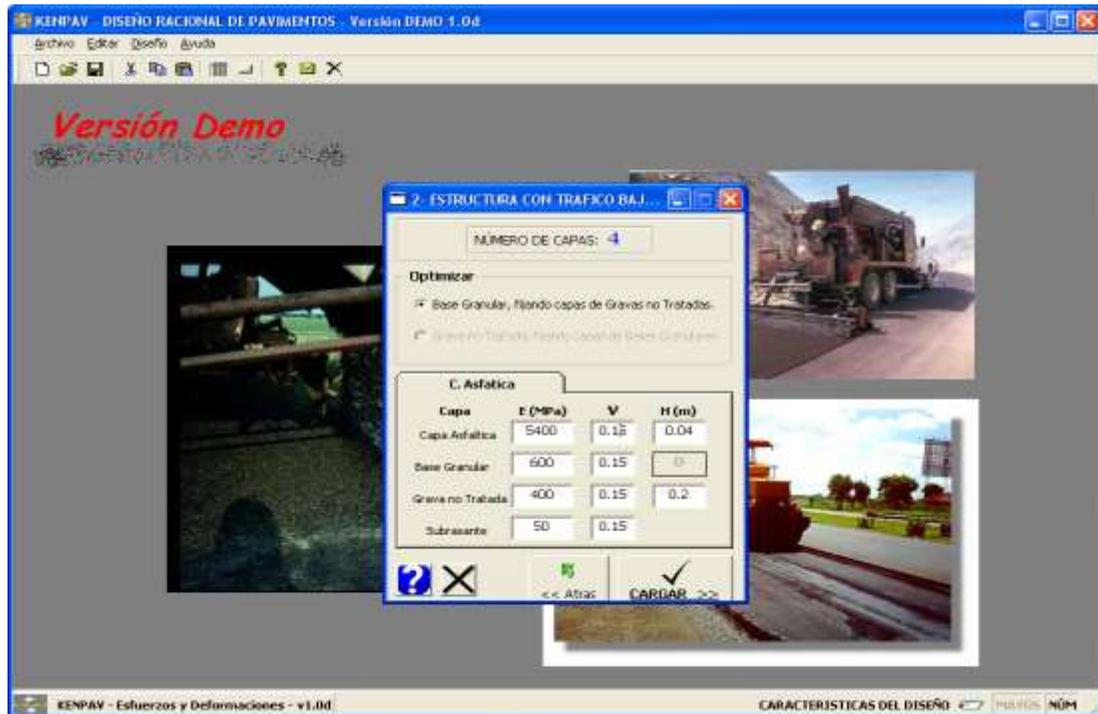
botón “continuar”, que abrirá la ventana **Estructura con tránsito bajo (carpeta asfáltica)**.

Figura 12. Tipo De Estructura – Estructura De tránsito Bajo (Carpeta Asfáltica)



La ventana de **Estructura con tránsito bajo (capeta asfáltica)** tiene la opción de optimizar la base granular o la grava no tratada. Al escoger alguna de las dos opciones, se habilita la caja de texto correspondiente al espesor de la capa que hay que optimizar (figura 13).

Figura 13. Estructura Con Tránsito Bajo (Capeta Asfáltica)



Las otras cajas de texto deben llenarse con valores de módulo de elasticidad (E) en MPa, coeficiente de Poisson (ν) y espesores (H) en m, correspondiente a cada capa. Una vez finalizado este proceso se oprime el botón “Cargar”, para que los datos se lleven al fichero de datos de entrada (figura 13).

De forma interactiva muestra en una gráfica como va variando los esfuerzos de tracción aplicados en la base de la capa escogida para optimizar, la cual corresponde a un espesor determinado por el programa; ubicado en la parte inferior de éste fichero irá aumentando en la medida que la estructura presente esfuerzos de tracción aplicados mayores a los esfuerzos admisibles (ver figura 13).

Figura 14. Datos De Entrada

ESTRUCTURA DE TRAFICO BAJO (C. Asfáltica) - Iteración B.G

Datos de Entrada

Información Conocida

CAPAS: 4

CAM: 1

N: 0.966E6

Parámetros de Diseño Utilizados

Radio de Contacto: 0.662

Presión de Contacto: 0.125

Distancia entre Ejes: 0.375

Posiciones Eje: 3

Información de la Estructura

N°	Tipo	E (MPa)	v	H (m)
1	CAPA ASFALTICA	5400	0.15	0.04
2	BASE GRANULAR	600	0.15	
3	GRAVA NO TRATADA	125	0.15	0.2
4	SUB-RASANTE	50	0.15	

Resultados y Gráfica

BASE GRANULAR

GRAVA NO TRATADA

SUB-RASANTE

$E_{s,adm} = 0.016 (NE)^{-0.222}$

* Todas las capas presentan ligamiento

CALCULAR

KENPAV - Esfuerzos y Deformaciones - v1.0d

CALCULO DEL TRAFICO

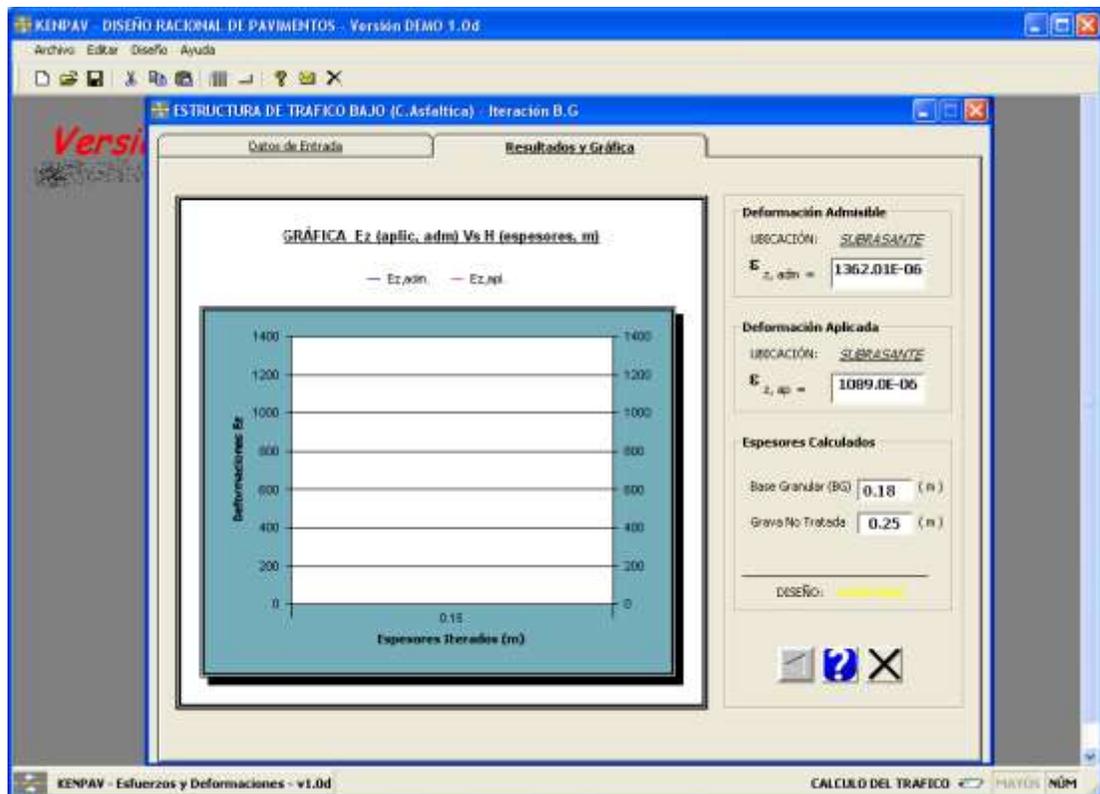
En el fichero de los datos de entrada (figura 14) muestra en el cuadro “información conocida” el número de capas de la estructura, el valor del CAM y el valor del tránsito acumulado (N). En “parámetros de diseño) aparecen el radio de contacto en MPa, la distancia entre ejes en m y el número de posiciones de ejes que se empleara para el cálculo de deformaciones aplicadas. También se puede ver la estructura, con los respectivos parámetros que hay que evaluar.

