CONSULTORIA PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO VIAL DE LAS CARRERAS 4 Y 5 ENTRE CALLES 2 Y 3 Y CALLE 2 ENTRE CARRERA 4 Y ENTRADA AL CASCO URBANO ASÍ COMO ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE LAS MISMAS DEL MUNICIPIO DE PAYA, BOYACÁ.

# INFORME DE DISEÑO DE PAVIMENTOS



Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

CONSULTORIA PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO VIAL DE LAS CARRERAS 4 Y 5 ENTRE CALLES 2 Y 3 Y CALLE 2 ENTRE CARRERA 4 Y ENTRADA AL CASCO URBANO ASÍ COMO ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE LAS MISMAS DEL MUNICIPIO DE PAYA, BOYACÁ

CONTROL DE VERSIONES

| **Versión No.1** | **Observaciones** |
|---|---|
| 1 | Versión inicial informe de diseño de pavimentos |
| | |
| | |

# INFORME DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

CRISTIAN CAMILO CONTRERAS MANRIQUE

INGENIERO CIVIL

ESPECIALISTA EN INFRAESTRUCTURA VIAL

2024

**TABLA DE CONTENIDO**

INTRODUCCIÓN ..... 7

OBJETIVOS ..... 8

1. INFORMACIÓN INICIAL PARA EL DISEÑO ..... 9

1.1. EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE ..... 9

1.1.1. CBR de la unidad de diseño ..... 9

1.1.2. Modulo resiliente de la subrasante ..... 9

1.2. FACTORES CLIMÁTICOS Y AMBIENTALES ..... 9

1.2.1. Temperatura media anual ponderada TMAP ..... 9

1.2.2. Precipitación media anual PMA ..... 9

1.2.3. Días de lluvia esperados en el año ..... 9

1.2.4. Diferencia de temperatura para la losa de concreto ..... 9

1.3. EVALUACIÓN DEL TRANSITO ..... 9

1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA EL PAVIMENTO ..... 9

1.4.1. Base granular ..... 9

1.4.2. Subbase granular ..... 9

1.4.3. Concreto hidráulico ..... 10

2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTOS ..... 11

2.1. ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTOS ..... 11

2.1.1. Pavimento articulado: ..... 11

2.1.2. Pavimento flexible ..... 11

2.1.3. Pavimento rígido ..... 12

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

2.1.4. Pavimento con placa huella ..... 12

2.2. Alternativa seleccionada ..... 12

3. DISEÑO DE PAVIMENTO POR EL MÉTODO AASHTO ..... 13

3.1. PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS A DISEÑO DE PAVIMENTO ..... 13

3.1.1. Error normal combinado, So ..... 13

3.1.2. Nivel de serviciabilidad ..... 13

3.1.3. Cálculo de coeficientes de drenaje de las capas granular ..... 14

3.2. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO ..... 15

3.2.1. Módulo de rotura del concreto, Sc ..... 15

3.2.2. Módulo de elasticidad del concreto ..... 15

3.2.3. Coeficiente de transferencia de carga, J ..... 15

3.2.4. Evaluación de la subrasante ..... 16

3.2.5. Evaluación de la capa de subbase granular ..... 16

3.2.6. Factor de perdida de soporte, Ls ..... 18

3.2.7. Módulo de reacción efectivo de la subrasante ..... 18

3.2.8. Cálculo del espesor de la capa de concreto ..... 19

3.2.9. Dimensiones en planta de la losa de concreto ..... 19

3.2.10. Cálculo de los pasadores de la losa ..... 20

3.2.11. Cálculo de las barras de anclaje de la losa ..... 21

3.2.12. Esquema del diseño de la estructura de pavimento rígido ..... 22

4. VERIFICACIÓN POR MECÁNICA DE PAVIMENTOS ..... 23

4.1. VERIFICACIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO – ALTERNATIVA No. 1 ..... 23

4.1.1. Calculo con formulas ..... 23

4.1.2. Calculo mediante software CEDEL ..... 27

4.1.3. Comprobación de cumplimiento con valores máximos ..... 29

4.2. VERIFICACIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO – ALTERNATIVA No. 2 ..... 30

4.2.1. Calculo con formulas ..... 30

4.2.2. Calculo mediante software CEDEL alternativa No. 2 ..... 34

4.2.3. Comprobación de cumplimiento con valores máximos alternativa No. 2 36

4.2.4. Cálculo de los pasadores de la losa ..... 36

4.2.5. Cálculo de las barras de anclaje de la losa ..... 37

**LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Error normal combinado, So ..... 13

Tabla 2. Valor de serviciabilidad inicial de la estructura de pavimento, Po ..... 13

