

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160 Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	---

ESTUDIO GEOTÉCNICO Y PROYECTO DE PAVIMENTO

Carretera: Miahuatlán de Porfirio Díaz – Santa
Catarina Roatina

Tramo: Miahuatlán de Porfirio Díaz – Santa
Catarina Roatina, del km. 0+000 al
km. 5+000

Entidad: Oaxaca.

Octubre 2014.



CONTENIDO

- 1.- Introducción.**
- 2.- Localización Del Proyecto.**
- 3.- Características Geográficas**
- 4.- Trabajos de Campo y Laboratorio**
- 5.- Bancos de Préstamos.**
- 6.- Recomendaciones Generales**
- 7.- Espesores de Pavimento.**

Anexos

- Anexo 1: Informe de Terracerías Existentes**
- Anexo 2: Informe de Estudio de Geotecnia**
- Anexo 3 : Estratigrafía por Sondeo.**
- Anexo 4: Ubicación de Bancos de Materiales para Terracerías**
- Anexo 5: Ubicación de Bancos de Materiales para Pavimento**
- Anexo 6: Ensayes de Materiales de Banco para Terracerías**
- Anexo 7: Ensayes de Materiales de Banco para Base Hidráulica.**
- Anexo 8: Ensayes de Materiales para Mezcla Asfáltica.**
- Anexo 9: Cálculo de VRS's Críticos para el Método del Instituto De Ingeniería de la U.N.A.M.**
- Anexo 10: Informe Fotográfico.**



1.- INTRODUCCIÓN

El tramo en estudio, con una longitud total de 5.0 km, se encuentra a nivel revestimiento, para su pavimentación requiere algunas modificaciones, en su sección transversal y longitudinal, a fin de mejorar su trazo en cuanto a pendiente longitudinal y de algunas curvas, que no cumplen con las especificaciones requeridas para un camino pavimentado.

Con las modificaciones del trazo y la pavimentación de este camino, se pretende mejorar las condiciones de su tránsito vehicular, haciéndolo más seguro y cómodo, reduciendo el tiempo de traslado, en toda época del año.

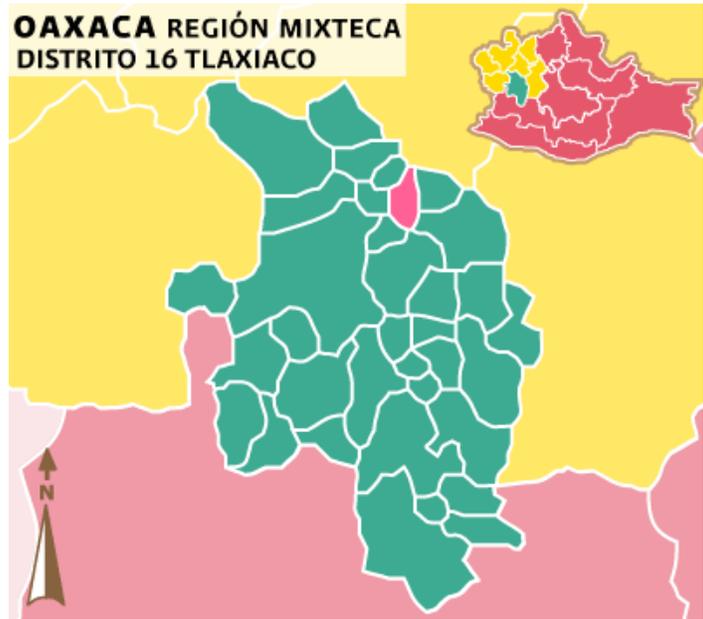
El camino actual corresponde a un Tipo “D” con un ancho promedio de la corona de 6.0 m, el estudio y proyecto tiene la finalidad de ampliar este ancho a 7.0 m, así como su alineamiento horizontal y vertical, a un camino Tipo “D” a nivel de pavimento asfáltico.

2.- LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.

2.1 Localización:

Santa Catarina Roatina, Este municipio se localiza a los 17° 20' latitud norte y 97° 33' longitud oeste del meridiano de Greenwich. Colinda al norte con Santa María Nduayaco Teposcolula, al sur con San Cristóbal Amoltepec, al este con San Miguel Achiutla y San Juan Achiutla, al oeste con Santa María el Rosario, al noroeste con Santa Cruz Tayata, al suroeste con Tlaxiaco, al sureste con Magdalena Peñasco; todos estos municipios pertenecen al distrito de Tlaxiaco, excepto Santa María Nduayaco. Esta comunidad se encuentra a una altura de 2,100 msnm.

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160 Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	---



2.2 Extensión

Cuenta con una superficie de 47.2 km², representa el 0.05% de la superficie total del estado.

3.- Características Geográficas

3.1 Orografía

La población de Santa Catarina Tayata se encuentra asentada entre dos elevaciones pequeñas, denominadas el calvario y el panteón. Cerro llamado Majada del Toro, La Corona, Yucushito.



3.2 Hidrografía

En este municipio se cuenta con los siguientes arroyos: Al norte con el río Yutendaco, que nace en territorio de Santa Cruz Tayata; al sur está el río Colorado que nace en territorio de Santa María el Rosario, al este está el río Yuterancho. Existen otros arroyuelos que pierden su caudal en temporada de sequía.

3.3 Clima

El clima predominante en este municipio es variable, ya que en la época de lluvias que va entre abril a octubre, es generalmente templado, con vientos húmedos del Este. En los meses que van de noviembre a febrero y marzo, el clima es frío y con vientos secos del norte que siempre terminan con heladas en los meses de diciembre a febrero esto también es variable ya que hay años en que hela mucho y en otros poco.

3.4 principales ecosistemas.

Flora:

En este municipio se pueden encontrar dentro de los recursos forestales árboles como: Encino amarillo, rojo, blanco, ocote, enebro, madroño, palo de ramón, sabino, ahuehuate, que crece a orillas de los arroyos. Frutos: manzanos, durazno, níspero, capulín, limón, membrillo, aguacate, tejocote.

Fauna.

Los animales silvestres que habitan en estos lugares son: Coyotes, zorros, tejones.

3.5 Recursos Naturales.

Se sabe que en este municipio se encuentran minerales como el uranio y otros no cuantificados. Dentro de los recursos naturales está el aire que todavía es puro, también el agua; el suelo, que se ido desgastando con el tiempo por lo que es urgente utilizar nuevas técnicas de cultivo que eviten la erosión, como la de "cero labranza" impulsada por el Ayuntamiento. La madera es muy apreciada por los habitantes como combustible y material de construcción; por lo que también es urgente crear un vivero para reforestar nuestros bosques, y así evitar la erosión y mantener el clima estable, también para reforestar zonas que son siniestradas por el fuego causado por personas irresponsables e ignorantes.

