### 4.2.1 – Estudios realizados.

El estudio geotécnico se realizó a través de calicatas cada 2 km y sondeos intermedio, tanto sobre el eje de calzada como en zona de préstamos, con los que se definieron las características de los suelos, que resultaron ser de origen sedimentarios, e identificados dentro de la clasificación Highway Researd Board (HRB) como de suelos de tipo limo-arcilloso.

El estudio geotécnico se compuso de los siguientes ensayos:

- Humedad Natural.
- Límites de Atterberg (LL, LP).
- Granulometría.
- Compactación Proctor.
- Capacidad Soporte: ensayo CBR.
- Clasificación de Suelos
- Suelo Cal.

### 4.2.2 - Características de los suelos.

Por ser suelos que en su historia geológica se originaron en viejas cuencas marinas, por arrastre de vientos y agua, razón por la cual son suelos sedimentarios con muchas sales y sulfatos, con características limosas con bajo porcentaje de arcilla y de bajo valor soporte tendientes a la defloculación, lo que le convierte mayormente en suelos dispersivos.

Los suelos dispersivos son aquellos que por la naturaleza de su mineralogía existe una preeminencia de cationes de sodio, lo que lo hacen susceptibles a la defloculación, lo que hace un rechazo entre partículas limosas ante la presencia del agua, así posea poco o nada de velocidad hidráulica

**TABLA 13 – Tipos de suelos**

| Progresiva | | Tipo de Suelo |
|---|---|---|
| 0+000 | 4+000 | A-6 |
| 4+000 | 14+000 | A-2-4 |
| 14+000 | 33+000 | A-4 |
| 33+000 | 41+000 | A-2-4 |
| 41+000 | 56+000 | A-6 |
| 56+000 | 61+000 | A-4 |
| 61+000 | 68+000 | A-6 |
| 68+000 | 73+000 | A-2-4 |
| 73+000 | 79+500 | A-2-4 |
| 79+500 | 91+500 | A-4 |
| 91+500 | 110+000 | A-6 |

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

En el cuadro siguiente se resumen la cantidad de suelo disponible para la Troncal

ING. MARIO LUIS NOSTE
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

(Tramo Troncal: Cruce Pioneros – Paratodo), la cual muestra disponibilidad de tipos de suelos distribuida en toda la traza según el cuadro resumen:

**TABLA 14 – Porcentaje de tipos de suelos**

| TIPO | Nº | % |
|---|---|---|
| A7-6 | 7 | 10 |
| A-6 | 41 | 59 |
| A-4 | 15 | 21 |
| A-2-4 | 7 | 10 |
| **TOTAL** | **70** | **100** |

Lo que confirma la preeminencia de suelos limo-arcillosos, de comportamiento de su matriz estructural variables, con valores soportes muy variables como se muestra en la Tabla 15

**TABLA 15 – Promedio de CBR por tipos de suelos**

| TIPO | CBR (Promedio) | CBR (Mínimo) | CBR (Máximo) |
|---|---|---|---|
| A7-6 | 6,6 | 6,3 | 6,9 |
| A-6 | 6,8 | 1,4 | 38,6 |
| A-4 | 29,0 | 2,3 | 85,1 |
| A-2-4 | 25,4 | 6,4 | 36,2 |

De la Tabla 14 se deduce que el 80% de los suelos del eje de la calzada son del Tipo A-4 y A-6 predominando el A-6, razón por la cual se puede pomar el CBR promedio de este suelo que es de 6,8% como valor soporte para el diseño de la estructura de pavimento, valores que surgen del estudio geotécnico obrante en la Memoria de Ingeniería realizado para este proyecto, pero como valor contractual de licitación, fue establecido por el MOPC en CBR = 3%.

## 5 – ALTERNATIVAS DEL PROYECTO.

### 5.1 – Propuesta de la Contratista.

La contratista propone sustituir el suelo mejorado de subrasante por un suelo tratado con cal, lo que implica una modificación del módulo resiliente de la subrasante, y por ende el del paquete estructural.

### 5.2 – Consideraciones sobre el Módulo Resiliente.

En el proyecto estructural del pavimento se había propuesto una subrasante mejorada para obtener un CBR ≥ 10%.

Y la Contratista propone una estructura tratada con cal para obtener un CBR ≥ 20%, que estará fundada sobre un terraplén de CBR = 3%, por lo que habrá un salto modular que deberá ser valorado al momento de calcular el módulo de diseño de la subrasante utilizando conceptos del Manual de Diseño del MOPC del Paraguay.