Tabla 3. Valor de serviciabilidad final de la estructura de pavimento, Pt ..... 13

Tabla 4. Coeficientes de drenaje de las capas granulares. ..... 14

Tabla 5. Coeficiente de transferencia de carga, J ..... 16

Tabla 6. Factor de perdida de soporte en relación con el tipo de base o subbase a utilizar, pavimento rígido. ..... 17

Tabla 7. Características de los pasadores de la losa según el espesor de la capa de concreto. ..... 20

Tabla 8. Características de las barras de anclaje en función del espesor de la losa. . 21

Tabla 9. Comprobación de cumplimiento de esfuerzos en losa de pavimento rígido. 29

Tabla 10. Comprobación de cumplimiento de parámetro de deformación en losa de pavimento rígido. ..... 29

Tabla 11. Comprobación de cumplimiento de esfuerzos en losa de pavimento rígido alternativa 2 ..... 36

Tabla 12. Comprobación de cumplimiento de parámetro de deformación en losa de pavimento rígido alternativa 2 ..... 36

Tabla 13. Características de los pasadores de la losa según el espesor de la capa de concreto. ..... 37

Tabla 14. Características de las barras de anclaje en función del espesor de la losa. 37

**LISTA DE IMÁGENES**

Imagen 1. Módulo de reacción efectivo de la subrasante mediante software ASMOD ..... 18

Imagen 2. Cálculo del espesor de la capa de concreto, software Ecuación AASHTO 93. ..... 19

Imagen 3. Factor de corrección, C. diseño de pavimento rígido. ..... 24

Imagen 4. Esfuerzos de alabeo pavimento rígido. Software CEDEL. ..... 27

Imagen 5. Esfuerzo debido a la fricción, pavimento rígido. Software CEDEL. ..... 27

Imagen 6. Esfuerzos y deflexiones debido a cargas, pavimento rígido. Software CEDEL. ..... 28

Imagen 7. Factor de corrección, C. diseño de pavimento rígido alternativa 2 ..... 31

Imagen 8. Esfuerzos de alabeo pavimento rígido. Software CEDEL. ..... 34

Imagen 9. Esfuerzo debido a la fricción, pavimento rígido. Software CEDEL. ..... 35

Imagen 10. Esfuerzos y deflexiones debido a cargas, pavimento rígido. Software CEDEL. ..... 35

Imagen 11. Estructura de pavimento seleccionada. ..... 38

## INTRODUCCIÓN

Las carreteras a través del tiempo han representado una parte importante en el desarrollo económico y social de las regiones, por las cuales transitan vehículos que llevan consigo mercancía y otros que permiten la movilidad de personas a través de diferentes lugares. Con el fin de permitir un tránsito más rápido y cómodo para los usuarios, las carreteras disponen de un diseño de una estructura de pavimento, la cual está conformada por varias capas granulares de un espesor determinado y debidamente compactadas, además de una capa de rodadura que puede ser asfáltica flexible o de concreto rígido. Estas capas tienen la función de disipar los esfuerzos que los vehículos le transmiten al suelo de fundación de la carretera, con el fin de que dicho suelo de fundación no falle por estos esfuerzos.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estructura de pavimento rígido teniendo en cuenta el cumplimiento de parámetros de fatiga para la vida útil de diseño de este, además relacionado con la economía de construcción de la misma

### OBJETIVOS GENERALES

- Determinar el espesor de las capas que conforman la estructura de pavimento según el método AASHTO.

- Comprobar el cumplimiento de parámetros de deflexión, deformación y esfuerzos mediante la mecánica propia de cada uno de los dos tipos de pavimento analizado.