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160 Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	---

3.6 características y uso del suelo

El tipo de suelo localizado en este municipio es el tepetate amarillo, arcilloso.

4.- Geología

Las rocas del Precámbrico son las más antiguas, datan de aproximadamente 600 millones de años, el Periodo de la Era del Mesozoico con mayor cobertura es el Cretácico (135 millones de años) con 14.3%, representado por rocas de tipo sedimentario y metamórfico, dispersos en todo el estado, concentrados sobre todo en la zona media hacia el norte.

Los suelos existentes en la zona son del tipo aluvial, con la existencia predominante de arcillas de media a alta compresibilidad, subyaciendo a estos a una profundidad variante de 4 a 10 m. la presencia de una arcilla fuertemente cementada (lutita).

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160 Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	---

4. TRABAJOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO.

4.1 Trabajos de Campo.

Con la finalidad de establecer la estratigrafía de la de las Terracerías existentes, así como de conocer sus propiedades índices de los materiales que las componen, se programaran y se llevaron a cabo once (11) sondeos exploratorios, a lo largo del camino existente, a una distancia promedio de 500 m, mediante el procedimiento de pozo a cielo abierto (P.C.A.) hasta una profundidad máxima de 1.00 m, con obtención de muestras de tipo alteradas de cada uno de las capas y estratos encontrados, mismas que fueron transportadas al laboratorio para su análisis correspondiente.

El Perfil estratigráfico de los sondeos realizados, se observa en el anexo No.3 (perfil estratigráfico individual).

Así mismo, se tomaron muestras representativas a dos (2) bancos de materiales, uno (1) para proponerlo en la construcción de terracerías (cuerpo de terraplén y capa Subrasante), y uno (1) más para la capa de base hidráulica, mezcla asfáltica, y concreto hidráulico.



4.2 Trabajos de Laboratorio

A todas y cada de una de las muestras obtenidas se les realizaron en el laboratorio sus pruebas de clasificación e índices para determinarles su calidad, la cuales se enlistan a continuación:

- ❖ Análisis granulométrico vía seca
- ❖ Análisis granulométrico vía húmeda
- ❖ Límites de consistencia de Atterberg.
- ❖ C.B.R.
- ❖ Expansión.
- ❖ Pesos específicos secos y sueltos
- ❖ Pesos específicos máximos
- ❖ Peso específico del lugar
- ❖ Humedades óptimas
- ❖ Desgaste los Ángeles
- ❖ Forma de la Partícula
- ❖ Equivalente de arena

4.3 Resultados de Laboratorio.

Como ya se indicó anteriormente, a las muestras obtenidas en las terracerías existentes se les realizaron pruebas de clasificación y calidad. Los ensayos realizados se observan en el anexo No.1. (Informe de Terracerías Existentes)

Asimismo, la información obtenida nos permite realizar las recomendaciones pertinentes para la inclinación de los taludes y cortes. Mismos que se indican en el anexo No.2. (Informe de estudio geotécnico).



5. BANCOS DE PRÉSTAMO.

5.1 Banco para Terracerías.

Para la construcción de las terracerías (Terraplén y capa Subrasante), se propone el banco:

- ❖ Banco No.2: "Tamazulapam" ubicado a 8,700 atrás del km. 0+000. Grava Arcillosa (GC) de color amarilla blanquizca, compacta, poco húmeda. Con fragmentos medianos. .La ubicación dicho banco, se observa en el anexo No.4 "Ubicación de bancos de materiales para Terracerías"

5.2 Bancos para Pavimentos.

5.2.1 Base Hidráulica.

Para la construcción de la capa de Base hidráulica, se propone un (1) banco de materiales:

- ❖ Banco No 1: "Sin Nombre" Almacén de Trituradora, ubicado a 1,200 m. atrás del km. 0+000. Son Fragmentos medianos de roca (balastro), empacados en limo, de color gris, requiere de triturado parcial y cribado a tamaño máximo de 1 ½".

5.2.2 Mezcla asfáltica para carpeta asfáltica (superficie de rodamiento).

Para la mezcla asfáltica con la que construirá la superficie de rodamiento, (carpeta asfáltica) se proponen de igual manera el Banco:

- ❖ Banco No 1: "Sin Nombre" Almacén de Trituradora, ubicado a 1,200 m. atrás del km. 0+000. Son Fragmentos medianos de roca (balastro), empacados en limo, de color gris, requiere de triturado parcial y cribado a tamaño máximo de ¾".



5.2.3 Materiales para obras de drenaje.

Los agregados pétreos, arena y grava para la elaboración de concreto y mortero hidráulico, se obtendrán de igual manera del Banco No 1:

- ❖ Banco No 1: "Sin Nombre" Almacén de Trituradora, ubicado a 1,200 m. atrás del km. 0+000, el cual requiere de triturado parcial y cribado a tamaño máximo que indica las especificaciones para agregados para concreto hidráulico.

La ubicación del banco para la construcción del pavimento se observan en el anexo No. 5 (Ubicación de bancos para pavimento).



6. RECOMENDACIONES GENERALES

De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio que se ejecutaron a los materiales que se obtuvieron en las terracerías existentes y a los bancos de materiales propuestos para la construcción de las distintas capas del pavimento a diseñar, nos permiten establecer las siguientes recomendaciones:

6.1 Terracerías.

6.1.1 Terreno natural.

Los materiales que forman el terreno natural, del camino en proyecto, se podrán emplear para la construcción o formación de cuerpo de terraplén y capa subrasante, de acuerdo a lo indicado al informe de estudio de geotecnia (ANEXO No 2), de acuerdo a lo que convenga según la curva masa y la línea rasante del proyecto geométrico.

6.1.2 Cuerpo de Terraplén.

Para la construcción del cuerpo de terraplén como se mencionó anteriormente, se podrán emplear los materiales producto de los cortes en donde se requiera para elevar el nivel de rasante. En las zonas donde la línea rasante quede debajo de la línea del terreno natural, se le dará tratamiento en el lugar, de acuerdo a lo indicado al informe de estudio de geotecnia (Anexo Mo. 2), de requerirse mayor volumen de material, se podrá emplear los prevenientes del Banco No 2, se compactará al 95% de su peso específico seco máximo de Laboratorio de la Prueba AASHTO estándar.



6.1.3.1.3 Capa Subrasante.

Para la construcción de esta capa, en los subtramos donde el nivel de rasante quede debajo de la línea de terreno natural, se empleara materiales provenientes del banco No 2. Los ensayos realizados a los materiales de estos bancos, se observan en el anexo No. 6 (Ensayes de materiales de banco para terracerías).