ING. MARIO LUIS NOSTE
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke L.
Representante Legal

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

El Manual de Diseño del MOPC recomienda que cuando los suelos que conforman los últimos (-60cm a -30cm) del terraplén tienen valores soportes inferiores a la subrasante (-30cm a 0,00cm) deberá diseñar con un Módulo resiliente compatibles con los CBR de las capas mencionadas.

Por lo que para determinar el Mr de diseño (Mrdis), se determinará a través del concepto de módulos dos capas elásticas sometido a una carga circular, el que está dado por la siguiente relación:

$$Mrdis = F\ Mr0$$

$$1/F = \{0,125 / [0,0156 + h2\ (Mr1/Mr0)0,67]0,5\ \} \times [(1 - Mr0/Mr1) + Mr0/Mr1] \quad (2)$$

Dónde:

Mr0 = capa del terraplén ubicado entre -0.60m a -0,30m

Mr1 = capa del terraplén ubicado entre -0.30m a 0,00m (subrasante)

Para determinar el Mr de diseño, se calcula a través de F con la expresión (2), dando los valores para cada sub-sección, de la forma siguiente:

- $Mr_{(PSI)} = 2555 \times (CBR)^{0.64}$
- Mr0 = 5.218 psi (CBR = 3%)
- Mr1 = 17.380 psi (CBR = 20%).

1/F = 0,468
F = 2,137

Mrdis. = 11.150psi.

CBRdis. = 10%

**5.3 – Estudios de laboratorio que fundamenta un suelo cal con CBR = 20%.**

Se hizo ensayo de campo con una capa de 0,15m de espesor 7,85 de ancho y 300 de largo.

En un suelo tipo A-6, con IP = 17% - LL = 37,7%, en el que se le incorporó el 4% de cal de marca Concret-Cal.

Una vez extendido y mezclado el suelo con la cal, se procedió a compactar midiéndose una densidad máxima seca de Dsec. de 1.792 gr/cm3, con una humedad óptima de 19,1 %.

Para luego extraer muestra de la mezcla y moldearse a 1.792 gr/cm3 con la humedad del 19,1%, que luego la probeta saturada durante 4 días se sometió al ensayo de valor soporte, lográndose un CBR = 23%, con una expansión de 0,62%.

ING. MARIO LUIS NOSTE
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis He...
Representante Lega...

CONSORCIO
CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

### 5.4 - Materiales granulares

Shell Bitumen (1998), recomienda funciones que correlacionan el módulo resiliente de una capa de base o sub-base granular, con el módulo resiliente ($M_R$) de la capa subyacente. Tales correlaciones son las que se presentan en las Ecuaciones 2 y 3.

$M_{R,base} = 0.2 * h_{base}^{0.45} * M_{R,sub\text{-}base}$ (2)

$M_{R,sub\text{-}base} = 0.2 * h_{sub\text{-}base}^{0.45} * M_{R,subrasante}$ (3)

Donde, h es el espesor de la capa indicada.

El rango de aplicación de las ecuaciones 2 y 3 oscila entre 15 y 80 centímetros de espesor de capas granulares.

## 6 –DISEÑO ESTRUCTURAL

### 6.1 – Generalidades.

Para el diseño de las estructuras de pavimento, tanto flexibles como rígidos, el Manual de Carretera del Paraguay recomienda la utilización del Método AASHTO/93.

En el diseño de pavimentos flexibles, se suele considerar a la estructura del pavimento como un sistema elástico con varias capas, estando caracterizado el material de cada capa por ciertas propiedades físicas, que pueden incluir el módulo de elasticidad, el módulo de resiliencia y la relación de Poisson.

La metodología de diseño utilizada para el análisis de los pavimentos flexibles se basa en Modelos de Deterioros, concebidos en la metodología AASHTO 1993.

Se adopta la Metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO 1993) porque, permite modelizar los deterioros de la estructura, y estar ampliamente experimentado en el mundo entero.

Los "Modelos de Deterioros" se desarrollaron para cuantificar pérdidas de serviciabilidad (ΔPSI) durante la vida útil de la estructura.

Los valores de (ΔPSI) surgieron de mediciones realizadas en pistas de ensayos del AASTHO Road Test realizado en el estado de Illinois, y expandidos a los distintos climas y suelos, espesores y materiales existentes en los EE.UU., por lo que la convierte en el modelo de diseño más confiable, dado su carácter empírico racional, que lo convierte en la metodología más utilizado y experimentado a nivel mundial.