Por último, en “Información de la estructura” se muestran las capas que la conforman con sus respectivas características, las cuales se encuentran en cajas de texto que pueden modificarse.

Una vez que se está de acuerdo con la información suministrada por el fichero de los datos de entrada, se oprime el botón “Calcular”, situado en la parte inferior del mismo, el cual abrirá el fichero de resultados y gráficas.

El fichero de resultados y grafica (figura 15) contiene en la parte superior la deformación admisible en la superficie de la subrasante ($\epsilon_{z,adm}$), parámetro que se evalúa para llevar a cabo la optimización de la capa escogida.

Figura 15. Resultados Y Gráficas



De manera interactiva muestra una gráfica como va variando la deformación aplicada en la superficie de la subrasante ($\epsilon_{z,ap}$), correspondiente a un espesor en m determinado por el programa, localizado en la parte inferior de este fichero, el cual ira aumentando en la medida que la deformación admisible (figura 15).

CAPITULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1.- UBICACIÓN DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

Los tramos en estudio del presente trabajo se ubican en Bolivia, en el departamento de Tarija en las provincias Cercado, O'Connor y Avilés, los tramos en estudio son los siguientes:

El tramo Santa Ana – Yesera está ubicada en la provincia Cercado aproximadamente a unos 30 kilómetros de la ciudad de Tarija.

Figura 16. Tramo Santa Ana - Yesera



El tramo Tolomosa – Pampa Redonda se encuentra en la provincia Cercado, aproximadamente a unos 13 kilómetros de la ciudad de Tarija.

Figura 17. Tramo Tolomosa – Pampa Redonda



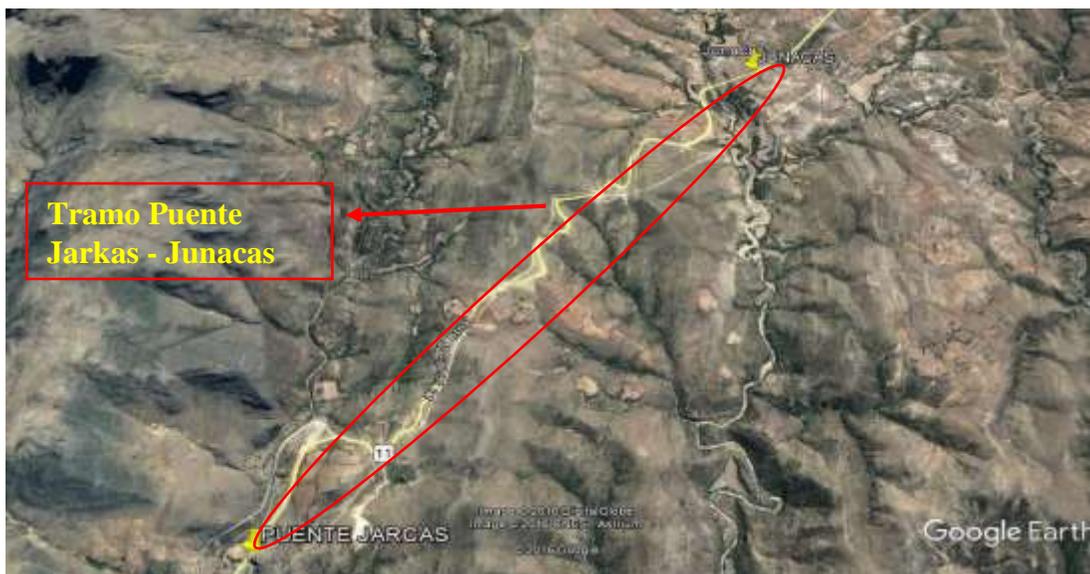
El tramo Pampa Redonda – Tunal está ubicado en la provincia Avilés, aproximadamente a unos 25 kilómetros de la ciudad de Tarija.

Figura 18. Tramo Pampa Redonda - Tunal



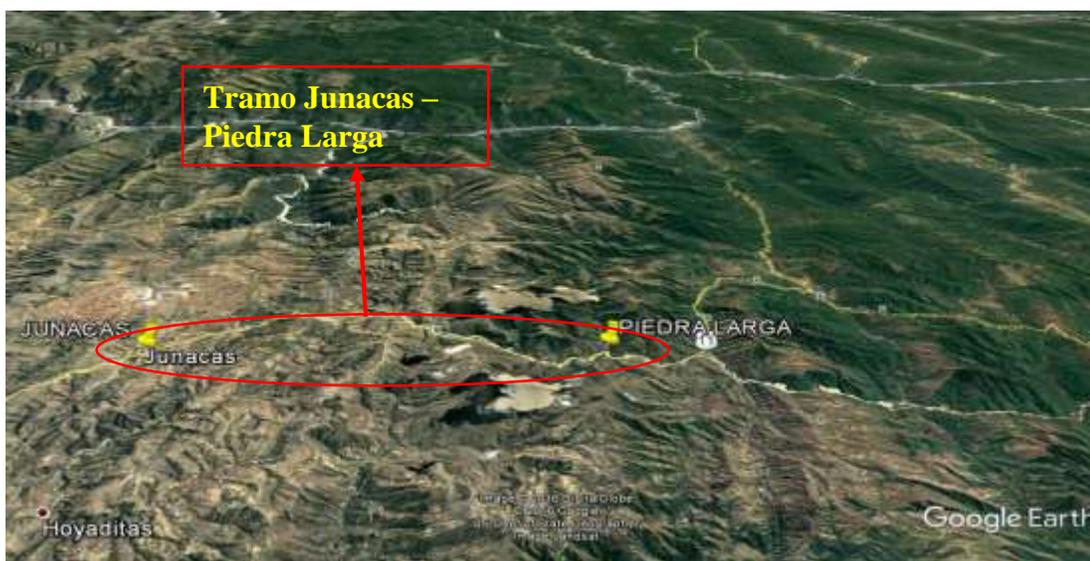
El tramo Puente Jarcas – Junacas se encuentra en la provincia Cercado, aproximadamente a unos 32 a 35 kilómetros de la ciudad de Tarija.

Figura 19. Tramo Puente Jarcas – Junacas



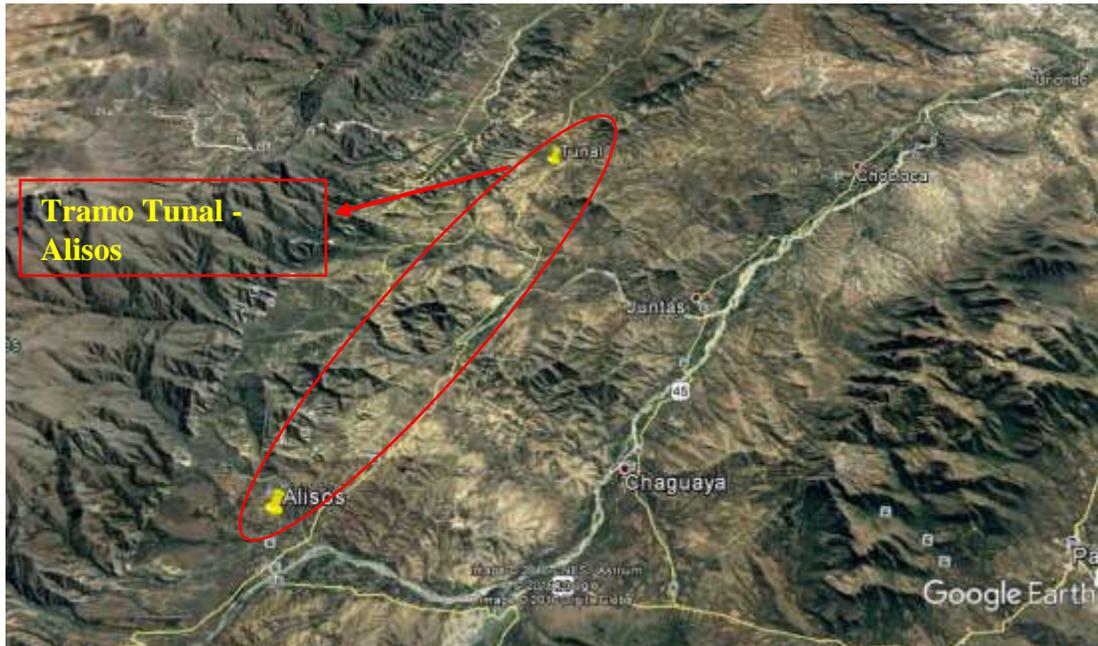
El tramo Junacas – Piedra Larga se encuentra en la provincia Cercado y O'Connor, aproximadamente a unos 40 a 45 kilómetros de la ciudad de Tarija.