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

# 1. INFORMACIÓN INICIAL PARA EL DISEÑO

## 1.1. EVALUACIÓN DE LA SUBRASANTE

### 1.1.1. CBR de la unidad de diseño

El CBR de la subrasante para la unidad de diseño es:

$$CBR_{SR} = 3.48\%$$

Adicionalmente, NO se evidencia un estrato rocoso en la subrasante.

### 1.1.2. Modulo resiliente de la subrasante

Se calcula teniendo en cuenta la siguiente correlación

$$Mr_{SR}\ [psi] = 1500 * CBR$$

$$Mr_{SR} = 1500 * 3.48$$

$$Mr_{SR} = 6000\ psi$$

## 1.2. FACTORES CLIMÁTICOS Y AMBIENTALES

### 1.2.1. Temperatura media anual ponderada TMAP

$$TMAP = 20\ °C$$

### 1.2.2. Precipitación media anual PMA

$$PMA = 650\ mm$$

### 1.2.3. Días de lluvia esperados en el año

Para la zona, se estima que el número de días de lluvia esperados en el año es de **68 días.**

### 1.2.4. Diferencia de temperatura para la losa de concreto

$$\Delta t = 2.05\ {}^{°F}/_{in} = 0.545\ {}^{°C}/_{cm}$$

## 1.3. EVALUACIÓN DEL TRANSITO

Los datos son anexados y referenciados en el informe de estimación del transito de diseño.

## 1.4. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA EL PAVIMENTO

### 1.4.1. Base granular

$$CBR_{BG} = 82\%$$

$$\mu_2 = 0.38$$

$$Drenaje = Bueno$$

### 1.4.2. Subbase granular

$$CBR_{SBG} = 30\%$$

$$\mu_2 = 0.45$$

$$Drenaje = Regular$$

### 1.4.3. Concreto hidráulico

$$f'_c = 285\ {}^{kg}/_{cm^2}$$



Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

# 2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTOS

## 2.1. ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTOS

Dentro de las alternativas para la pavimentación de vías encontramos:

- Pavimento flexible
- Pavimento articulado
- Pavimento rígido
- Pavimento por medio de placa huella

El tipo de pavimento es definido de acuerdo con los materiales constructivos a utilizados, cumpliendo con la función de permitir en condiciones adecuadas y seguras, la circulación los vehículos y peatones.

Estas alternativas pueden ser de la siguiente manera:

### 2.1.1. Pavimento articulado:

Los pavimentos articulados están compuestos por una capa de rodadura que está elaborada con bloques de concreto o arcilla prefabricados, llamados adoquines, de espesor uniforme elaborados entre sí. esta puede ir ubicada sobre una capa delgada de arena, la cual, a su vez, se apoya sobre una capa de base granular, o directamente sobre la subrasante, y en capa de arena dependiendo de la calidad de esta y de las magnitudes frecuencia de las cargas que circulan por dicho pavimento. Este pavimento es utilizado en zonas de falla donde los demás tipos de pavimentos no pueden ser implementados.

### 2.1.2. Pavimento flexible

Se denomina pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parkings. La construcción de pavimentos flexibles se realiza a base de varias capas de material. Cada una de las capas recibe cargas por encima de la capa. Cuando las supera la carga que puede sustentar traslada la carga restante a la capa inferior. De ese modo lo que se pretende es que poder soportar la carga total en el conjunto de capas. Las capas de un pavimento flexible que conforman un suelo se colocan en orden descendente en capacidad de carga. La capa superior es la que mayor capacidad de soportar cargas tiene de todas las que se disponen. Por lo tanto, la capa que menos carga puede soportar es la que se encuentra en la base. La durabilidad de un pavimento flexible no debe ser inferior a 8 años y normalmente suele tener una vida útil de 20 años. Las capas de un pavimento flexible suelen ser: capa superficial o capa superior que es la que se encuentran en contacto con el tráfico rodado y que normalmente ha sido elaborada con varias capas asfálticas. La capa base es la capa que está debajo de la capa superficial y está, normalmente, construida a base de agregados y puede estar estabilizada o sin estabilizar. La capa sub – base es la capa o capas que se encuentra inmediatamente debajo de la capa base. En muchas ocasiones se prescinde de esa capa sub – base.