En cualquiera de los casos, dichos materiales se compactarán al 100% de su peso específico seco máximo de Laboratorio de la Prueba AASHTO estándar.

6.2 Pavimentos.

6.2.1 Base Hidráulica.

Para la construcción de la capa de Base Hidráulica, se empleará el agregado pétreo proveniente del

- ❖ Banco No 1: "Sin Nombre" Almacén de Trituradora, ubicado a 1,200 m. atrás del km. 0+000. Este material requiere de triturado parcial y cribado a tamaño máximo de 1 ½”.

Los ensayos realizados se observan en el anexo No. 7 (Ensayes de materiales de Banco para Base Hidráulica).

El agregado pétreo se compactara al 100% de su peso específico seco máximo de Laboratorio de la Prueba AASHTO Modificada 5 capas.



6.2.2 Carpeta asfáltica.

Para la elaboración de la mezcla de concreto asfáltico que se utilizara para construir la capa de rodamiento (carpeta asfáltica), se empleara el agregado pétreo proveniente del

- ❖ Banco No 1: "Sin Nombre" Almacén de Trituradora, ubicado a 1,200 m. atrás del km. 0+000. este material, requiere de triturado parcial y cribado a tamaño máximo de 3/4".

El análisis de los agregados se observa en el anexo No. 8 (Ensaye de materiales para carpeta asfáltica).

Finalmente en el anexo **No.10** (informe fotográfico), se observan los trabajos realizados en el campo, durante la etapa de exploración y muestreo.

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	--

7.- CALCULOS DE ESPESORES

7.1 Transito.

El volumen de tránsito, considerado para el tramo de 5.0 km en estudio se obtuvieron en medición directa en el campo, proyectados con una tasa de crecimiento del 3.0%, el cual nos da un tránsito promedio diario anual de 65 vehículos, en ambos sentidos. Tal como se muestra en el siguiente cuadro:

Clasificación Vehicular

Clasificación vehicular	%
A	67.0
B	1.0
C ₂	22.0
C ₃	10.0
Suma:	100.0

El tránsito vehicular es muy bajo, por lo que para efectos de cálculo, el Transito Promedio Diario Anual (T.P.D.A.) considerado para este diseño es:

T.P.D.A: 500 vehículos en ambos sentidos.

7.2 Diseño de espesores

Para cumplir con los términos de referencia, se realizara en diseño de espesores por dos métodos: del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. y de la AASHTO.



7.2.1 Método del Instituto de Ingeniería de la UN.A.M

Programa empleado (DISPAV-5)

El instituto de ingeniería de la U.N.A.M. desarrollo un método teórico, para la estructuración de carreteras, en base a la teoría de distribución de esfuerzos en los suelos, con el cual se obtiene una estructura homogénea en todas sus capas, las gráficas de proyecto para diseño de dicho instituto están con base al volumen de transito acumulado en la vida útil de la obra y en el valor relativo de soporte de campo, proponiendo que se este valor se obtenga con el método del cuerpo de ingenieros, que es muy elaborado y lento, por lo que en la práctica se usa el V.R.S. de la prueba de Porter modificada, obteniéndose así espesores menos conservadores, debido, a que este índice de resistencia es más cercano al del campo que si el V.R.S. se obtuviera en el laboratorio de especímenes compactados en forma dinámica.

Características del método:

- Modelos de deterioro para estimar la deformación permanente del pavimento a la falla, basada en pruebas a escala natural en el campo y en el laboratorio.
- Modelos para determinar el comportamiento a fatiga de las mezclas Asfálticas, basados en la extensa investigación realizada en el Instituto, tomando en cuenta las condiciones particulares de clima y tránsito de México.

Para simplificar el empleo del método de diseño se utiliza un programa interactivo de cómputo, DISPAV-5 - Diseño de Pavimentos, empleando secciones estructurales hasta de cinco capas -, lo cual simplifica mucho el empleo del método de diseño ya que incorpora tanto el cálculo por deformación permanente,



en el modelo elasto-plástico desarrollado en el Informe 325 de las Series del Instituto de Ingeniería, como el cálculo por fatiga empleando modelos elásticos de varias capas tal como se recomienda en dicho informe.

El programa utiliza el planteamiento teórico-experimental propuesto en los informes números 325 y 444 del Instituto de Ingeniería, UNAM, complementado con los resultados de las numerosas investigaciones realizadas desde 1964 a 1988 y la información existente en el ámbito internacional.

El DISPAV-5 es un programa de tipo interactivo que permite calcular tanto carreteras de altas especificaciones como carreteras normales. Su fundamento es teórico-experimental, y para su aplicación se emplean conceptos y métodos de cálculo mecanicistas.

Entre las adiciones incluidas, respecto al método original, publicado en 1974, está la de incorporar de manera explícita un modelo mecanicista para determinar las deformaciones unitarias de fatiga, basado en los estudios experimentales realizados en el Instituto de Ingeniería, UNAM, sobre mezclas asfálticas típicas durante los años 1985 a la fecha.

También se agrega un nuevo modelo desarrollado para diseñar estructuras de carreteras de altas especificaciones tomando en cuenta tanto la deformación permanente acumulada (rodera) como el agrietamiento a fatiga en las capas ligadas con asfalto. El modelo original para caminos normales, no sufrió cambios adicionales y también está incorporado al DISPAV-5.

El método de diseño está fundamentado en la extensa experimentación realizada a escala natural, tanto en el campo como en el laboratorio, y los estudios analíticos llevados a cabo dentro del programa experimental del Instituto de Ingeniería, UNAM. Al comparar sus predicciones con diversos criterios ampliamente reconocidos en el extranjero, los resultados son satisfactorios.

El procedimiento tiene varias etapas:

1. Entrada de datos.
2. Diseño por deformación
3. Revisión del diseño anterior para efectos de fatiga.
4. En caso de que no se satisfaga el criterio de fatiga se puede modificar el diseño resultante.

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	--

El diseño de espesores se efectuó empleando este programa (DISPAV-5), con los siguientes datos:

Clasificación vehicular	%
A	67.0
B	1.0
C ₂	22.0
C ₃	10.0
Suma:	100.0

T.P.D.A. = 500 Vehículos (ambos sentidos)

Tasa de crecimiento anual: 3.0 %

Periodo de diseño: 15 años

Camino: Tipo "D"

Distribución del Transito: 50 % = 250 Vehículos.