Figura 20. Tramo Junacas – Piedra Larga



El tramo Tunal – Alisos se encuentra ubicado en la provincia Avilés, ubicado a unos 30 a 35 kilómetros de la ciudad de Tarija aproximadamente.

Figura 19. Tramo Tunal - Alisos



4.2.- CARACTERÍSTICAS DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

El tramo Santa Ana – Yesera corresponde a la primera sección, los distritos 18 y 19 de la provincia de Cercado del departamento de Tarija. Este tramo tiene un clima frío semiárido con una temperatura media anual entre 17 °C y 25 °C, La precipitación promedio anual es de 683,8 mm, con oscilaciones que varían desde los 308 mm en San Agustín Norte de la subcuenca del río Santa Ana.

El drenaje natural del tramo Santa Ana – Yesera, tributa sus aguas a la subcuenca del río Yesera y del río Santa Ana, pero en el tramo también hay otros afluentes a los ríos donde drenan las aguas.

Recolección de las muestras del tramo Santa Ana – Yesera



El tramo Tolomosa – Pampa Redonda corresponde a la primera sección de la provincia Cercado, distrito 16 del departamento de Tarija. Tiene un clima templado árido con una temperatura media anual que varía entre 14 °C y 23 °C. La precipitación promedio anual es de 683,8 mm.

El drenaje natural de tramo Tolomosa – Pampa Redonda tributa sus aguas a la cuenca de río Tolomosa y a las subcuencas de los ríos Tolomosa, Mena, El Molino y al río Seco.

Recolección de muestras del tramo Tolomosa – Pampa Redonda.





El tramo Pampa Redonda – Tunal corresponde a la primera sección distrito 16 de la provincia Cercado y al distrito 8 Miscas Caldera de la provincia Avilés. Presenta una temperatura media anual aproximada 17,5 ° C. Debido a la existencia de diversas altitudes, se evidencian variados microclimas. Precipitación. En el distrito 8 de Miscas Caldera se presentan lluvias orográficas especialmente en el pie de monte de la cordillera de Sama, y lluvias convectivas en todo el distrito, la precipitación es variada y se presentan dentro del rango de 400 y 1.400 mm. Los meses de mayor precipitación se concentran en el mes de noviembre a marzo y la precipitación media anual aproximada es de 590 mm.

El drenaje natural del tramo Pampa Redonda – Tunal evacúa sus aguas a la cuenca del río Camacho y los ríos Astillero y al río Mena.

Recolección de muestras del tramo Pampa Redonda - Tunal.



El tramo Puente Jarcas – Junacas corresponde a la primera sección, al distrito 21 de la provincia de Cercado del departamento de Tarija. El clima de este tramo es Frío Árido, al oeste de la provincia Cercado, más propiamente abarcando la parte sur del cantón Alto España, casi todo el cantón Junacas y San Agustín, más propiamente dentro la provincia fisiográfica de la cordillera oriental, ocupando serranías medias y piedemontes entre los 2.001 a 3.000 msnm. La temperatura varía entre 8 °C a 24 °C. La precipitación media anual es de 55 mm.

El drenaje natural del tramo Puente Jarcas – Junacas, tributa sus aguas al río San Agustín que es afluente del río Santa Ana, pero en el tramo también hay otros afluentes a los ríos donde drenan las aguas.

Recolección de muestras del tramo Puente Jarcas - Junacas.





El tramo Junacas – Piedra larga corresponde a la primera sección, al distrito 21 de la provincia de Cercado y distrito 2 cantón Narvárez de la provincia O’connor del departamento de Tarija. El clima de este tramo es de frío árido y templado cálido – húmedo en primavera y verano mientras que en otoño e invierno es templado seco. La temperatura media anual que varía entre 8 °C a 19 °C. Con una precipitación media anual de 60 mm.

El drenaje natural del tramo Junacas – Piedra Larga, tributa sus aguas al río San Agustín que es afluente del río Santa Ana y al río Tambo que es el afluente del río Salinas, pero en el tramo también hay otros afluentes a los ríos donde drenan las aguas.

Recolección de muestras del tramo Junacas – Piedra Larga.



El tramo Tunal – Alisos corresponde al distrito 8 Miscas Caldera de la provincia Avilés. Presenta una temperatura media anual aproximada 17,5 ° C. Debido a la existencia de diversas altitudes, se evidencian variados microclimas. Precipitación. En el distrito 8 de Miscas Caldera se presentan lluvias orográficas especialmente en el pie de monte de la cordillera de Sama, y lluvias convectivas en todo el distrito, la precipitación es variada y se presentan dentro del rango de 400 y 1.400 mm. Los meses de mayor precipitación se concentran en el mes de noviembre a marzo y la precipitación media anual aproximada es de 590 mm.

El drenaje natural del tramo Tunal – Alisos evacúa sus aguas a la cuenca del río Tarija y río Alisos y al río Pachara.

Recolección de muestras del tramo Tunal – Alisos.





El drenaje en carreteras es de gran importancia y tiene la finalidad de proteger el paquete estructural de la acción de las aguas tanto superficial como sub superficiales, proporcionándole mejores condiciones de trabajo y por ende extendiendo su vida útil.

El terreno en las zonas planas tiene altos valores de infiltración, razón por la cual los terraplenes contemplan una altura de alrededor de 1 m por encima del nivel de terreno actual, esto con el propósito de evitar que las aguas de infiltración invadan el paquete estructural.

En la zona montañosa, el ampliar la sección típica de diseño, implica un costo considerable; por esta razón, se debe evitar el corte en la medida de lo posible; para este fin se hizo la verificación de una sección de cuneta típica de máxima eficiencia hidráulica, tanto triangular como trapezoidal.

Se debe hacer notar también, que existen lugares donde el terreno natural presenta pendientes mínimas, en los cuales para evitar riegos de anegamiento que puedan comprometer a la carretera.

4.3.- CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

En la caracterización de los materiales se sustrajeron muestras de todos los tramos en estudio, se obtuvieron cinco muestras de cada tramo para llevarlos al laboratorio y realizar su caracterización, los ensayos realizados de todas las muestras fueron de granulometría, límites de Atterberg, compactación y el CBR (California Bearing Ratio).

Imágenes de los ensayos realizados en el laboratorio son granulometría, límites de Atterberg, compactación y el CBR.

Granulometría





Límites de Atterberg





Compactación

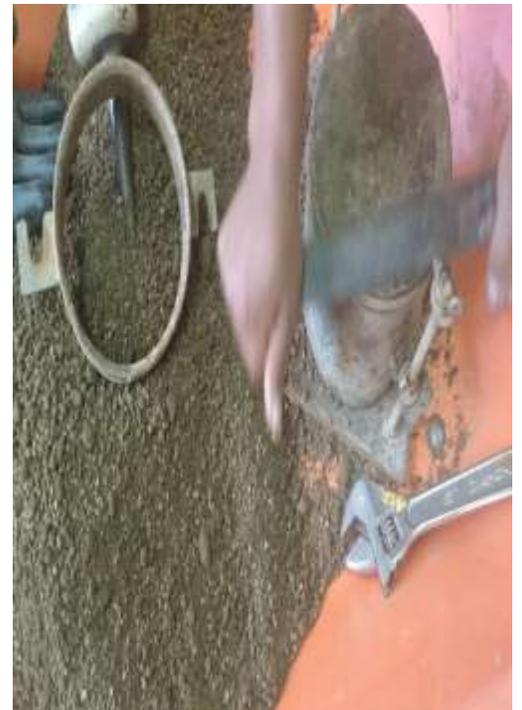






CBR (California Bearing Ratio)











Cuadro Resumen de los ensayos realizados.

Estos ensayos realizados son:

Tramo Santa Ana – Yesera ensayos del 1 al 5.

Tramos Tolomosa – Pampa Redonda ensayos del 6 al 10.

Tramo Pampa Redonda – Tunal ensayos del 11 al 15.