### 2.1.3. Pavimento rígido

Está sostenido sobre una capa de material granular, está dotado de una losa de concreto. Este tipo de pavimento, tienen la capacidad de soportar cargas pesadas gracias a su espesor de losa en concreto. Estos tipos de pavimento son bastante económicos, sobre todo a la hora del mantenimiento. Además, al ser muy resistente puede ser utilizado durante mucho tiempo, son fáciles para construir. Existen diversas clases de éste, algunos de ellos son reforzados, simple, pre esforzado, entre otros. Son muy utilizados en las ciudades y fábricas de trabajo industrial.

### 2.1.4. Pavimento con placa huella

Las placas huellas consisten en franjas de concreto reforzado y franjas en piedra pegada, lo cual son viables para caminos y vías terciarias donde se deben realizar intervenciones, ya que son vías de buena calidad y que se pueden ejecutar a un bajo costo gracias a que el tiempo de construcción es corto, además de que se pueden generar soluciones de acceso en las cuales la misma comunidad puede ayudar a ejecutar la construcción. Son caminos transitables durante cualquier época del año y no se incurre en elevados costos de mantenimiento.

## 2.2. Alternativa seleccionada

Para el caso del pavimento articulado, es recomendado para vías donde hay presencia de fallas geológicas o como pavimento estético debido a la variedad de colores que ofrece el mercado. Lo cual no resulta ser la alternativa más viable, debido a los costos de mantenimiento y reparación.

El uso de pavimento en asfalto es inviable debido los altos costos, distancia y tiempo de traslado de la mezcla asfáltica y bajo volumen a instalar de igual manera las vías aledañas al tramo en estudio se encuentran con losas en concreto lo cual dificultaría su empalme.

Los pavimentos de placa huellas son recomendados en zonas rurales con pendientes mayores al 10%. Donde es necesario que la pendiente facilite el auto lavado debido a que, en las franjas de piedra pegada, acumulan sedimentos.

De acuerdo con los análisis anteriores, resulta más factible el uso del pavimento rígido, debido a que es apto para uso urbano de bajo y medio tránsito, ofreciendo una larga durabilidad frente a los otros materiales, y reducidos costos de mantenimiento. Adicionalmente los materiales del pavimento rígido se pueden conseguir con facilidad, teniendo en cuenta que existe una cantera a aproximadamente a 60 km del tramo a intervenir.

# 3. DISEÑO DE PAVIMENTO POR EL MÉTODO AASHTO

## 3.1. PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS A DISEÑO DE PAVIMENTO

Para el diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO se tienen en cuenta los siguientes parámetros, los cuales dependen del tipo de vía y su construcción:

### 3.1.1. Error normal combinado, So

Tabla 1. Error normal combinado, So

| Proyecto de pavimento | Desviación estándar, So | |
|---|---|---|
| | Flexible | Rígido |
| | 0.4 - 0.5 | 0.3 - 0.4 |
| Construcción nueva | 0.45 | 0.35 |
| Sobrecapas | 0.5 | 0.4 |

Fuente: Manual de la AASHTO

Se tiene en cuenta la tabla anterior, y sabiendo que el proyecto es una construcción nueva, el valor del error normal combinado se toma como:

$$S_0 = 0.35$$

### 3.1.2. Nivel de serviciabilidad

Tabla 2. Valor de serviciabilidad inicial de la estructura de pavimento, Po

| Tipo de pavimento | Serviciabilidad inicial, Po |
|---|---|
| **Concreto** | 4.5 |
| **Asfalto** | 4.2 |

Fuente: Manual de la AASHTO

Tabla 3. Valor de serviciabilidad final de la estructura de pavimento, Pt

| Tipo de vía | Serviciabilidad final, Pt |
|---|---|
| **Autopista** | 2.5 - 3 |
| **Carreteras** | 2 - 2.5 |
| **Zonas industriales** | |
| **Pavimento urbano principal** | 1.5 - 2 |
| **Pavimento urbano secundario** | 1.5 - 2 |

Fuente: Manual de la AASHTO.