Características de los materiales:

Capa	VRS's Críticos
Base hidráulica	101.24
Subrasante	31.22
Terraplén	6.0

El cálculo de los VRS críticos o de diseño que se muestran en la tabla anterior, se observa en el Anexo No. 9 (Calculo del V.R.S's. críticos), método del instituto de ingeniería de la UNAM).

En el caso de la capa de LA Base hidráulica, para efectos de cálculo se consideró el VRS de diseño, el mínimo que exige la Norma y el programa de ejecución, siendo los valores de diseño:

Capa	VRS's Críticos
Base hidráulica	80.0
Subrasante	31.22
Terraplén	6.0

A continuación se presenta la secuela de cálculo por este método con los datos ya indicados.



7.2.1.3 Secuela de Cálculo DISPAV-5.

TRANSCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO DEL INSTITUTO DE LA UNAM “DISPAV – 5”

Diseño estructural de pavimentos asfálticos,
Incluyendo carreteras de altas especificaciones

Programa DISPAV-5 Versión 2.0

Santiago Corro C. (*)
Guillermo Prado O. (*)

Series del Instituto de Ingeniería, informe CI – 8

México D.F., abril 1999

(*) Investigador Instituto de Ingeniería, UNAM

Se prohíbe la reproducción parcial o total

Para continuar oprima cualquier tecla



El programa permite :

1. Diseñar de acuerdo con los lineamientos fijados.
2. Revisar diseños específicos que proponga el proyectista

Introduzca su opción, anotando el número y presionando intro: 1

El programa tiene dos opciones de diseño, según el tipo de camino.

1. Caminos de altas especificaciones, en los que se desea conservar un nivel de servicio alto al final de la vida de proyecto (1.2 cm de deformación en la rodada y agrietamiento ligero a medio).

2. Caminos normales en los que se permiten deformaciones del orden de 2.5 cm en la rodada y agrietamiento medio a fuerte, al final de la vida de proyecto.

Introduzca el número correspondiente al tipo de camino: 2

Se requiere conocer el tránsito en el carril de proyecto en millones de ejes estándar (ejes sencillos de 8.2 toneladas).

Tiene dos opciones:

1. Si conoce el tránsito de proyecto, introducirlo directamente.
2. Calcularlo a partir del tránsito mezclado.

Introduzca el número correspondiente a su elección: 2

Introduzca los siguientes datos :

TDPA en el carril de proyecto (en vehículos) : 250

Tasa de crecimiento anual del tránsito (en %) : 3

Periodo de proyecto, en años : 15

Se necesita conocer el tipo de camino

1. Tipo A o B
2. Tipo C
3. Tipo D

Introduzca el número correspondiente: 3

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	---

Se requiere conocer la composición del tránsito; Introduzca el porcentaje para cada tipo de vehículo.

Automóvil

A : 67.0

Autobús

B2 : 1.0

B3 :

B4 :

Camión unitario

C2 : 22.0

C3 : 10.0

Los vehículos tipo A se supone que siempre están cargados.

Los autobuses y vehículos de carga (tipos B, C y T), pueden circular vacíos en un cierto porcentaje de casos.

Se requiere conocer el porcentaje de camiones cargados en el carril de proyecto.

Se tienen dos opciones:

1. Emplear un porcentaje de vehículos cargados aplicable a todos los vehículos comerciales (un porcentaje promedio).

2. Emplear un porcentaje de vehículos cargados para cada tipo de vehículo.

Introduzca la opción que desea aplicar (1 o 2): 1

En ausencia de información más confiable se sugiere emplear una proporción de camiones cargados entre 60 y 80%, (entre 40 y 20% de camiones vacíos).

Introduzca la proporción de camiones cargados que juzgue correcta (%) : 80

Autobús B2		
Eje	1	2
Tipo	Sencillo	Sencillo
Carga*	5.0	9.0
Presión**	6.0	6.0

* Carga total del eje, sencillo, doble, triple, en toneladas

** Presión de inflado en condiciones de servicio, en kg/cm²

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	--

Se han indicado las cargas máximas legales por eje, en toneladas, según aparecen en el decreto publicado el 7 de enero de 1997 (en algunos casos la carga por eje se ajustó para no sobrepasar la carga máxima total del vehículo). Puede modificarlas de acuerdo con su proyecto.

¿Quiere hacer modificaciones? (s/n) : N

Camión C2

Eje	1	2
Tipo	Sencillo	Sencillo
Carga*	5.0	9.0
Presión**	6.0	6.0

* Carga total del eje, sencillo, doble, triple, en toneladas

** Presión de inflado en condiciones de servicio, en kg/cm²

Se han indicado las cargas máximas legales por eje, en toneladas, según aparecen en el decreto publicado el 7 de enero de 1997 (en algunos casos la carga por eje se ajustó para no sobrepasar la carga máxima total del vehículo). Puede modificarlas de acuerdo con su proyecto.

¿Quiere hacer modificaciones? (s/n) : N

Camión C3

Eje	1	2
Tipo	Sencillo	Doble
Carga*	5.0	15.5
Presión**	6.0	6.0

* Carga total del eje, sencillo, doble, triple, en toneladas

** Presión de inflado en condiciones de servicio, en kg/cm²

Se han indicado las cargas máximas legales por eje, en toneladas, según aparecen en el decreto publicado el 7 de enero de 1997 (en algunos casos la carga por eje se ajustó para no sobrepasar la carga máxima total del vehículo). Puede modificarlas de acuerdo con su proyecto.

¿Quiere hacer modificaciones? (s/n) : N

Tránsito de proyecto en millones de ejes estándar para una profundidad de :

Z = 5 cm	Z = 15 cm	Z = 30 cm	Z = 60 cm	Z = 90 cm	Z = 120 cm
1.1	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	--

Tiene seis opciones, correspondientes a las profundidades de cálculo :

1. 5 cm
2. 15 cm
3. 30 cm
4. 60 cm
5. 90 cm
6. 120 cm

Introduzca el número correspondiente a su elección en daño superficial : 1

Introduzca el número correspondiente a su elección en daño profundo : 5

El tránsito de proyecto, en millones de ejes estándar, es :

- (a) Por fatiga en las capas estabilizadas: 1.1
- (b) Por deformación en capas no estabilizadas: 0.7

¿Quiere imprimir los resultados (s/n)? N

El programa permite analizar pavimentos que contengan algunas de las siguientes capas (o todas ellas).