Tramo Puente Jarcas – Junacas ensayos del 16 al 20.

Tramo Junacas – Piedra Larga ensayos del 21 al 25.

Tramo Tunal – Alisos ensayos del 26 al 30.

N°		Proyecto	Estructura	Fecha	Precedencia (Km De)	Material	Granulometría										Límites			Clasif. AASHTO	Compactación		CRR		Exp. de Gr.	Observaciones	Mes Inf.	
							3"	2"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	L.L.	L.P.	I.P.	D _{max}		H _{op}	100%	95%					
1		Tramo Santa Ana - Yesera	Subrasante	25-ago-16	17-600	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,5	96,5	45,6	19,8	14,6	5,2	A-4	2,1	1997	9,1	7,4	5,1	0,8	2,17		ago-16
2		Tramo Santa Ana - Yesera	Subrasante	25-ago-16	18-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	97,4	95,2	88,8	85,0	58,4	24,8	15,3	9,4	A-4	4,7	2004	10,8	5,1	2,9	1,4	4,88		ago-16
3		Tramo Santa Ana - Yesera	Subrasante	30-ago-16	18-500	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,3	94,5	84,7	42,8	21,6	15,6	6,1	A-4	1,6	2031	7,4	7,3	4,4	1,6	1,55		ago-16
4		Tramo Santa Ana - Yesera	Subrasante	30-ago-16	19-680	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,1	93,6	68,5	35,1	22,9	12,2	A-6	7,6	1843	10,9	3,7	3,0	2,2	7,59		ago-16	
5		Tramo Santa Ana - Yesera	Subrasante	02-sep-16	20-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,9	94,6	56,3	27,0	19,3	7,7	A-4	4,3	1968	11,1	4,9	3,1	1,1	4,27		ago-16	
6		Tramo Tolomea - Pampa Redonda	Subrasante	02-sep-16	6-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	95,0	33,1	18,0	15,1	A-6	10,9	1804	15,7	3,9	3,1	1,1	10,04		ago-16	
7		Tramo Tolomea - Pampa Redonda	Subrasante	05-sep-16	8-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,4	95,2	90,5	42,5	22,7	19,8	A-7-6	12,4	1913	12,9	1,7	1,4	2,0	12,4		ago-16	
8		Tramo Tolomea - Pampa Redonda	Subrasante	06-sep-16	9-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,0	95,9	48,6	34,7	13,9	A-7-5	11,3	1733	15,8	1,7	1,3	2,7	11,27		ago-16	
9		Tramo Tolomea - Pampa Redonda	Subrasante	08-sep-16	10-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,4	94,6	79,7	31,3	22,6	8,7	A-4	8,0	1872	13,2	6,8	4,5	2,3	8		ago-16	
10		Tramo Tolomea - Pampa Redonda	Subrasante	12-sep-16	11-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,0	96,4	89,2	54,1	30,8	23,3	A-7-5	16,1	1838	7,0	1,2	0,9	2,7	16,12		ago-16	
11		Tramo Pampa Redonda - Tunal	Subrasante	19-sep-16	2-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	98,1	91,0	70,2	39,3	28,7	10,5	A-6	7,2	1976	6,6	3,8	2,9	1,2	7,25		ago-16
12		Tramo Pampa Redonda - Tunal	Subrasante	21-sep-16	2-400	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,5	98,4	87,9	43,9	30,1	13,9	A-7-5	10,3	1849	9,3	1,6	1,3	1,4	10,33		ago-16
13		Tramo Pampa Redonda - Tunal	Subrasante	26-sep-16	2-800	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,9	93,9	89,2	73,3	38,9	23,6	15,2	A-6	9,7	1801	14,6	3,2	2,6	2,5	9,75		ago-16
14		Tramo Pampa Redonda - Tunal	Subrasante	03-oct-16	3-200	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,3	94,9	72,8	29,7	23,2	6,5	A-4	7,6	1851	15,4	15,5	8,8	1,3	7,56		oct-16	
15		Tramo Pampa Redonda - Tunal	Subrasante	05-sep-16	3-500	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	98,5	71,7	21,3	17,7	3,6	A-4	7,3	1932	9,5	10,6	6,6	0,7	7,33		ago-16	
16		Tramo Puente Jarcas - Junacas	Subrasante	03-oct-16	4-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	86,6	83,0	81,8	65,2	62,1	54,4	41,5	21,7	19,8	A-7-6	7,9	1471	27,6	1,8	1,4	3,9	9,91		oct-16
17		Tramo Puente Jarcas - Junacas	Subrasante	04-oct-16	4-500	Material para estudio	100,0	100,0	67,7	60,5	56,2	52,8	50,8	45,9	37,8	19,3	13,2	6,0	A-4	0,6	1847	13,5	6,4	4,4	2,8	0,57		oct-16
18		Tramo Puente Jarcas - Junacas	Subrasante	05-oct-16	5-000	Material para estudio	100,0	100,0	92,6	91,0	88,2	86,5	84,7	81,4	70,4	42,7	33,0	9,7	A-5	7,6	1922	26,9	4,0	3,1	1,4	7,56		oct-16
19		Tramo Puente Jarcas - Junacas	Subrasante	10-oct-16	5-500	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,5	90,3	86,6	38,0	25,6	12,4	A-6	9,0	1763	15,7	3,1	2,7	5,5	8,96		oct-16
20		Tramo Puente Jarcas - Junacas	Subrasante	12-oct-16	6-000	Material para estudio	100,0	100,0	89,4	85,7	80,0	75,7	72,6	70,4	63,2	29,4	18,5	10,8	A-6	6,0	1782	15,8	3,1	2,6	5,3	5,96		oct-16
21		Tramo Junacas - Piedra Larga	Subrasante	13-oct-16	-30	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,6	93,6	85,9	43,1	32,5	10,6	A-7-5	8,9	1471	27,6	1,9	1,5	3,9	8,86		oct-16	
22		Tramo Junacas - Piedra Larga	Subrasante	14-oct-16	-680	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	98,9	92,8	84,6	74,9	58,9	46,1	33,2	29,4	3,8	A-4	2,2	1884	13,4	6,5	4,7	2,8	2,21		oct-16
23		Tramo Junacas - Piedra Larga	Subrasante	16-oct-16	1-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	95,8	31,8	29,2	2,5	A-4	8,0	1847	13,5	6,4	4,5	2,8	8		oct-16	
24		Tramo Junacas - Piedra Larga	Subrasante	19-oct-16	1-500	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,5	90,3	86,6	38,0	25,6	12,4	A-6	9,0	1763	15,7	3,1	2,7	5,5	8,97		oct-16	
25		Tramo Junacas - Piedra Larga	Subrasante	20-oct-16	2-000	Material para estudio	100,0	100,0	89,4	85,7	80,0	75,7	72,6	70,4	63,2	31,8	20,0	11,8	A-6	6,4	1790	15,4	3,1	2,7	5,5	6,36		oct-16
26		Tramo Tunal - Ailoes	Subrasante	21-oct-16	5-000	Material para estudio	100,0	100,0	96,7	96,3	94,2	91,4	88,8	81,7	45,3	27,8	17,7	10,1	A-4	2,1	1901	13,1	8,5	4,8	1,6	2,09		oct-16
27		Tramo Tunal - Ailoes	Subrasante	24-oct-16	5-500	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,7	89,7	86,2	37,5	25,5	12,0	A-6	8,8	1726	15,2	2,8	2,4	5,4	8,81		oct-16	
28		Tramo Tunal - Ailoes	Subrasante	25-oct-16	6-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,2	97,6	90,5	42,4	27,6	14,8	A-7-6	10,4	1606	21,3	1,7	1,3	3,9	10,43		oct-16	
29		Tramo Tunal - Ailoes	Subrasante	26-oct-16	6-500	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,1	95,0	75,1	35,4	25,8	9,5	A-4	8,0	1998	20,7	4,9	3,8	3,4	8		oct-16	
30		Tramo Tunal - Ailoes	Subrasante	27-oct-16	7-000	Material para estudio	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,8	71,2	47,5	32,5	22,2	10,3	A-4	2,6	1877	13,1	6,4	4,5	2,8	2,59		oct-16	