El Modelo de Deterioro de Pavimento Flexible, se origina con los resultados obtenidos del AASHO Road Test y en sus dos versiones posteriores el AASHTO/86 y el AASHTO/93, en que se calcula un (SN) número estructural a partir del Módulo Resiliente (Mr) determinado a través del CBR de la sub-rasante, de un factor

ING. MARIO LUIS NOSTE
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke
Representante Legal

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

ambiental definido por el coeficiente de drenaje (md) y de las cargas de ejes equivalentes (ESAL) a 18.000 lbs (80 kN).

Por lo tanto, los parámetros que intervienen en el diseño de un pavimento responden a las acciones siguientes:

- Desempeño del pavimento
- Tránsito
- Suelos de la subrasante
- Materiales para construcción
- Medio ambiente
- Drenaje
- Confiabilidad.

**6.2 – Criterios para el diseño de pavimentos.**

El diseño del pavimento flexible, se basa en criterios que limitan las deformaciones tanto horizontales como verticales, que causan excesivos agrietamientos y deformaciones permanentes.

Esos criterios se consideran en términos de aplicaciones repetidas de carga, porque las repeticiones acumuladas de cargas de tránsito tienen gran importancia en el desarrollo de grietas y en la deformación permanente del pavimento.

La determinación de la vida útil de una estructura de pavimento, está directamente relacionada al comportamiento de la capa de rodamiento, y que en el caso de que ésta esté constituida por mezcla asfáltica, el comportamiento dependerá del grado de envejecimiento del asfalto y por lo tanto de la mezcla asfáltica.

Y esencialmente la vida útil depende de la calidad y resistencia de las capas de base, principalmente que no sean susceptibles al agua, a la intempericie, a las sales y sulfatos, y a los suelos expansibles o colapsables.

**6.3 – Diseño de las capas estructurales.**

Para el diseño de las capas estructurales, como se dijo se utilizará la Metodología AASHTO/93, que aplica modelos de deterioros que utilizando conceptos de pérdida de serviciabilidad (ΔPSI) para determinados valores de tránsito expresado por el ESAL, y del valor soporte de la subrasante medidos por el Módulo Resiliente (Mr), para una determinada Confiabilidad (R) en la exactitud de los valores de los parámetros a ingresar al modelo, y su dispersión estándar $S_D$.

1. R% - Grado de confiabilidad que tiene en cuenta la variabilidad de los materiales, el tránsito, procesos constructivos, el suelo de subrasante, con lo que se obtiene ZR, de la Curva de Distribución Normal de Gauss.

ING. MARIO LUIS N.
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Jorge Maydana
Especialista Vial

2. $S_D$ – Desviación Standard Superior.
3. ESALs – Carga a que será sometida la estructura para producir un deterioro hasta un nivel de serviciabilidad de diseño.
4. MR – Módulo resiliente de la subrasante, (en función del CBR).
5. ΔPSI – Pérdida de serviciabilidad por deterioro a través del ESALs.
6. SN – Número estructural -Parámetro que define la capacidad estructural del pavimento.

Estos parámetros de diseño están relacionados por la expresión (I)

$$\text{Log ESALs} = A + B + C + D \quad (I)$$

En donde:

A = f(R, SD)
B = f(SN necesario)
C = f(ΔPSI / SN)
D = f(MR)

En donde:

$A = ZR \times SD$ (II)

$B = 9{,}36 \times \log(SN+1) - 0{,}20$ (III)

$C = \log (Po - Pf / 4{,}2 - 1{,}5 ) / (0{,}40 + 1094 \times 1/(SN+1)^{5{,}19}$ (IV)

$D = 2{,}32 \log Mr - 8{,}07$ (V)

**6.3.1 – Tipo de estructura de licitación.**

La estructura especificada en licitación, esta formada por las siguientes capas;

**Traza Troncal- Cruce de los Pioneros – Desvío Acceso a Campo Aceval.**

- Subrasante, con suelo mejorado, con un CBR ≥ 10%, y en 30cm de espesor.
- Sub-base de suelo cemento, en 30cm de espesor, y con una resistencia f´ck≥20kg/cm2 kg/cm2.
- Base granular estabilizada en 15 cm de espesor, CBR = 100%
- Base de concreto asfáltico, con asfalto convencional, en 4 cm de espesor
- Carpeta rodamiento dé concreto asfáltico, con asfalto con polímeros, en 4 cm de espesor.