Teniendo en cuenta la Tabla 2 y la Tabla 3, para la estructura de pavimento flexible el índice de serviciabilidad inicial será igual a 4.5, mientras que el valor de serviciabilidad final se selecciona teniendo en cuenta que la estructura de pavimento se diseñará para una vía tipo pavimento urbano, teniendo un valor de serviciabilidad final igual a 2.

$$P_0 = 4.5$$

$$P_t = 2$$

$$\Delta IPS = P_0 - P_t = 4.5 - 2$$

$$\Delta IPS = 2.5$$

### 3.1.3. Cálculo de coeficientes de drenaje de las capas granular

Tabla 4. Coeficientes de drenaje de las capas granulares.

| Capacidad de drenaje | % de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Menos del 1% | 1 a 5% | 5 a 25% | Mas del 25% |
| **Excelente** | 1.4 - 1.35 | 1.35 - 1.3 | 1.3 - 1.2 | 1.2 |
| **Bueno** | 1.35 - 1.25 | 1.25 - 1.15 | 1.15 - 1 | 1 |
| **Regular** | 1.25 - 1.15 | 1.15 - 1.05 | 1 - 0.8 | 0.8 |
| **Malo** | 1.15 - 1.05 | 1.05 - 0.8 | 0.8 - 0.6 | 0.6 |
| **Muy malo** | 1.05 - 0.95 | 0.95 - 0.75 | 0.75 - 0.4 | 0.4 |

Fuente: Manual de la AASHTO

- **Porcentaje de días de lluvia al año**

$$\%tws = \frac{Dias\ de\ lluvia\ esperados\ en\ el\ año}{365}$$

$$\%tws = \frac{68}{365}$$

$$\%tws = 18.63\%$$

$$m_2 = 1.05$$

- **Coeficiente de drenaje subbase granular**

Para una capacidad de drenaje regular, y conociendo que el porcentaje de tiempo en el que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación entre el 5% y el 25%, el valor del coeficiente de drenaje para esta capa es:

$$m_3 = 0.86$$

## 3.2. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO

### 3.2.1. Módulo de rotura del concreto, Sc

Teniendo en cuenta la Tabla 3-1 (Resistencia que debe alcanzar el concreto) del Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías de bajos, medios y altos volúmenes de tránsito del INVIAS, y en referencia con el numero total de camiones que transitan por las vías a diseñar, el cual es menor a 25, se establece lo siguiente:

| Calidad del concreto | Numero de camiones por dia | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 300 | 150 – 300 | 25 – 150 | < 25 |
| A flexión (MPa) | 4.5 | 4.2 | 4.0 | 3.8 |

$$S_c = 4.0\ MPa$$

$$S_c = 40.77\ kg/cm^2$$

Teniendo encuentra la siguiente formula de correlación se calcula la resistencia a la compresión del concreto, con el fin de diseñar la mezcla de acuerdo con la disponibilidad de material de la región:

$$S_c = 2.2 * {f'_c}^{0.5}$$

$${f'_c} = \left(\frac{40.77}{2.2}\right)^2$$

$${f'_c} = 344\ kg/cm^2$$

$${f'_c} = 33.7\ MPa$$

### 3.2.2. Módulo de elasticidad del concreto

Para el cálculo del módulo de elasticidad del concreto, se establece una correlación teniendo en cuenta que no hay información acerca del tipo de agregado a utilizar.

$$E_c = 12500 * (f'_c)^{0.5}\ [kg/cm^2]$$

$$E_c = 12500 * (344)^{0.5}$$

$$E_c = 231675\ kg/cm^2$$

$$E_c = 3295183\ psi$$

### 3.2.3. Coeficiente de transferencia de carga, J

Para establecer el coeficiente de carga se tiene en cuenta la siguiente tabla, en donde se establece que la vía tendrá berma en concreto, dispositivos de transmisión de carga y el pavimento reforzado con juntas.