1. Carpeta
2. Base granular
3. Sub-base
4. Subrasante
5. Terracería

Introduzca el número de capas de que consta el pavimento: 4

Introduzca el número de la capa que no se encuentra en el pavimento: 3

Capa	VRSz	VRSp	Mod. rigidez
------	------	------	--------------

Carpeta

Base granular 80.0

Subrasante 31.22

Terracería 6.0

Introduzca el VRSz de las capas no estabilizadas (en por ciento)

Capa	VRSz	VRSp	Mod de rigidez	Poisson
------	------	------	----------------	---------

Carpeta 30000 0.35

Base granular 80 80 2793 0.35

Subrasante 31 20 1446 0.45

Terracería 6 6 456 0.45

<p align="center">Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p align="center">Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p align="center">Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160</p> <p align="center">Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p align="center">CYACOC</p> <p align="center">Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p align="center">Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	--

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa, puede modificarlas si así lo desea.

¿Quiere hacer algún cambio? (s/n) N

El método permite elegir el nivel de confianza del proyecto.

Se sugiere emplear un nivel de confianza de 85%, pero puede emplear otro nivel (entre 50 y 99%).

¿Quiere cambiar el nivel sugerido? (s/n) S

Introduzca el nivel de confianza que prefiere ($50 \leq \text{NIV} \leq 99$):80

Diseño por deformación para un camino de tipo normal, con un nivel de confianza de 80 %

Para un tránsito de proyecto de 0.7 millones de ejes estándar

Capa	Espesor calculado	Espesor proyecto
Carpeta	4.6	4.6
Base granular	10.6	15.0
Subrasante	25.1	20.6

Los espesores de capa calculados se ajustan a un espesor constructivo mínimo, el cual depende de la capa y del tránsito de proyecto.

El diseño anterior previene contra la deformación excesiva.

A continuación debe revisarlo para prevenir el agrietamiento por fatiga, a menos que esté empleando un tratamiento superficial.

¿Quiere hacerlo así? (s/n) S

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 0;">CYACOC</p> <p style="font-weight: bold; margin: 0;">Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p style="font-weight: bold; margin: 0;">Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p style="font-weight: bold; margin: 0;">Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	---

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO

Camino de tipo normal. Nivel de confianza en el proyecto: 80 %

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm ²	V	Vida previsible	
					Def	Fatiga
Carpeta	4.6		30000	0.35		1.6
Base granular	15.0	80.0	2793	0.35	0.7	
Subrasante	20.6	31.2	1446	0.45	2.8	
Terracería	Semi-inf	6.0	456	0.45	0.7	

	Vida previsible	Tránsito proyecto
Deformación	0.7	0.7
Fatiga	1.6	1.1

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto el diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

¿Quiere explorar otras alternativas? (s/n) S

- Tiene usted cuatro opciones:**
1. cambiar módulo de carpeta
 2. cambiar espesores
 3. emplear base asfáltica.
 4. salir del programa

Introduzca el número que corresponde a su opción: 2

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO

Camino de tipo normal. Nivel de confianza en el proyecto : 80 %

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm ²	V
Carpeta	5.0		30000	0.35
Base granular	15.0	80.0	2793	0.35
Subrasante	20.00	31.2	1446	0.45
Terracería	Semi-inf	6.0	456	0.45

Introduzca los nuevos valores, donde no haya cambio apriete solo la tecla de entrada

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	--

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO

Camino de tipo normal. Nivel de confianza en el proyecto : 80 %

Capa	H cm	VRSz %	E kg/cm ²	V	Vida previsible	
					Def	Fatiga
Carpeta	5.0		30000	0.35		1.4
Base granular	15.0	80.0	2793	0.35	0.9	
Subrasante	20.0	31.2	1446	0.45	3.6	
Terracería	Semi-inf	6.0	456	0.45	0.7	

	Vida previsible	Tránsito proyecto
Deformación	0.7	0.7
Fatiga	1.4	1.1

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto el diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

¿Quiere explorar otras alternativas? (s/n) n

Por lo que los espesores que se proponen por este método son:

Capa	Espesor (cm)	Grado de compactación (%)
Carpeta asfáltica	5.0	95% P.E. Marshall.
Base hidráulica	15.0	100% P.E. Aahsto Modificada 5 capas
Subrasante	20.0	100% P.E. Aahsto estándar.
Cuerpo de Terraplén	Variable	95 % P.E. Aahsto estándar.



7.2.2 AASHTO (American Association of State Highway and transportation Officials).

El pavimento se coloca en un ambiente sin control con temperaturas extremas y variaciones de humedad. La combinación de los efectos ambientales, las cargas del tráfico, las variaciones en los materiales de construcción así como las variaciones en el proceso de construcción, requieren una serie de procedimientos de diseño complejos que incorporen todas esas variables.

El método de diseño de pavimentos de la AASHTO, cumple con la mayoría de las variables que actúan en los pavimentos flexibles. Este método considera el ambiente, las cargas y los materiales con una metodología que es relativamente fácil de usar.

A partir de los resultados de la investigación efectuada en el Tramo de prueba AASHTO” a finales de la década de los cincuenta, se desarrolló la AASHTO interim Guide for the Desing of Rigid Pavement Structures, que fue publicada en 1962, en forma semejante a la AASHTO interim Guide for the Desing of Rigid Pavement Structures, publicada en 1961. A principio de la década de los setenta, el organismo modifco su denominación a AASHTO, y para 1972 ambas publicaciones fueron actualizadas y presentadas en un solo documento. La AASHTO interim Guide for the Desing of Rigid Pavement Structures, que fue publicada posteriormente con algunas modificaciones en 1981.

En 1986 reapareció nuevamente después de ser nuevamente revisada, con el titulo de la AASHTO interim Guide for the Desing of Rigid Pavement Structures, versión que concluyo con muchos cambios asi como nuevos conceptos, tales como los de nivel de confianza, análisis de costos en el ciclo de vida y administración de pavimentos.

Finalmente la versión editada en 1993 corrige y aclara algunos conceptos relativos al proyecto de capas de refuerzo de los pavimentos.

Este método se clasifica dentro de los procedimientos de diseño basados en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de los resultados de tramos de prueba. Sin embargo, en la actualidad esta adquiriendo un carácter mecanistico al

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	--

introducir en su procedimiento conceptos como los módulos de resiliencia y elástico de los materiales.

El diseño parte de determinar el número estructural SN, necesario para que el pavimento pueda soportar las cargas consideradas.

La ecuación original de regresión obtenida a partir de los resultados de la prueba AASHTO ha sido modificada, principalmente en los valores de las constantes de regresión, con base en la teoría y la experiencia. La ecuación para pavimentos flexibles presentada en 1993 es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_o \cdot 9.36 \cdot \log_{10} W_{18} (SN+1)^{-20} \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{412-1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} - 2.32 \cdot \log_{10} M_R - 8.07$$

W₁₈ = Número admisible de ejes equivalentes de 18000 lb.