ING. MARIO LUIS [illegible]
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

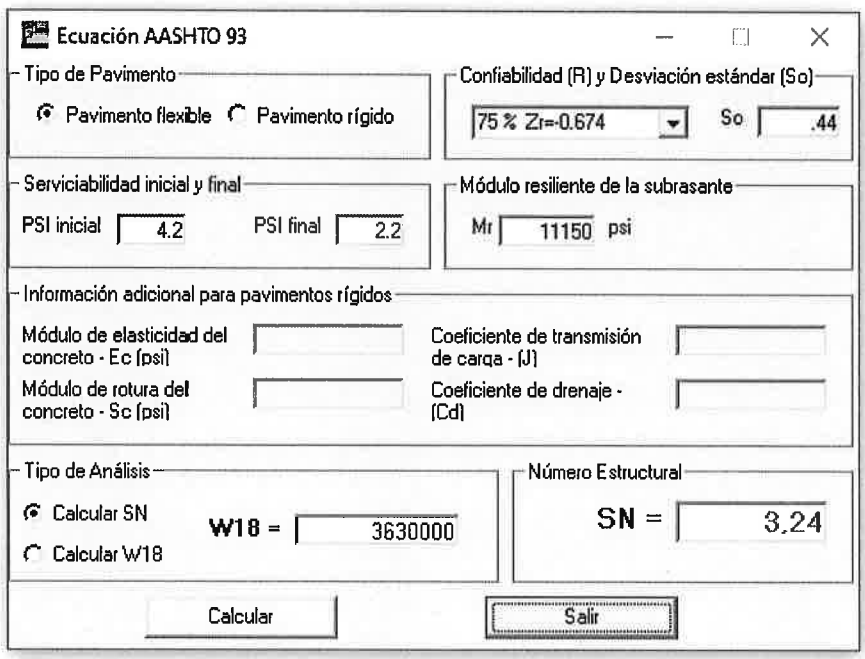
**Traza Accesos - Acceso a Paratodo, Santa Cecilia, Lolita y Campo Aceval y Zonas Urbanas.**

- Subrasante, con suelo mejorado, con un CBR ≥ 10% y en 30cm de espesor.
- Sub-base de suelo cemento, en 30cm de espesor, y con una resistencia f´ck≥20kg/cm2 kg/cm2.
- Base granular estabilizada en 15 cm de espesor, CBR = 100%
- Base de concreto asfáltico, con asfalto convencional, en 4 cm de espesor
- Carpeta rodamiento dé concreto asfáltico, con asfalto con polímeros, en 4 cm de espesor.

### 6.3.2 – Número estructural licitado (SN licitado).

Para la determinación del SN necesario, se debe ingresar al AASHTO/93 los siguientes parámetros:

R = 75%
$S_D$ = 0,44
ΔPSI = 2
Mrdis. = 11.150 psi.
ESAL (10 años) = **3,63 x $10^6$ -** Solicitado por Nota DV del MOPC




Los parámetros de diseño computarizado dado por la expresión (I), por el que se obtuvo un **SN necesario de 3,24.**

ING. MARIO LUIS
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heise
Representante Legal

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Especialista Vial

### 6.3.3 – Estructuras propuestas.

Debido a inconvenientes no previstos, como es la escase de agua, por la fuerte sequía en la zona de obra, lo que imposibilita la ejecución de mezclas de suelo y cemento con alto consumo de agua, por lo que se propone el reemplazo de esas mezclas por capas granulares, lo que se analizará seguidamente su comportamiento estructural que en la que una capa granular es de mayor eficiencia y durabilidad que las mezclas cementadas.

### 6.3.3.1 – Número estructural propuesto (SN propuesto).

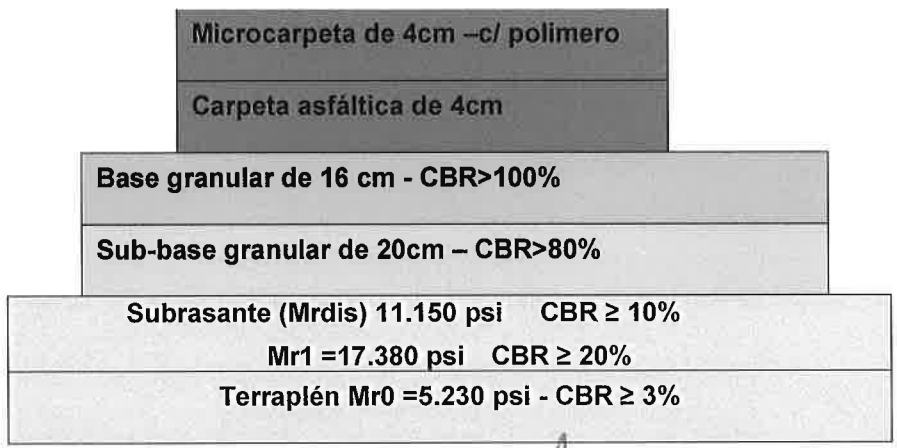
**Tramo Troncal- Cruce de los Pioneros – Desvío Acceso a Campo Aceval.**