Tabla 5. Coeficiente de transferencia de carga, J

| **Berma** | **De asfalto** | | **De concreto** | |
|---|---|---|---|---|
| **Dispositivos de transmisión de carga** | **SI** | **NO** | **SI** | **NO** |
| **Pavimento no reforzado o reforzado con juntas** | 3.2 | 3.8 - 4.4 | 2.5 - 3.1 | 3.6 - 4.2 |
| **Pavimento reforzado continuo** | 2.9 - 3.2 | | 2.3 - 2.9 | |

De acuerdo con la descripción anterior, el valor del coeficiente de transferencia de carga se establece como el promedio del intervalo que enuncia la tabla, el cual será:

$$J = 2.8$$

### 3.2.4. Evaluación de la subrasante

La evaluación de la subrasante esta ligada con los resultados dados por el estudio geotécnico realizado a los tramos viales. El CBR de diseño para la subrasante es de 3.48%, siendo clasificado este como un suelo pobre a regular. Teniendo en base una de las conclusiones y recomendaciones de dicho estudio, se encontraron suelos con grados de expansión medios a muy altos, por lo cual es necesario realizar una actividad de mejoramiento para dicho suelo.

- **Modulo resiliente subrasante sin tratar**

$$Mr\ [kg/cm^2] = 100CBR = 100 * 3.48$$

$$Mr = 348\frac{kg}{cm^2} = 34.14\ MPa = 4950\ psi$$

- **Módulo de reacción de la subrasante sin tratar**

$$K_{SR}\left[\frac{kg}{cm^3}\right] = 0.25 + 5.5\log CBR$$

$$K_{SR} = 0.25 + 5.5\log 3.48$$

$$K_{SR} = 3.04\frac{kg}{cm^3} = 109.6\frac{lb}{in^3} = 30.4\frac{MPa}{m}$$

### 3.2.5. Evaluación de la capa de subbase granular

Para evaluar la capa de subbase granular se determinará el módulo de elasticidad de dicha capa, la cual depende del espesor y del módulo resiliente de la subrasante.

De manera anticipada, se tiene en cuenta que para materiales granulares sin tratar, el cual es la característica principal de dicha subbase a utilizar, el rango del módulo de elasticidad debe estar entre 100 MPa y 300 MPa. La afirmación anterior se basa en lo establecido en la Tabla 6:

Tabla 6. Factor de perdida de soporte en relación con el tipo de base o subbase a utilizar, pavimento rígido.

| Tipo de base o subbase | Factor de perdida de soporte, Ls |
|---|---|
| Bases granulares tratadas con cemento (E = 7000 a 14000 MPa) | 0.0 - 1.0 |
| Subbases tratadas con cemento (E = 3500 a 7000 MPa) | 0.0 - 1.0 |
| Bases asfálticas (E = 2500 a 7000 MPa) | 0.0 - 1.0 |
| Subbases estabilizadas con asfalto (E = 300 a 2000 MPa) | 0.0 - 1.0 |
| Estabilización con cal (E = 150 a 1000 MPa) | 1.0 - 3.0 |
| Materiales granulares sin tratar (E = 100 a 300 MPa) | 1.0 - 3.0 |
| Suelos finos y subrasantes naturales (E = 20 a 300 MPa) | 2.0 - 3.0 |

Se utilizará el valor del CBR de la subrasante para poder calcular el espesor de la subbase necesario para cumplir con el rango de modulo de elasticidad establecido anteriormente para esta capa. No se tendrá en cuenta alguna capa de mejoramiento al mismo.

Tomando como base el valor mínimo de modulo de elasticidad que debe tener la subbase granular, el espesor necesario de dicha capa granular es:

$$E_{SBG} = 0.206 * {H_{SBG}}^{0.45} * Mr$$

$$H_{SBG} = \left(\frac{E_{SBG}}{0.206 * Mr}\right)^{\frac{1}{0.45}}$$

$$H_{SBG} = \left(\frac{1019.37\ kg/cm^2}{0.206 * 348\ kg/cm^2}\right)^{\frac{1}{0.45}}$$

$$H_{SBG} = 365\ mm$$

Por facilidad constructiva, se define un espesor de la capa granular de 400 mm.