Sac del Escobedo
TECNICO DEL LABORATORIO

Ing Luis Vargas
RESP LAS SUELOS Y ASFALTOS



SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

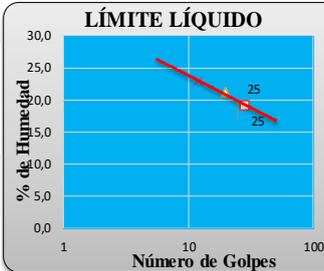
Proyecto	Tramo Santa Ana - Yesera				
Material	Material para estudio	Estructura	Subrasante	Nº Ensayo	1
Profundidad (m.)	1, M			Fecha	24-ago.-2016
Origen (Km.)	17+600	Pozo(Km.)	17+600	Realizado	Nestor Tarraga

GRANULOMETRÍA

Peso total seco (grs.)		700,0			Muestra pasa tamiz Nº 4			700,0
Tamiz	Peso Retenido	Peso Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que	Abertura	Especificaciones	
Nº	Tamiz (grs.)	Acumulado (grs.)	Tamiz	Acumulado	Pasa	Mm.		
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20		
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	50,80		
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	25,40		
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	19,05		
3/8"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	9,525		
4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	4,800		
10	10,2	10,2	1,5	1,5	98,5	2,000		
40	14,3	24,5	2,0	3,5	96,5	0,420		
200	356,1	380,6	50,9	54,4	45,6	0,074		

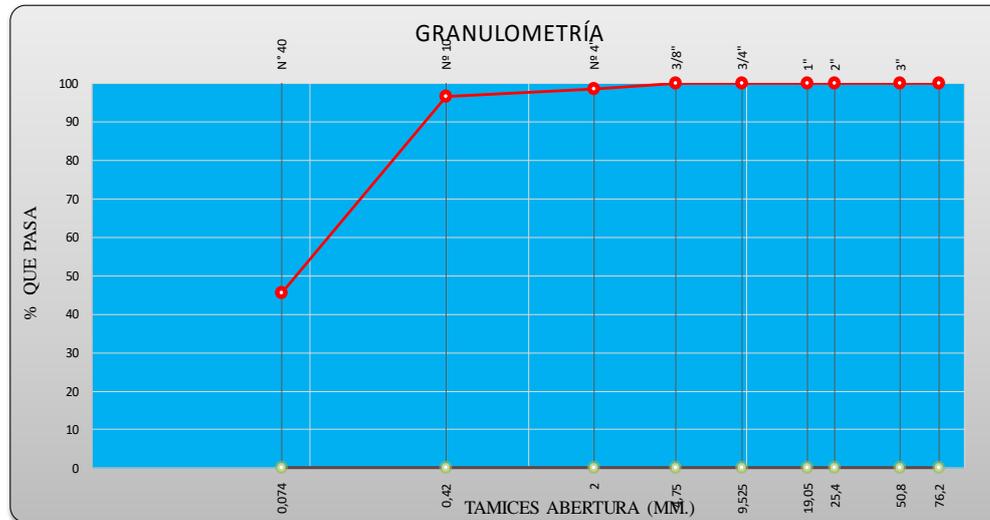
LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89

Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
11	76,52	72,99	3,53	54,56	18,43	19,15	28
15	79,83	75,61	4,22	55,61	20,00	21,10	20
16	80,49	75,72	4,77	54,91	20,81	22,92	12



LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

Nº	Peso Suelo	Peso Suelo Seco	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
10	60,37	59,79	0,58	55,75	4,04	14,36	
3	61,30	60,49	0,81	55,04	5,45	14,86	14,61



OBSERVACIONES.-

Límite Líquido	19,8	Límite Plástico	14,6	Índice de plasticidad	5,2	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145 AASHTO A - 4 (2)
----------------	-------------	-----------------	-------------	-----------------------	------------	--

Índice de Grupo	2,13
-----------------	-------------

.....
Samuel Rocabado
TECNICO DE LABORATORIO

.....
Ing. Luis Vargas
RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



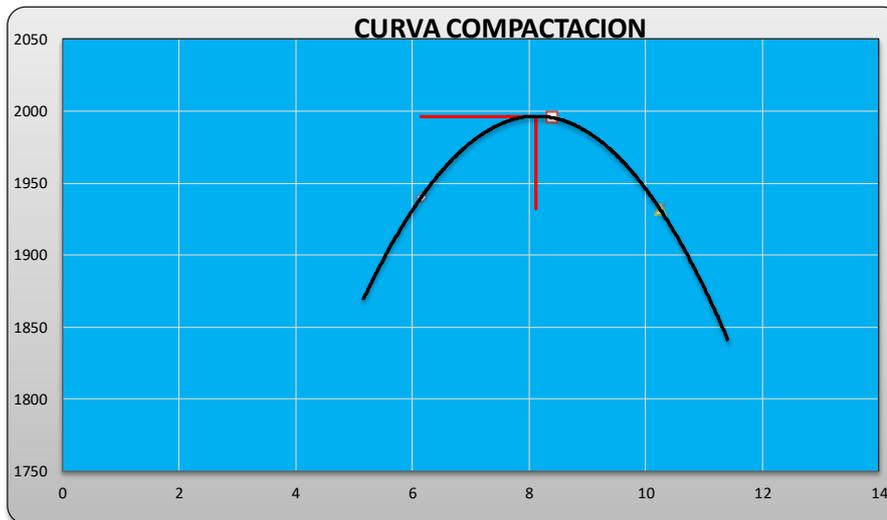
SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ENSAYO DE COMPACTACION



Proyecto	Tramo Santa Ana - Yesera				
Material	Material para estudio	Estructura	Subrasante	Ensayo	1
Profundidad (m.)	1, M			Fecha	24-ago.-2016
Origen	17+600	Pozo (Km.)	17+600	Realizado	Nestor Tarraga

COMPACTACION

Determinación Nº	Unidad	1	2	3
Nº Capas	Capas	5	5	5
Nº Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	7690,0	7909,0	7839,0
Peso del Molde	gr.	3317,0	3317,0	3317,0
Peso Suelo Húmedo	gr.	4373,0	4592,0	4522,0
Volumen del Molde	cc	2123,0	2123,0	2123,0
Peso Especifico Húmedo	Kg./m3	2059,8	2163,0	2130,0
Cápsula No		20	19	16
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	493,70	485,60	485,40
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	471,40	456,30	450,10
Peso Agua	gr.	22,30	29,30	35,30
Peso Cápsula	gr.	109,10	107,10	105,50
Peso Suelo Seco	gr.	362,30	349,20	344,60
Contenido de Humedad	%	6,16	8,39	10,24
Densidad Suelo Seco	Kg./m3	1940,4	1995,5	1932,1



Densidad Máxima = 1997 Kg./m3
Humedad Optima = 8,1 %

OBSERVACIONES.-

.....
 Samuel Rocabado
 TECNICO DE LABORATORIO

.....
 Ing. Luis Vargas
 RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y ASFALTOS



CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Proyecto		Tramo Santa Ana - Yesera			
Material	Material para estudio	Estructura	Subrasante	Ensayo	1
Profundidad (m.)	1, M			Fecha	25-ago.-2016
Origen (Km.)	17+600	Pozo (Km.)	17+600	Realizado	Nestor Tarraga

TAMIZ	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	IP	CLASIF.
% PASA	100,0	98,5	96,5	45,6	19,8	5,2	A - 4 (2)

CALCULADO:

Molde Nº	1	1	2	2	3	3
Nº de Capas	5	5	5	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	13060	13240	12740	12950	12500	12820
Peso Molde (grs.)	8478	8478	8455	8455	8376	8376
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4582	4762	4285	4495	4124	4444
Volumen de la muestra (cm3)	2118	2118	2093	2093	2119	2119
Densidad Húmeda (grs./cm3)	2,163	2,248	2,047	2,148	1,946	2,097

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara Nº	16	0	21	0	20	0
Peso Suelo Húmedo+Tara	453,80	0,00	521,80	0,00	478,60	0,00
Peso Suelo Seco + Tara	428,30	0,00	489,30	0,00	452,30	0,00
Peso Agua	25,50	0,00	32,50	0,00	26,30	0,00
Peso Tara	105,50	0,00	104,10	0,00	109,10	0,00
Peso Suelo Seco	322,80	0,00	385,20	0,00	343,20	0,00
% de Humedad	7,90	12,14	8,44	13,75	7,66	16,02
Densidad Seca Probeta (grs./cm3)	2,005	2,005	1,888	1,888	1,808	1,808
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm3)	1,997	1,997	1,997	1,997	1,997	1,997
% De Compactación	100,4	100,4	94,6	94,6	90,5	90,5