**Tabla 16 – Número estructural propuesto – para 10 años**

| CAPA | Espesor (cm) | Coef. Est. (cm/cm) | SN propuesto | SN licitación |
|---|---|---|---|---|
| Carpeta concreto asfáltica c/polímero | 4 | 0,17 | 0,68 | |
| Capa concreto asfáltico convencional | 4 | 0,16 | 0,64 | |
| Base de estabilizado granular CBR≥100% | 16 | 0,058 | 0,93 | |
| Sub-base de estabilizado granular CBR≥80% | 20 | 0,05 | 1,00 | |
| **TOTAL SN efectivo** | | | **3,25** | **3,24** |

Verifica: SN propuesto > SN licitado (B.C.)

**SN efectivo=3,35**




### 6.3.3.2 - Traza Acceso Santa Cecilia.

R = 75%
$S_D$ = 0,44
ΔPSI = 2

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

ING. MARIO LUIS N.
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Mrdis. = 11.150 psi.
ESAL (10 años) = **426.241** - Solicitado por Nota DV Nº 1379/2022 del MOPC

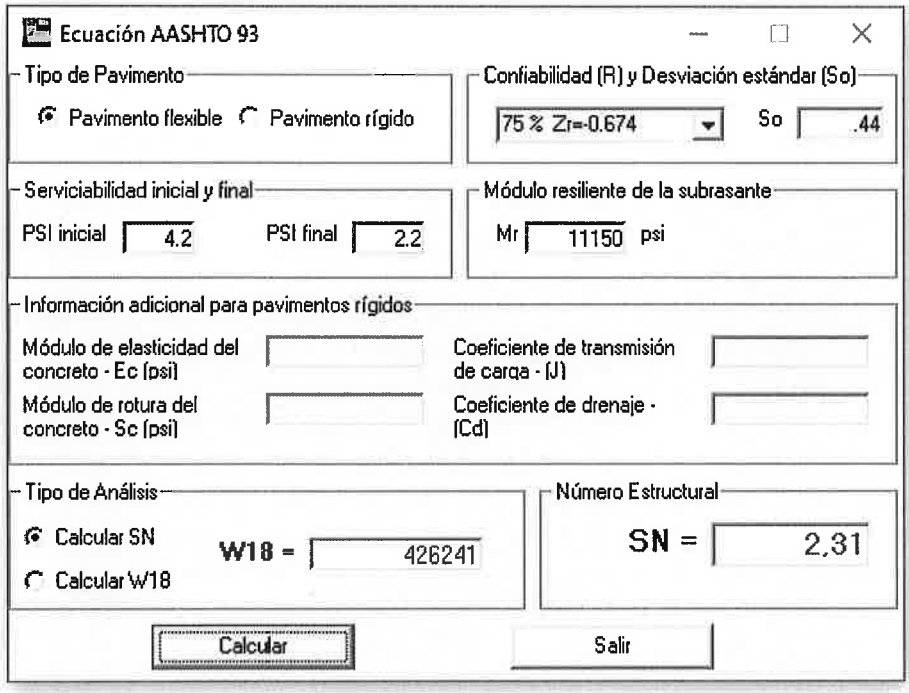



**Tabla 17 – Número estructural Acceso a Sante Cecilia**

| CAPA | Espesor (cm) | Coef. Est. (cm/cm) | SN propuesto | SN licitación |
|---|---|---|---|---|
| Carpeta concreto asfáltica c/polímero | - | - | - | |
| Capa concreto asfáltico convencional | 4 | 0,17 | 0,68 | |
| Base de estabilizado granular CBR≥100% | 15 | 0,058 | 0,87 | |
| Sub-base de estabilizado granular CBR≥80% | 16 | 0,05 | 0,80 | |
| **TOTAL SN efectivo** | | | **2,35** | **2,31** |

Verifica: SN propuesto > SN licitado (B.C.)