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

### 3.2.6. Factor de perdida de soporte, Ls

Teniendo en cuenta las características de la capa de subbase, el factor de perdida de soporte se establece teniendo en cuenta la siguiente tabla:

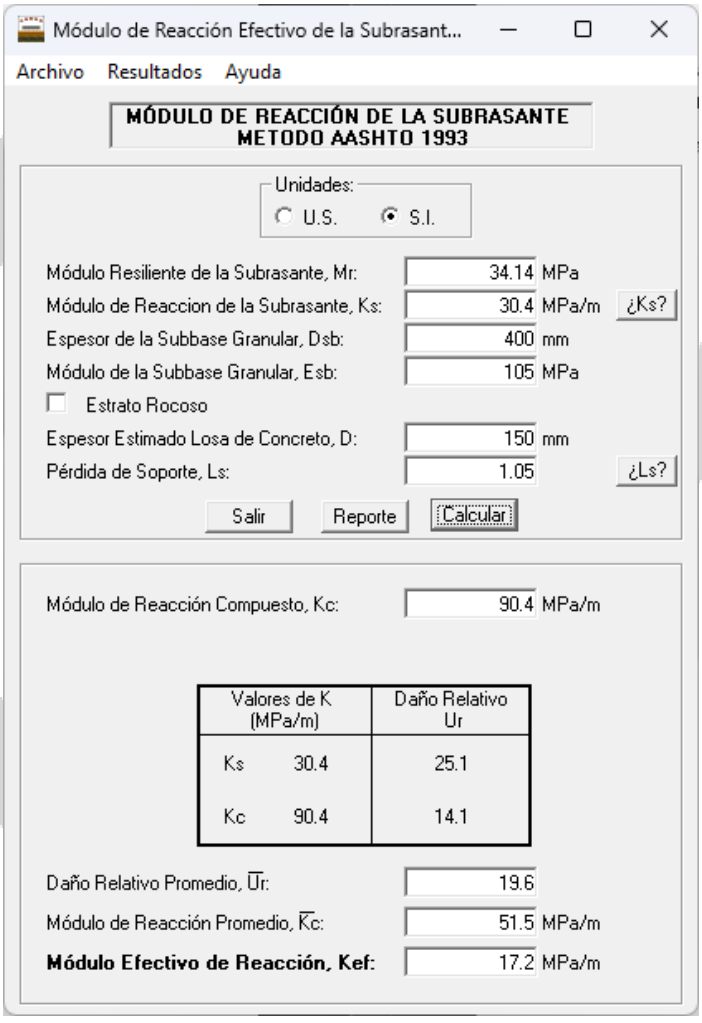
Conforme a lo enunciado en la tabla, el valor del factor de perdida de soporte a utilizar en este diseño será:

$$Ls = 1.05$$

### 3.2.7. Módulo de reacción efectivo de la subrasante

Para calcular este parámetro se utiliza el software ASMOD, el cual requiere datos de las características mecánicas de la subrasante y la subbase, además del espesor de la subbase granular y un espesor estimado de la capa de concreto.