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión	Lect., mm	% Expansión
24-ago-16			0		0		0	
25-ago-16			90	0,9	89	0,89	86	0,86

Factor Aro **5000**

% Exp. Total **0,8**

PENETRACIÓN			Carga Kg./cm2	Lect. Dial	Carga (Kg/cm2)			Lect. Dial	Carga (Kg/cm2) Calc.	%	Lect. Dial	Carga (Kg/cm2)		
Min.	Pulg.	Mm.			Calc.	Correg.	C.B.R.					Calc.	Correg.	C.B.R.
0,5	0,025	0,64		15	0,8		12	0,6			2	0,1		
1,0	0,050	1,27		30	1,6		22	1,1			4	0,2		
1,5	0,075	1,91		35	1,8		30	1,6			6	0,3		
2,0	0,100	2,54	70,3	55	2,8	5,4	42	2,2	3,0	4,3	10	0,5	2,5	3,6
3,0	0,150	3,81		90	4,7		79	4,1			18	0,9		
4,0	0,200	5,08	105,5	120	6,2	6,2	102	5,3	5,3	5,0	28	1,4	1,4	1,4
6,0	0,300	7,62		250	12,9		153	7,9			42	2,2		
8,0	0,400	10,16		350	18,1		186	9,6			84	4,4		
10,0	0,500	12,70		0	0,0		0	0,0			0	0,0		

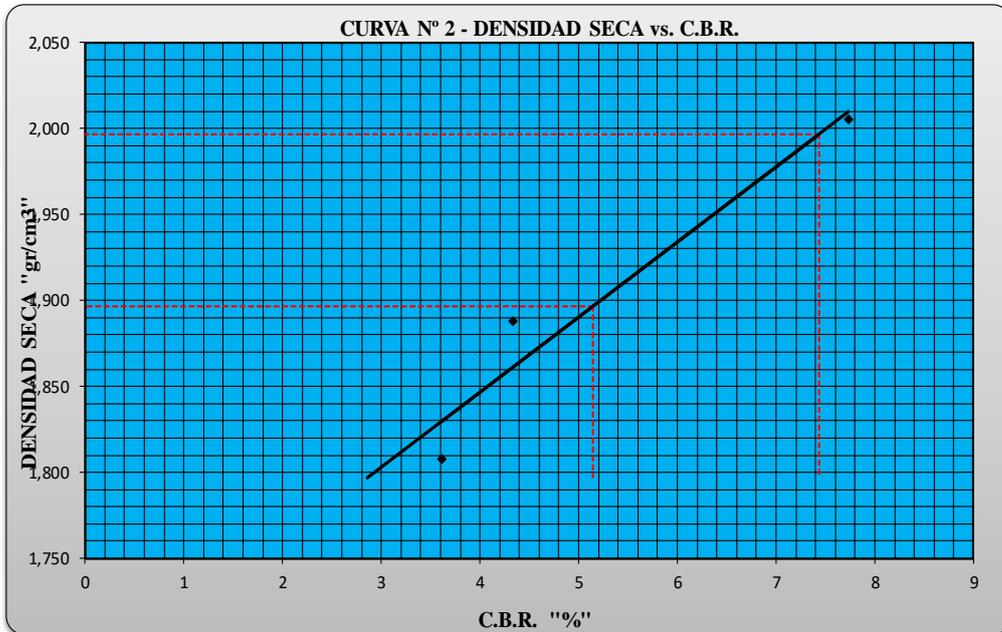
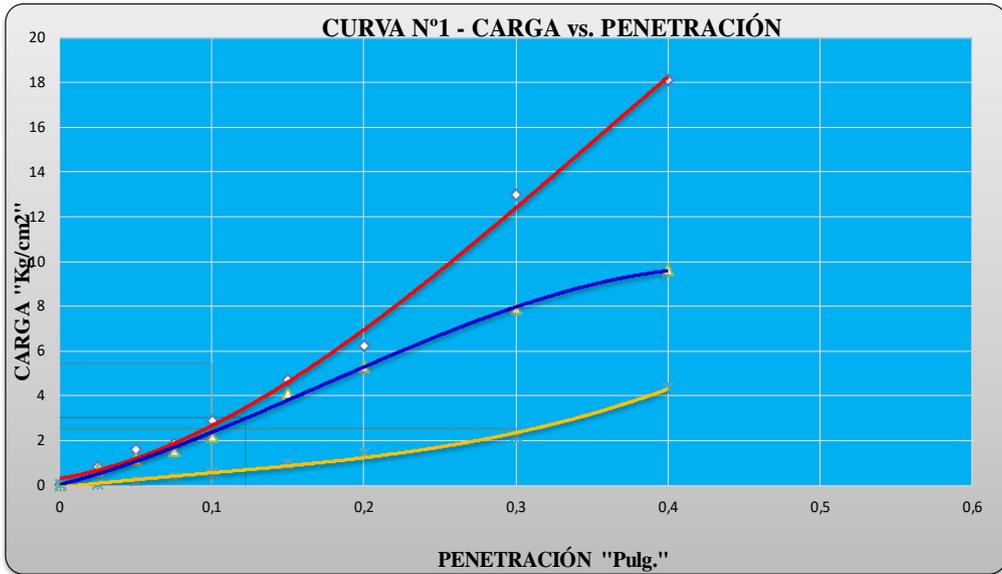
Observaciones.-

.....
Samuel Rocabado

.....
Ing. Luis Vargas

TECNICO DE LABORATORIO

RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



DENS. AL 90% : 1,797 gr/cm3	C.B.R.. AL 90% : <u>2,9</u>	N° 1
DENS. AL 95% : 1,897 gr/cm3	C.B.R.. AL 95% : 5,1	
DENS. AL 100% : 1,997 gr/cm3	C.B.R.. AL 100% : 7,4	
EXP. AL 95% : 0,8	EXP. AL 100% : 0,8	

.....
 Samuel Rocabado
 TECNICO DE LABORATORIO

.....
 Ing. Luis Vargas
 RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Proyecto	Tramo Santa Ana - Yesera				
Material	Material para estudio			Nº Ensayo	2
Profundidad (m.)	1, M		Estructura	Subrasante	24-ago-2016
Origen (Km.)	18+000		Pozo(Km.)	18+000	Realizado Nestor Tarraga

GRANULOMETRÍA

Peso total seco (grs.)		600,0			Muestra pasa tamiz Nº 4		600,0	
Nº Tamiz	Peso Retenido Tamiz (grs.)	Peso Retenido Acumulado (grs.)	% Retenido Tamiz	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Abertura Mm.	Especificaciones	
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20		
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	50,80		
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	25,40		
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	19,05		
3/8"	15,8	15,8	2,6	2,6	97,4	9,525		
4	13,0	28,8	2,2	4,8	95,2	4,800		
10	40,2	40,2	6,7	11,2	88,8	2,000		
40	23,8	64,0	4,0	15,0	85,0	0,420		
200	167,8	231,8	28,0	41,6	58,4	0,074		

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89

Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
18	77,55	73,48	4,07	54,19	19,29	21,10	44
14	78,08	73,84	4,24	55,07	18,77	22,59	34
10	78,46	73,9	4,56	55,75	18,15	25,12	24