**SN efectivo=2,35**

ING. MARIO LUIS NOSTI
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

CONSORCIO
CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista en Pavimentos

### 6.3.3.3 – Traza: Acceso Lolita.

R = 75%
$S_D$ = 0,44
ΔPSI = 2
Mrdis. = 11.150 psi.
ESAL (10 años) = **2,0 x $10^6$** - Solicitado por Nota DV Nº 1379/2022 del MOPC

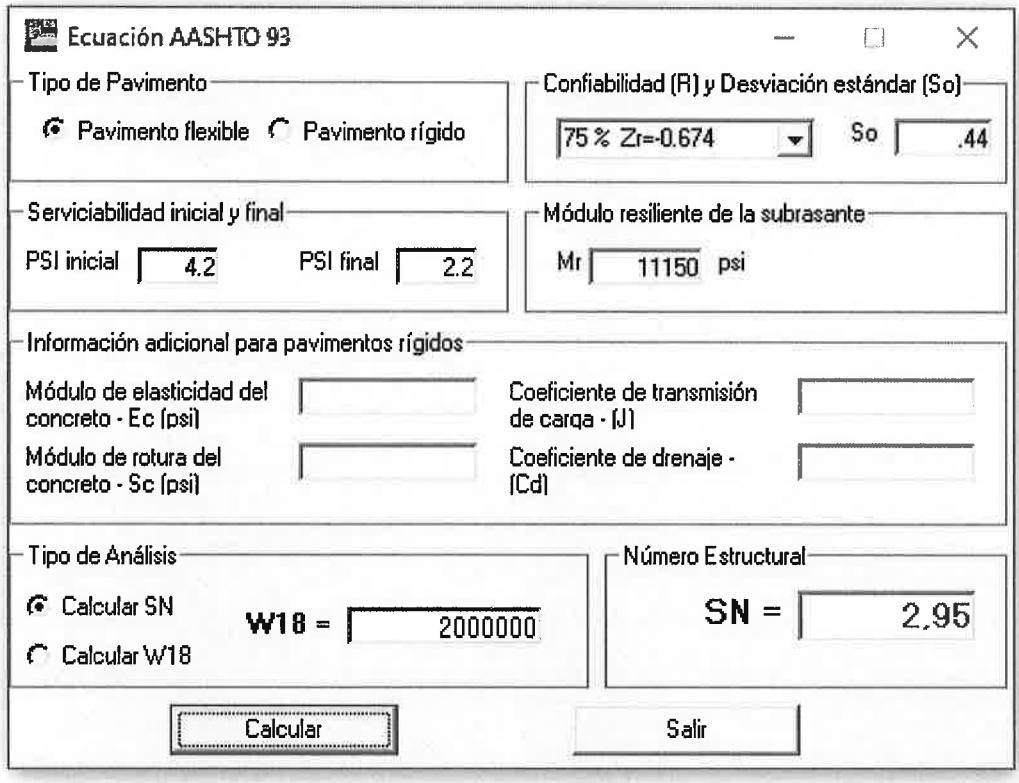



**Tabla 18 – Número estructural Acceso Lolita.**

| CAPA | Espesor (cm) | Coef. Est. (cm/cm) | SN propuesto | SN licitación |
|---|---|---|---|---|
| Carpeta concreto asfáltica c/polímero | 4 | 0,17 | 0,68 | |
| Capa concreto asfáltico convencional | 4 | 0,16 | 0,64 | |
| Base de estabilizado granular CBR≥100% | 15 | 0,058 | 0,87 | |
| Sub-base de estabilizado granular CBR≥80% | 16 | 0,05 | 0,80 | |
| **TOTAL SN efectivo** | | | **2,99** | **2,95** |

ING. MARIO LUIS NOE
Especialista en Pavimentos

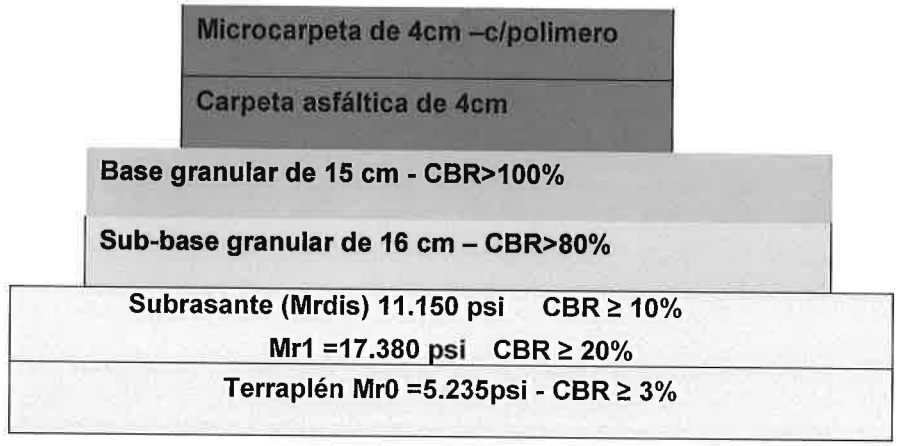
Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Fredy Mendoza
Especialista Vial

Verifica: SN propuesto > SN licitado (B.C.)