Z_R = Desviación normal estándar.

S_o = Desviación estándar integral.

SN = Número estructural del pavimento.

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3.$$

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal

$$\Delta PSI = (p_o - p_t)$$

p_o = Índice deservicio inicial

p_t = Índice de servicio terminal

M_R = Módulo de resiliencia, **PSI**

m₂, m₃ = Coeficientes de drenaje para las capas de base y sub- Base.



a_1, a_2, a_3 = Coeficientes de capas representativos de la carpeta, base y sub-Base.

D_1, D_2, D_3 = Espesores de las capas de carpeta, base y sub-base en pulgadas.

El método de diseño de pavimentos de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), se basa principalmente en los resultados de una prueba efectuada en Ottawa, Illinois, por la AASHTO en los años 50's y principios de los 60's. La aplicación de las fórmulas empíricas derivadas de dichos estudios, se usan como modelos base en la actualidad, pero con ciertas modificaciones para su uso en otros sitios, debido a que fueron desarrolladas bajo ciertas condiciones climáticas, materiales de pavimento y Subrasante.

Factores de Diseño

Los factores que se consideran en el procedimiento de la AASHTO para el diseño de pavimentos flexibles son:

- Desempeño del pavimento
- Tráfico
- Terreno de desplante (subrasante)
- Materiales de las capas que formarán el pavimento
- Drenaje
- Confiabilidad
- Desviación estándar

Desempeño del Pavimento

El desempeño del pavimento se analiza de acuerdo a los índices de servicio. Estos índices varían de 0 a 5, siendo 5 un tránsito sobre una superficie tersa y 0, una condición donde el tránsito sea imposible. La acumulación de cargas de tráfico causa que el pavimento se deteriore, y como es de esperarse, caiga el índice de servicio, requiriendo de esta manera, la rehabilitación del pavimento.

Se considera que los pavimentos nuevos tienen un índice de servicio de 4.2 a 4.5. El punto en el cual se considera que los pavimentos fallan varía de acuerdo al tipo



de carretera que se trate. Las autopistas o arterias principales tienen un índice terminal de servicio (ITS) de 2.5 o 3, mientras que los caminos locales pueden tener un ITS de 2.0.

Para el diseño de pavimento de nuestro proyecto, se consideró un índice de servicio inicial (PI) de 4.5 y uno terminal (PT) de 2.0, por lo que la diferencia entre índices $\Delta PSI = 2.5$

Tráfico

El total de las aplicaciones de carga derivado de todo el tráfico mixto dentro del periodo de diseño se convierten en ejes equivalentes de 18kips (ESAL), mediante factores de equivalencia para cada tipo de eje.

El tráfico correspondiente al tramo en estudio se determinó mediante observación directa, dando como resultado un TDPA (tránsito diario promedio anual) igual a 84 vehículos en ambas direcciones, a partir de dicho dato, se obtuvo el tránsito promedio anual (TPA) igual a 91,250 vehículos. La distribución porcentual del tráfico por tipo de vehículo, los vehículos en el carril de diseño (factor de 0.5 debido a que se trata de carretera de 2 carriles) y la determinación de los ejes equivalentes a 8.2 ton se presenta en la tabla siguiente:

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160 Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	---

T.P.D.A.	500
T.P.A.	182,500
Factor de distribución en el carril de diseño:	0.50
T.P.A. En el carril de diseño:	91,250

CALCULO DE EJES EQUIVALENTES DE 18 KIPS(ESAL's)

Vehiculo	% de distribución	Vehiculos en el carril de diseño	Coefficientes de equivalencia (Aashto)	Ejes equivalentes a 8.2 ton.
A	67.0	61,138	0.003	183
B	1.0	913	1.800	1,643
C2	22.0	20,075	1.800	36,135
C3	10.0	9,125	2.200	20,075
T3-S2	0.0	0	4.300	0
T3-S3	0.0	0	6.000	0
T3-S2-R3	0.0	0	8.200	0
T3-S2-R4	0.0	0	8.000	0
Suma:	100.0	91,250		58,036

La cantidad de ejes equivalentes de 18 Kips (ESAL's) del trafico actual es: 58,036

Los coeficientes de equivalencia para cada tipo de vehículo, fueron tomados de la figura 12-26 del libro “Estructuración de Vías Terrestres”, de Fernando Olivera Bustamante, página 254.

El número de ejes equivalentes a 8.2 Ton es igual a 58,036 mismos que se proyectarán para el periodo de diseño de 15 años y una tasa de crecimiento del 3.0%

Cálculo del factor de proyección (F) para el periodo de diseño

Variables

r= Tasa de crecimiento anual, en %

t= Periodo de diseño, en años

F= Factor de proyección

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	---

$$F := \frac{(0.01 \times r + 1)^t - 1}{0.01r}$$

$$F = 18.599$$

Cálculo de los Ejes Equiv. a 18 Kips (W18) para el periodo de diseño

$$W18 = F \times \text{ESAL's}$$

$$W18 = 1,079,405$$

El total de ejes equivalentes a 8.2 Ton para el periodo de diseño del pavimento es de **1,079,405**