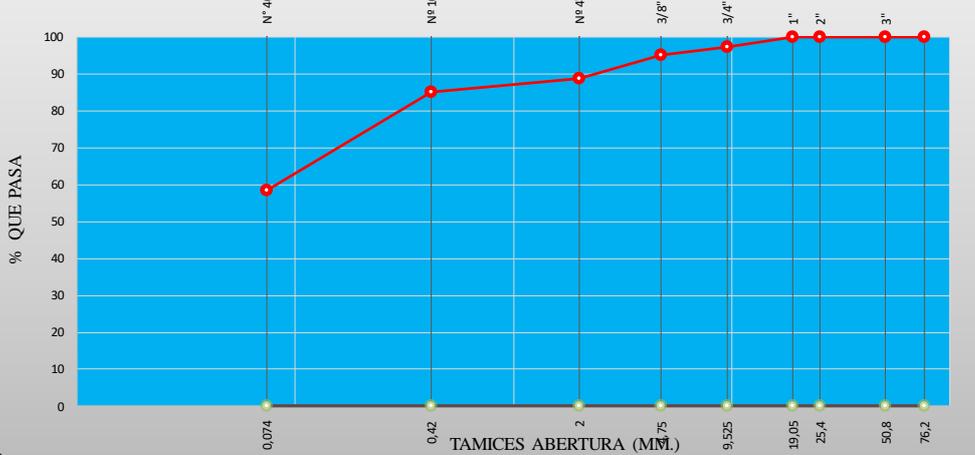
LÍMITE LÍQUIDO



LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
7	60,56	59,87	0,69	55,33	4,54	15,20	
3	60,41	59,69	0,72	55,04	4,65	15,48	15,34

GRANULOMETRÍA



OBSERVACIONES.-

Limite Líquido	24,8	Limite Plástico	15,3	Índice de plasticidad	9,4	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145
						AASHTO A - 4 (5)

Índice de Grupo	4,68
-----------------	-------------

.....
Samuel Rocabado
TECNICO DE LABORATORIO

.....
Ing. Luis Vargas
RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



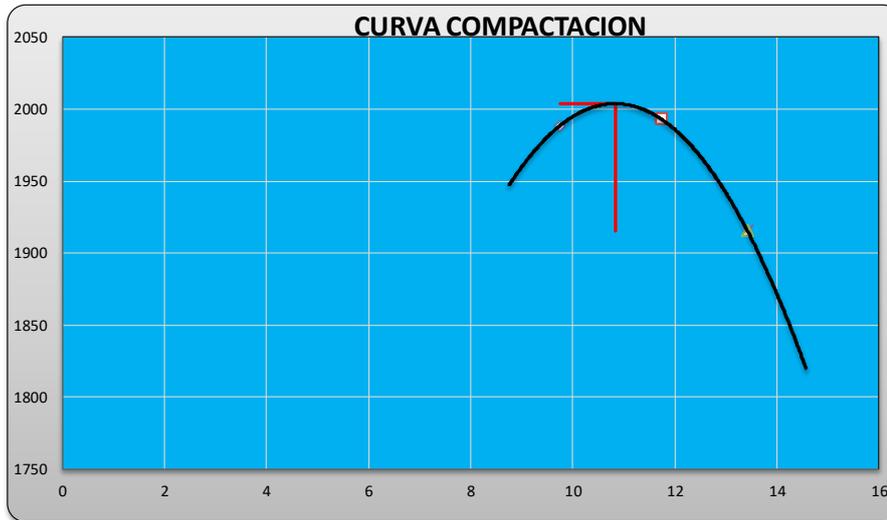
SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
ENSAYO DE COMPACTACION



Proyecto	Tramo Santa Ana - Yesera				
Material	Material para estudio	Estructura	Subrasante	Ensayo	2
Profundidad (m.)	1, M			Fecha	24-ago.-2016
Origen	18+000	Pozo (Km.)	18+000	Realizado	Nestor Tarraga

COMPACTACION

Determinación Nº	Unidad	1	2	3
Nº Capas	Capas	5	5	5
Nº Golpes P/Capas	Golpes	56	56	56
Peso del Molde + Suelo Húmedo	gr.	7950,0	8045,0	7930,0
Peso del Molde	gr.	3317,0	3317,0	3317,0
Peso Suelo Húmedo	gr.	4633,0	4728,0	4613,0
Volumen del Molde	cc	2123,0	2123,0	2123,0
Peso Especifico Húmedo	Kg./m3	2182,3	2227,0	2172,9
Cápsula No		1	3	20
Peso Cápsula + Suelo Húmedo	gr.	542,30	535,50	544,30
Peso Cápsula + Suelo Seco	gr.	503,60	490,30	492,80
Peso Agua	gr.	38,70	45,20	51,50
Peso Cápsula	gr.	106,60	105,00	109,10
Peso Suelo Seco	gr.	397,00	385,30	383,70
Contenido de Humedad	%	9,75	11,73	13,42
Densidad Suelo Seco	Kg./m3	1988,5	1993,2	1915,7



Densidad Máxima = 2004 Kg./m3
Humedad Optima = 10,8 %

OBSERVACIONES.- _____

.....
 Samuel Rocabado
 TECNICO DE LABORATORIO

.....
 Ing. Luis Vargas
 RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS


SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y ASFALTOS

CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

Proyecto Tramo Santa Ana - Yesera						
Material	Material para estudio			Ensayo	2	
Profundidad (m.)	1, M			Estructura	Subrasante	
Origen (Km.)	18+000			Pozo (Km.)	18+000	
				Fecha	25-ago.-2016	
				Realizado	Nestor Tarraga	

TAMIZ	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	LL	IP	CLASIF.
% PASA	95,2	88,8	85,0	58,4	24,8	9,4	A - 4 (5)

CALCULADO:

Molde Nº	10	10	11	11	12	12
Nº de Capas	5	5	5	5	5	5
Nº de Golpes / Capa	56	56	25	25	12	12
Condición de la Muestra	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.	Antes Embeber	Desp. Embeb.
Peso Muestra Húmeda+Molde (grs.)	12172	12306	12010	12226	11930	12203
Peso Molde (grs.)	7456	7456	7450	7450	7528	7528
Peso Muestra Húmeda (grs.)	4716	4850	4560	4776	4402	4675
Volumen de la muestra (cm³)	2120	2120	2123	2123	2135	2135
Densidad Húmeda (grs./cm³)	2,225	2,288	2,148	2,250	2,062	2,190

COMPACTACIÓN Y EMBEBIMIENTO

	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido	Compactado	Embebido
Tara Nº	24	0	5	0	22	0
Peso Suelo Húmedo+Tara	464,80	0,00	573,40	0,00	538,10	0,00
Peso Suelo Seco + Tara	430,50	0,00	528,30	0,00	495,60	0,00
Peso Agua	34,30	0,00	45,10	0,00	42,50	0,00
Peso Tara	104,50	0,00	101,40	0,00	101,90	0,00
Peso Suelo Seco	326,00	0,00	426,90	0,00	393,70	0,00
% de Humedad	10,52	13,66	10,56	15,80	10,80	17,67
Densidad Seca Probeta (grs./cm³)	2,013	2,013	1,943	1,943	1,861	1,861
Densidad Máxima Laboratorio (grs./cm³)	2,004	2,004	2,004	2,004	2,004	2,004
% De Compactación	100,4	100,4	96,9	96,9	92,9	92,9

DETERMINACIÓN DE LA EXPANSIÓN

Fecha	Hora	Obs.	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión	Lect..	mm	% Expansión
24-ago-16			0			0			0		
25-ago-16			150	1,5	1,29 %	177	1,77	1,53 %	158	1,58	1,36 %

Factor Aro 5000
% Exp. Tota 1,4

PENETRACIÓN			Carga	Lect.	Carga (Kg/cm ²)	%	Lect.	Carga (Kg/cm ²)	%	Lect.	Carga (Kg/cm ²)	%			
Min.	Pulg.	Mm.	Kg./cm ²	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.	Dial	Calc.	Correg.	C.B.R.
0,5	0,025	0,64		11	0,6			9	0,4			5	0,2		
1,0	0,050	1,27		22	1,2			19	1,0			11	0,6		
1,5	0,075	1,91		37	1,9			28	1,5			20	1,0		
2,0	0,100	2,54	70,3	51	2,6	3,7	5,3	38	2,0	2,0	2,9	28	1,5	1,9	2,7
3,0	0,150	3,81		77	4,0			59	3,0			45	2,3		
4,0	0,200	5,08	105,5	106	5,5	5,5	5,2	79	4,1	4,1	3,9	59	3,1	3,1	2,9
6,0	0,300	7,62		150	7,8			112	5,8			80	4,1		
8,0	0,400	10,16		193	9,9			134	6,9			96	5,0		
10,0	0,500	12,70		0	0,0			0	0,0			0	0,0		