**SN efectivo=2,99**




## 7 – VERIFICACION POR EL METODO MECANICISTA.

### 7.1 - Método Empírico – Mecanicista (MEM)

Las metodologías modernas, tienden a integrar lo empírico con lo mecanicista con lo que surgieron los Métodos Empíricos Mecanicistas (MEM).

El método empírico-mecanicista de diseño de pavimentos es un proceso iterativo en el cual se evalúa el comportamiento de la estructura, mediante una comparación entre las solicitaciones admisibles y las solicitaciones reales, basado en las características de los materiales y las tensiones y deformaciones inducidas por las cargas, como se muestra en el esquema siguiente.

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

CONSORCIO
CONTROL DE CORREDORES

Ing. Freddy Maydana
Especialista

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

ING. MARIO LUIS NOSA
Especialista en
Pavimentos

## 7.2 - Método Mecanicista.

El Método Mecanístico – Empírico está basado en el comportamiento de los materiales componentes de las diferentes capas del pavimento.

El análisis estructural asume una relación elástica lineal, considerando un sistema multicapas cuya respuesta a las cargas es calculada en términos de deformaciones y tensiones en las posiciones más críticas para la estructura.

Las posiciones críticas son para la capa asfáltica se evalúa la deformación por tracción ($\varepsilon t$) de las fibras inferiores de la carpeta asfáltica, y para la subrasante se evalúa entonces la deformación vertical ($\varepsilon_z$) en la interfaz Subbase – Subrasante.

La obtención de los valores de las tensiones y deformaciones se realiza con programas informáticos basados en el cálculo de un sistema multicapa (ELSYM 5), y el programa KENLAYER que determina el espesor de la capa de concreto asfáltico que satisface las condiciones de diseño. El programa KENLAYER permite un análisis por fatiga con la información del número de repeticiones de la carga modelada y los factores que definen las funciones de transferencia. La caracterización de los materiales incluye: el espesor de las capas, módulos elásticos, deformaciones y tensiones, y coeficiente de Poissón.

Los parámetros de respuesta del pavimento a las tensiones críticas sirven de datos de entrada a las ecuaciones de transferencia aplicables a cada tipo de material en particular y tipo de falla.

## 7.3 - Funciones de transferencia.

Para una carga de tránsito que solicita a un pavimento, una función de transferencia (F.T.) permite conocer el número de repeticiones admisibles que dicha carga puede solicitar un punto en particular, antes que la estructura de pavimento falle.

La forma canónica más conocida de una función de transferencia, corresponde a la expresada en la ecuación siguiente:

$N_p = (k/ LF \times \varepsilon)^b$

Donde ε es la deformación unitaria inducida en la estructura de pavimento, por una carga de tránsito P, Np es el número de repeticiones admisibles de la carga P, para evitar alcanzar la falla; k es la constante del material, b es el exponente de daño del material, y LF es el factor de mayoración de deformaciones.

Existen diferentes criterios de calcular las constantes k y b de las funciones de transferencia para diseño de pavimentos de caminos.

El parámetro Vb [%] corresponde al contenido de cemento asfáltico en la mezcla, Sm [MPa] es el módulo de elasticidad de la mezcla asfáltica, y $M_R$ corresponde al módulo resiliente de la subrasante. Las constantes k y b han sido calibradas para subrasantes cuyo CBR se encuentre en el rango de 3% ≤ CBR ≤ 30%.

ING. MARIO LUIS NOSTE
Especialista en Pavimentos

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

Es pertinente aclarar que, para cualquier función de transferencia de control de agrietamiento, se debe considerar la deformación unitaria ε, debida a la flexotracción de la fibra más baja de la capa asfáltica más profunda, y medida bajo el centro de la placa circular que representa la impronta del neumático de un vehículo. Para el control de ahuellamiento, se debe considerar la deformación unitaria vertical, debida a la compresión de la fibra más alta de la subrasante.

Las funciones de transferencia relacionan las condiciones de tensión – deformación con el número de repeticiones de carga que puede resistir bajo esas condiciones antes de alcanzar un modo de falla específico.

### 7.4 - Verificación mecanicista: Tramo Troncal (Cruce Pioneros – Paratodo)

Se evalúa la estructura propuesta para los 10 años, utilizando el Software Elsym5 y El programa KENLAYER, aplicando un Eje Estándar de 18.000 Lbs, con eje simple y rueda doble, y determinando las deformaciones $\varepsilon_t$ en las fibras inferiores de la carpeta asfáltica, y $\varepsilon_z$ en la interface subrasante – subase, para lo que se caracterizarán los materiales de las capas de la forma siguiente:
Carpeta asfáltica: Módulo Elástico (30ºt – Vb: 5%) = 4.000 MPa.
Base Granular (CBR>80%): Módulo Elástico = 300 MPa

Sub-base granular (CBR>80%): Módulo Elástico = 200 MPa.