Terreno De Desplante

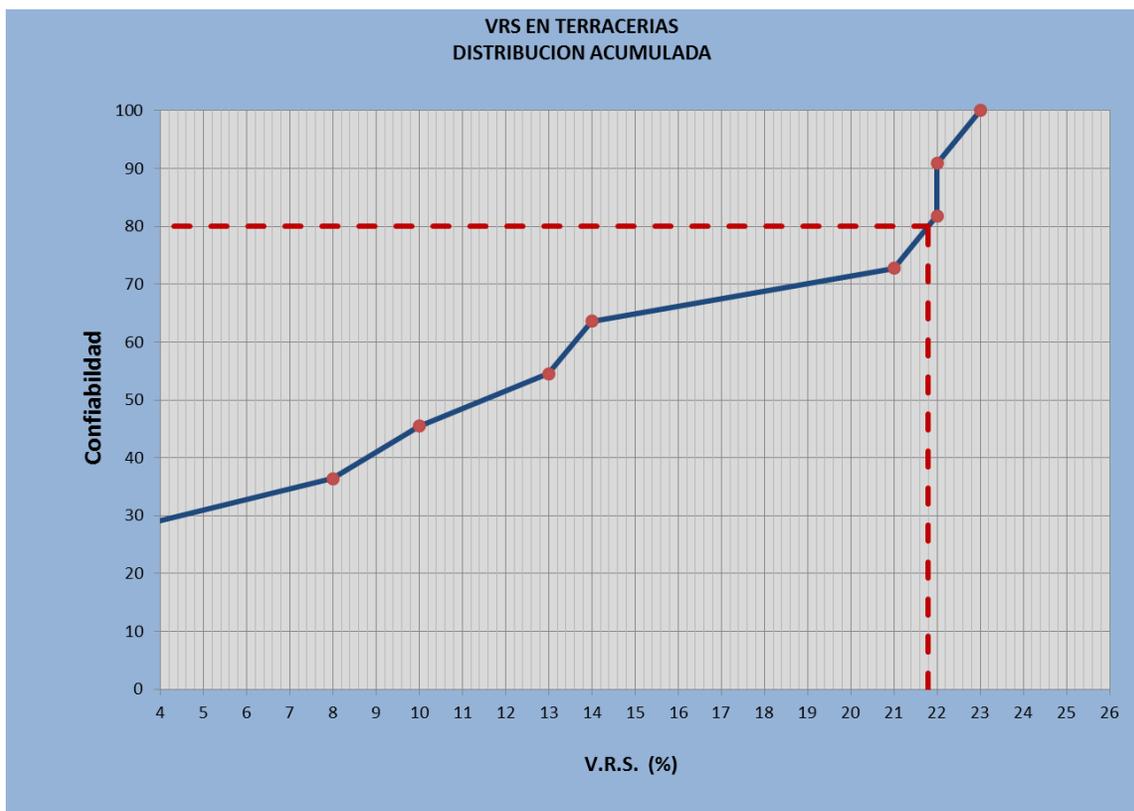
La base para las propiedades del suelo es el módulo de resiliencia (MR). El Módulo de Resiliencia del suelo (MR), es un valor de la resistencia del suelo que se correlaciona con el VRS del mismo ya que su obtención es difícil en campo y muy costosa. Los valores de correlación oscilan entre 800 y 1500 veces el VRS según estudios efectuados por la AASHTO y documentados en el reporte NCHRP del proyecto 128, pero sólo aplica para suelos con un VRS < 10. En el 2002, la AASHTO desarrolló una expresión válida para cualquier valor y tipo de suelo, la cual es:

$$MR := 2555 \cdot VRS^{0.64}$$

Los valores del VRS obtenidos de los sondeos realizados en campo como parte del estudio de geotecnia, se procesaron mediante la distribución acumulada, para obtener el valor del VRS de diseño correspondiente a un nivel de confianza del 90%. Los sondeos, valores y curva de distribución acumulada, se presentan en las siguientes tablas y figuras:

VRS T.N. PARA OBTENCION DEL VRS DE DISEÑO

VRS (de menor a mayor)	VECES QUE SE PRESENTA EL VALOR	VALORES MAYORES O IGUALES	% DE VALORES MAYORES O IGUALES
23	1	11	100
22	1	10	91
22	1	9	82
21	1	8	73
14	1	7	64
13	1	6	55
10	1	5	45
8	1	4	36
3	1	3	27
2	2	1	9



<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; movil:951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	--

Del análisis de distribución acumulada se obtuvo un valor de VRS de diseño igual a 5.98 %. De acuerdo a la ecuación antes expuesta, el MR a usar en nuestro proyecto, será de:

$$\begin{aligned}
 \text{V.R.S.} &= 21.80 \% \\
 \text{MR} &= 2,555 \times \text{V.R.S.}^{0.64} \\
 \text{MR} &= 2,555 \times (21.80)^{0.64} \\
 \text{MR} &= \mathbf{18,366}
 \end{aligned}$$

Materiales de las capas que formarán el pavimento

Un pavimento asfáltico puede estar compuesto de varias capas. La primera capa es la que corresponde a la superficie de rodamiento compuesta por lo general de una carpeta asfáltica y de riegos de sello, donde los riegos de sello no tienen ningún valor estructural en el diseño de pavimento; la segunda capa está compuesta de una base asfáltica o hidráulica y, en algunas ocasiones, de ambas; la tercer capa corresponde a una sub-base y la cuarta capa es la sub-rasante, que puede ser el suelo existente mejorado mecánicamente o con cal, cemento u otro material útil para tal fin.

Los materiales utilizados en cada una de las capas que conforman la estructura del pavimento, tienen un *coeficiente estructural* que sirve para obtener el espesor de dicha capa. Los coeficientes estructurales utilizados en el presente estudio se presentan en la siguiente tabla:

Capa de pavimento	Coeficiente Estructural (a)
Carpeta Asfáltica	0.43
Base Hidráulica	0.09
Subrasante	0.06

Drenaje

El efecto del drenaje en el funcionamiento de los pavimentos flexibles es básico, ya que el agua afecta la resistencia del material de base y subrasante. Para tomar en cuenta el efecto del drenaje en los pavimentos, se incorpora un factor m_i para los coeficientes de capa de base y subrasante (a_2 y a_3). Los factores m_i se basan tanto en el porcentaje de tiempo durante el cual la estructura del pavimento esté casi saturada, como en la calidad del drenaje, que a su vez depende del tiempo que tarda en drenarse la capa de base hasta el 50% de saturación. La selección del coeficiente se realiza en base a las tablas siguientes:

Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160 Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040 Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214	 CYACOC Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento
---	---

Calidad del drenaje	Agua eliminada en menos de
Excelente	2 hrs
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	no se drena

Calidad del drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura del pavimento está expuesta a los niveles de humedad cercanos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Malo	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Dada la ubicación del tramo carretero y el tipo de suelo, permite el drenado del agua de una manera aceptable, la calidad del drenaje se estima que sea regular, con un porcentaje de tiempo expuesta a los niveles de humedad cercanos a la saturación entre el 5 y 25%, por lo que los valores de m_1 , m_2 , m_3 y m_4 serán de 1.0, 0.9, 0.8 y 0.7 respectivamente.

Confiabilidad (R)

La confiabilidad significa, en términos generales, la incorporación de cierto grado de certeza al proceso de diseño para asegurar que las varias alternativas que se tienen durarán hasta el fin del periodo de diseño. El nivel de confiabilidad deberá incrementarse directamente proporcional al volumen y dificultad de diversificación del tráfico, así como con el incremento de las expectativas de población. En la tabla siguiente se muestran los valores recomendados de confiabilidad de acuerdo a la clasificación del camino y localidad donde se localiza.

Clasificación del camino	Tipo de Localidad	
	Urbana	Rural
A	85-99.9	80-99.9
B	80-99	75-95
C	80-95	75-95
D y E	50-80	50-80

El tipo de camino es "D" por lo que se consideró un nivel de confianza de **80%**.