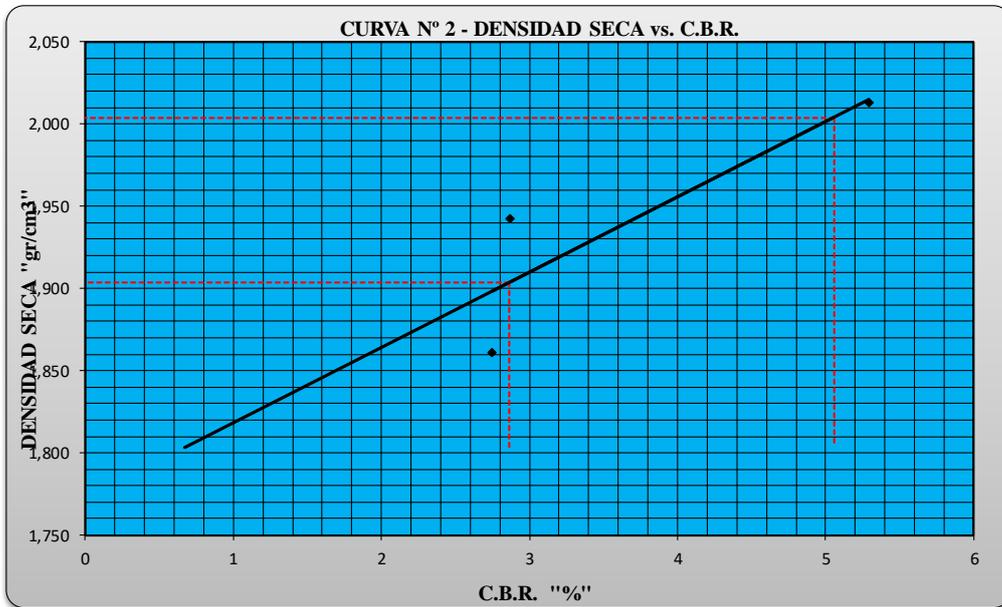
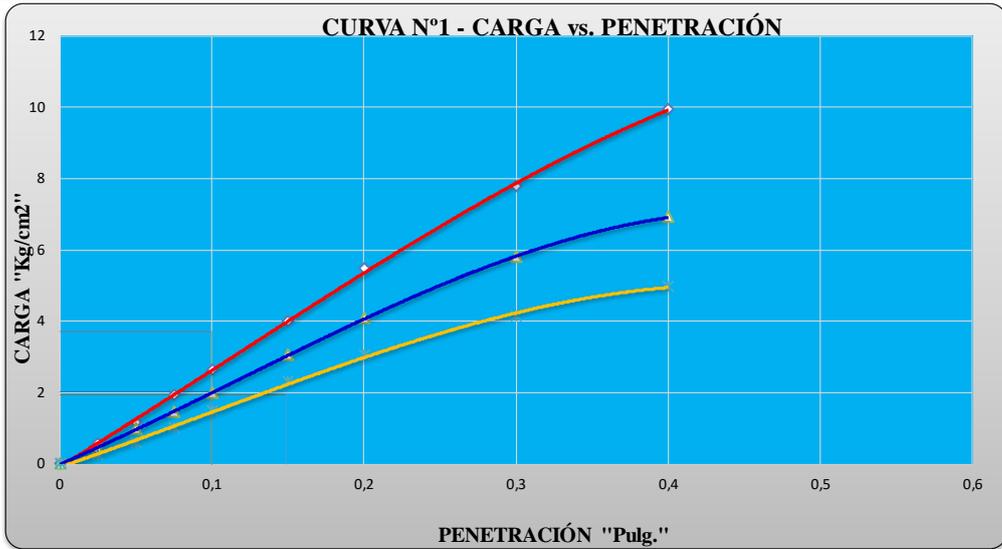
Observaciones.-

 Samuel Rocabado

 Ing. Luis Vargas

TECNICO DE LABORATORIO

RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



DENS. AL 90% : 1,803 gr/cm3	C.B.R.. AL 90% : <u>0,7</u>	N° 2
DENS. AL 95% : 1,904 gr/cm3	C.B.R.. AL 95% : 2,9	
DENS. AL 100% : 2,004 gr/cm3	C.B.R.. AL 100% : 5,1	
EXP. AL 95% : 1,5	EXP. AL 100% : 1,3	

.....
 Samuel Rocabado
 TECNICO DE LABORATORIO

.....
 Ing. Luis Vargas
 RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS



**SERVICIO DEPARTAMENTAL DE CAMINOS
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**



CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Proyecto	Tramo Santa Ana - Yesera				
Material	Material para estudio			Nº Ensayo	3
Profundidad (m.)	1, M		Estructura	Subrasante	29-ago-2016
Origen (Km.)	18+500	Pozo(Km.)	18+500	Realizado	Nestor Tarraga

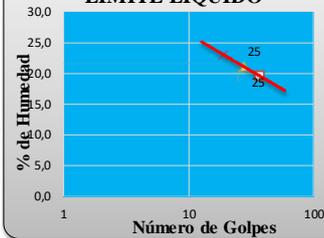
GRANULOMETRÍA

Peso total seco (grs.)		600,0			Muestra pasa tamiz Nº 4		600,0	
Nº Tamiz	Peso Retenido Tamiz (grs.)	Peso Retenido Acumulado (grs.)	% Retenido Tamiz	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Abertura Mm.	Especificaciones	
3"	0	0,0	0,0	0,0	100,0	76,20		
2"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	50,80		
1"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	25,40		
3/4"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	19,05		
3/8"	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	9,525		
4	10,3	10,3	1,7	1,7	98,3	4,800		
10	23,0	23,0	3,8	5,5	94,5	2,000		
40	60,1	83,1	10,0	15,3	84,7	0,420		
200	255,9	339,0	42,7	57,2	42,8	0,074		

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89

Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
7	86,33	81,25	5,08	55,33	25,92	19,60	37
10	88,31	82,65	5,66	55,75	26,90	21,04	28
12	47,6	44,96	2,64	33,50	11,46	23,04	19

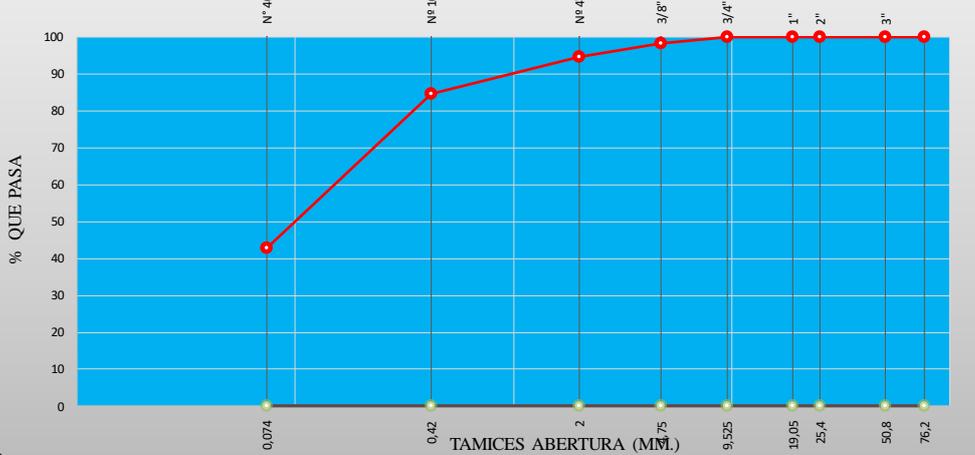
LÍMITE LÍQUIDO



LIMITES DE ATTERBERG (Límite Plástico) AASHTO T-90

Nº Tara	Peso Suelo Hum.+Tara	Peso Suelo Seco+Tara	Peso agua	Peso Tara	Peso Suelo Seco	% de hum.	Nº de Golpes
14	61,03	60,18	0,85	55,07	5,11	16,63	
15	61,61	60,85	0,76	55,61	5,24	14,50	15,57

GRANULOMETRÍA



OBSERVACIONES.-

Limite Líquido	21,6	Limite Plástico	15,6	Índice de plasticidad	6,1	CLASIFICACIÓN AASHTO M 145
						A - 4 (2)

Índice de Grupo	1,55
-----------------	-------------

.....
Samuel Rocabado
TECNICO DE LABORATORIO

.....
Ing. Luis Vargas
RESP. LAB. SUELOS Y ASFALTOS