Subrasante: Módulo Elástico = 80MPa

Se evalúa entonces la deformación vertical ($\varepsilon_z$) en la interfaz Sub-base – Sub-rasante, es decir a 43 cm de profundidad y para el ESAL 3,63 x $10^6$ de proyecto, con la siguiente expresión:

$\varepsilon_z = 2{,}13 \times 10^{-2} \times N^{-0{,}25}$ (Shell, Confiabilidad 80 %)

$\varepsilon_z = 0{,}0213 \times 3.630.000^{-0{,}25} = 0{,}000465$

Y para la capa asfáltica se evalúa la deformación por tracción ($\varepsilon t$) de las fibras inferiores de la carpeta asfáltica, es decir a 5 cm de profundidad

Deformación unitaria por tensión en la parte inferior de las capas asfálticas: La función de transferencia, que la SHELL denomina nomograma, se obtuvo del análisis en laboratorio de diferentes mezclas a diferentes temperaturas y frecuencias de carga.

$\varepsilon t = (0{,}856Vb + 1{,}8)\ S_{mix}^{-0{,}36} \times N^{-0{,}2}$ (Shell)

$\varepsilon t$ 10años $= (0{,}856 \times 12 + 1{,}8)\ 4.000^{-0{,}36} \times 3.630.000^{-0{,}2} = 10{,}072 \times 0{,}0406 \times 0{,}0469 = 0{,}0192$

Dónde:

$\varepsilon_t$: Deformación unitaria por tensión en la parte inferior de la capa asfáltica.
Vb: Volumen de asfalto en la mezcla (%).
Smix: Rigidez de la mezcla en las condiciones de diseño en MPa
Nfat: Número de aplicaciones de carga para producir la $\varepsilon_t$ de falla.

CONSORCIO CONTROL DE CORREDO
Ing. Freddy Maydan
Especialista en Pavimentos

Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal

Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras

ING. MARIO LUIS NOST
Especialista en
Pavimentos

La deformación unitaria admisible de trabajo por tensión, (criterio SHELL para 10cm o menos de concreto asfáltico).

### 7.4.1 - Determinaciones del número de repeticiones de ejes de falla

### 1) Agrietamiento en capas asfálticas (criterio SHELL)

$k = 3{,}981^{1/5} (0{,}856Vb + 1{,}8) / 10^{1,2} S_{mix}^{-0,36}$
b= 5
Vb = 12%
Smix = 4.000 MPa
LF= 10,345
$N_p = (9{,}84/ LF \times \varepsilon_t)^5$

**10 años**

$\varepsilon_t = 0{,}000465$

$N_p = (9{,}84/ 10{,}345 \times 0{,}0192)^5$ = **298.412.406 repetición de ejes admisible de carga.**

**Verifica: 298 x$10^6$ > 3,63 x $10^6$**

**2) Ahuellamiento en subrasante (AASHTO 2002)**

$k = 1{,}80 \times 10^{-2}$
b= 4
LF= 0,745
$N_p = (1{,}80 \times 10^{-2}/ LF \times \varepsilon_z)^4$

**10 años**
$\varepsilon_z = 0{,}000465$
$N_p = (0{,}018/ 0{,}745 \times 0{,}000465)^4$ = **7.288.751 repetición de ejes admisible de carga.**

**Verifica: 7,3 x $10^6$ > 3,63 x $10^6$**

## 8 – VERIFICACION POR CAPA.

### 8.1 - Procedimiento.

Se adopta un $D'_1$ ligeramente mayor, y el SN absorbido por esta capa es: $SN'_1 = a1 \times D'_1$, Para determinar el espesor mínimo de la base, se entra al ábaco con Mr de la sub-base y entonces se obtiene el $SN_2$ a ser absorbido por el concreto asfáltico y la base. Asi:

$$D_2 = (SN_2 - SN'_1) / a_2 x m_2$$

Se adopta un valor ligeramente mayor $D'_2$, y el número absorbido será:

$$SN'_2 = a_2 \times D'_2 \times m_2$$

CONSORCIO CONTROL DE CORREDORES
Ing. Freddy Maydana
Especialista Vial
Ing. José Luis Heisecke R.
Representante Legal
Ing. Marvin Mendoza La Torre
Super Intendente de Obras
ING. MARIO LUIS NOS
Especialista en
Pavi