Desviación estándar (So)

La desviación estándar es el coeficiente que describe que tan bien los datos de las pruebas de caminos de la AASHTO concuerdan con sus ecuaciones de diseño, es decir, a menor desviación estándar, mejor las ecuaciones modelan los datos, claro que ello implica el aumento del espesor del pavimento y por consiguiente el del costo del mismo.

Las ecuaciones de la AASHTO para pavimentos flexibles fueron realizadas en base a una **desviación estándar de 0.45**, por lo que ese valor será el que usaremos en el presente análisis.

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

Las ecuaciones básicas de diseño del método de la AASHTO son las siguientes:

$$\log(W18) = ZR \cdot S_o + 9.36 \cdot \log(SN + 1) - 0.20 + \left[\frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} \right] + 2.32 \cdot \log(MR) - 8.07$$

Donde:

W18= Número de Ejes Equivalentes a 18kips

MR= Módulo de Resiliencia del Suelo, psi

DPSI= Diferencia de Índices de Servicio

So= Desviación Estándar

R= Confiabilidad

Z_R= Desviación Normal

SN= Número Estructural Requerido

$$SN = \sum_{i=1}^n (D_i a_i m_i)$$

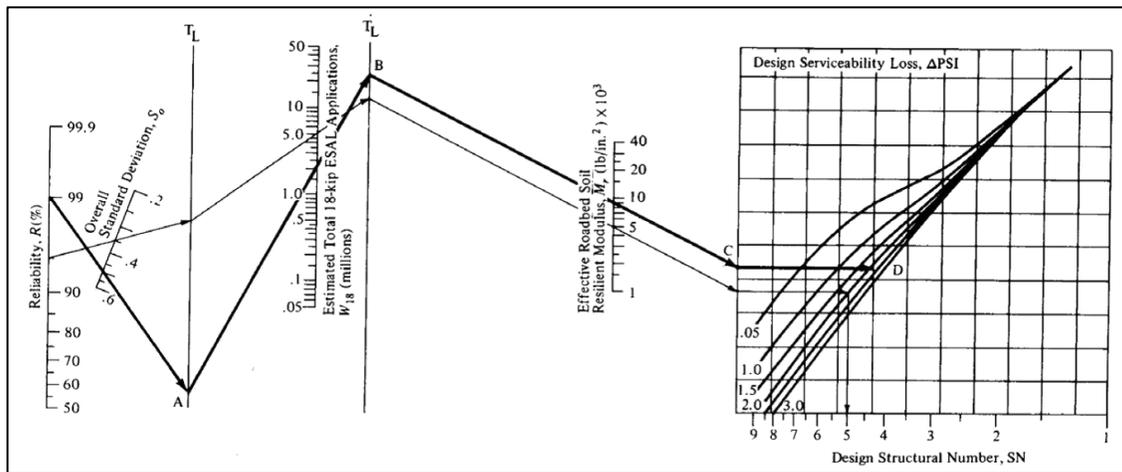
Donde:

D_i = Espesor de la capa i, en cm

a_i = Coeficiente estructural de la capa i

m_i = Factor de drenaje de la capa i

La primera ecuación se soluciona mediante algún método numérico, con la ayuda de algún software matemático o mediante el uso del nomograma desarrollado para tal fin:



Nomograma de diseño, método de la AASHTO

Determinación del número estructural SN

Datos de entrada

W18=	=,079,405
PI	=4.5
PT	=2.0
Δ PSI = PI-PT	=2.5
So	=0.45
$M_{R_{T.N.}}$	=18,366
R	=80%

Número estructural SN

Empleando un programa de cómputo tenemos:

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández.</p> <p>Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <h1 style="margin: 0;">CYACOC</h1> <p style="margin: 0;">Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p style="margin: 0;">Al Servicio Técnico de la Ingeniería.</p> <p style="margin: 0;">Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
--	---

Capa	MR
Base Hidraulica	1.25
Subrasante	1.80
Terreno natural	2.26

Ecuación AASHTO 93

Tipo de Pavimento <input checked="" type="radio"/> Pavimento flexible <input type="radio"/> Pavimento rígido		Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So) 80 % Zr=-0.841 So = 0.45	
Serviciabilidad inicial y final PSI inicial = 4.5 PSI final = 2		Módulo resiliente de la subrasante Mr = 18366 psi	
Información adicional para pavimentos rígidos			
Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de transmisión de carga - (J)	<input type="text"/>
Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)	<input type="text"/>	Coefficiente de drenaje - (Cd)	<input type="text"/>
Tipo de Análisis <input checked="" type="radio"/> Calcular SN W18 = 1079405 <input type="radio"/> Calcular W18		Número Estructural SN = 2.26	
<input type="button" value="Calcular"/>		<input type="button" value="Salir"/>	

Cálculo de espesores

$$D_1 = \frac{SN_1}{\alpha_1}$$

$$SN_1^* = \alpha_1 D_1^*$$

$$D_2 \geq \frac{SN_2 - SN_1^*}{\alpha_2 m_2}$$

$$SN_2^* = \alpha_2 m_2 D_2^*$$

$$D_3 \geq \frac{SN_3 - (SN_1^* + SN_2^*)}{\alpha_3 m_3}$$

$$SN_3^* = \alpha_3 m_3 D_3^*$$

$$D_4 \geq \frac{SN_4 - (SN_1^* + SN_2^* + SN_3^*)}{\alpha_4 m_4}$$

$$SN_4^* = \alpha_4 m_4 D_4^*$$

El cálculo nos arroja

Capa	Espesor (cm)
Carpeta Asfáltica	7.60
Base Hidráulica	20.3
Subrasante	27.9

<p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimentos</p> <p>Ing. José Francisco Corona Hernández. Ced.- profesional 4044160</p> <p>Circuito Ahuehuetes 222 Unidad Pozas Arcas C.P. 68040</p> <p>Centro Oax. Tels. 01(951) 5132204; móvil: 951 2267214</p>	 <p>CYACOC</p> <p>Control y Aseguramiento de Calidad de Obra Civil</p> <p>Al Servicio Técnico de la Ingeniería. Estudios de mecánica de suelos, geotecnia y proyecto de pavimento</p>
---	---

7.3.3 Propuesta estructural

Después de analizar el método del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. y de la AASHTO, se propone la siguiente estructura:

Capa	Espesor (cm)	Grado de compactación (%)
Carpeta asfáltica	5.0	95% P.E. Marshall.
Base hidráulica	15.0	100% P.E. Aahsto Modificada 5 capas
Subrasante	20.0	100% P.E. Aahsto estándar.
Cuerpo de Terraplén	Variable	95 % P.E. Aahsto estándar.