Imagen 1. Módulo de reacción efectivo de la subrasante mediante software ASMOD



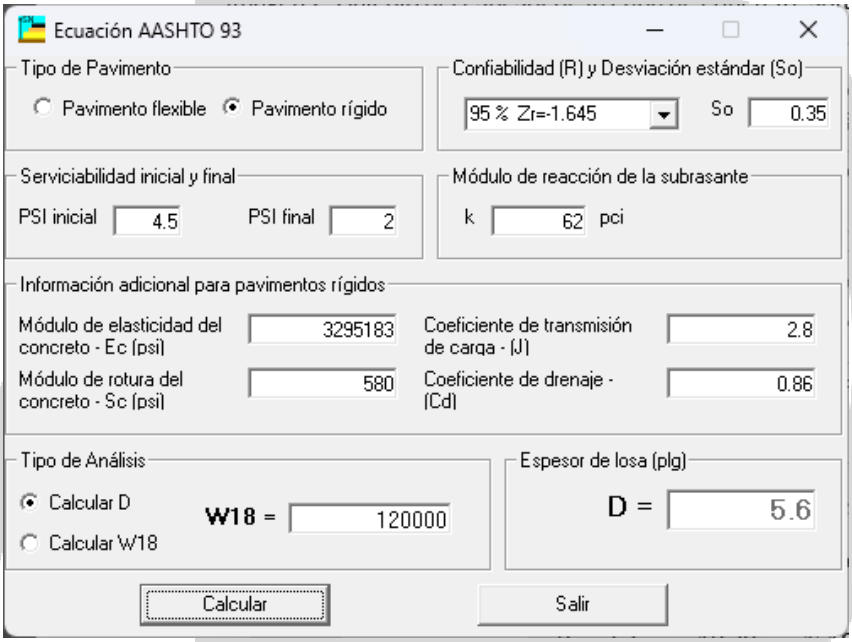

$$K_{efec} = 17.2\frac{MPa}{m} = 62\frac{lb}{in^3}$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

### 3.2.8. Cálculo del espesor de la capa de concreto

Para calcular el espesor de la capa de concreto para este pavimento rígido, se hará uso del software que implementa la ecuación de la AASHTO 93, el cual requiere de datos acerca de la confiabilidad, de la desviación estándar, índices de serviciabilidad, módulo de reacción efectivo de la subrasante, características mecánicas del concreto y el transito calculado específicamente para pavimento rígido.

Imagen 2. Cálculo del espesor de la capa de concreto, software Ecuación AASHTO 93.




En definitiva, con el método AASHTO para diseñar una estructura de pavimento rígido, el espesor de la capa de concreto requerida será:

$$D = 5.6\ in = 14.22\ cm \cong 15\ cm$$

Teniendo en cuenta dimensiones constructivas, el espesor de la capa de concreto se establece de 15 centímetros.

### 3.2.9. Dimensiones en planta de la losa de concreto

- **Carrera 4**

Se establece que el ancho del carril para esta vía es de 3 metros, entones este valor corresponderá al ancho de una losa de concreto.

$$Ancho = 3\ m$$

$$Largo = 3.7\ m$$

$$\frac{L}{b} = \frac{3.7m}{3m} = 1.23 < 1.25\ OK$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

- **Carrera 5**

Se establece que el ancho del carril para la vía es de 3 metros, entones este valor corresponderá al ancho de una losa de concreto.

$$Ancho = 3\ m$$

$$Largo = 3.7\ m$$

$$\frac{L}{b} = \frac{3.7m}{3m} = 1.23 < 1.25\ OK$$

- **Calle 2**

Se establece que el ancho del carril para la vía es de 3 metros, entones este valor corresponderá al ancho de una losa de concreto.

$$Ancho = 3\ m$$

$$Largo = 3.7\ m$$

$$\frac{L}{b} = \frac{3.7\ m}{3\ m} = 1.23 < 1.25\ OK$$

### 3.2.10. Cálculo de los pasadores de la losa

Para el cálculo de los pasadores de la losa se tiene en cuenta la siguiente tabla, en donde, para un espesor de losa de 15 cm, los pasadores tendrán las siguientes características:

- **Tipo de barra:** Lisa
- **Diámetro de la barra:** 3/4 pulg.o 19 mm
- **Longitud del pasador:** 350 mm
- **Separación entre centros de los pasadores:** 300 mm.

Tabla 7. Características de los pasadores de la losa según el espesor de la capa de concreto.

| Espesor de la losa [mm] | Diámetro del pasador | | Longitud total [mm] | Separación entre centros [mm] |
|---|---|---|---|---|
| | [mm] | [in] | | |
| 0 - 100 | 13 | ½ | 250 | 300 |
| 110 - 130 | 16 | 5/8 | 300 | 300 |
| 140 - 150 | 19 | ¾ | 350 | 300 |
| 160 - 180 | 22 | 7/8 | 350 | 300 |
| 190 - 200 | 25 | 1 | 350 | 300 |
| 210 - 230 | 29 | 1 1/8 | 400 | 300 |
| 240 - 250 | 32 | 1 ¼ | 450 | 300 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 260 - 280 | 35 | 1 3/8 | 450 | 300 |
| 290 - 300 | 38 | 1 ½ | 500 | 300 |

### 3.2.11. Cálculo de las barras de anclaje de la losa

Para calcular las barras de anclaje de la losa, se tiene en cuenta la siguiente tabla, la cual brinda unas características de dichas barras en función del espesor de la losa.

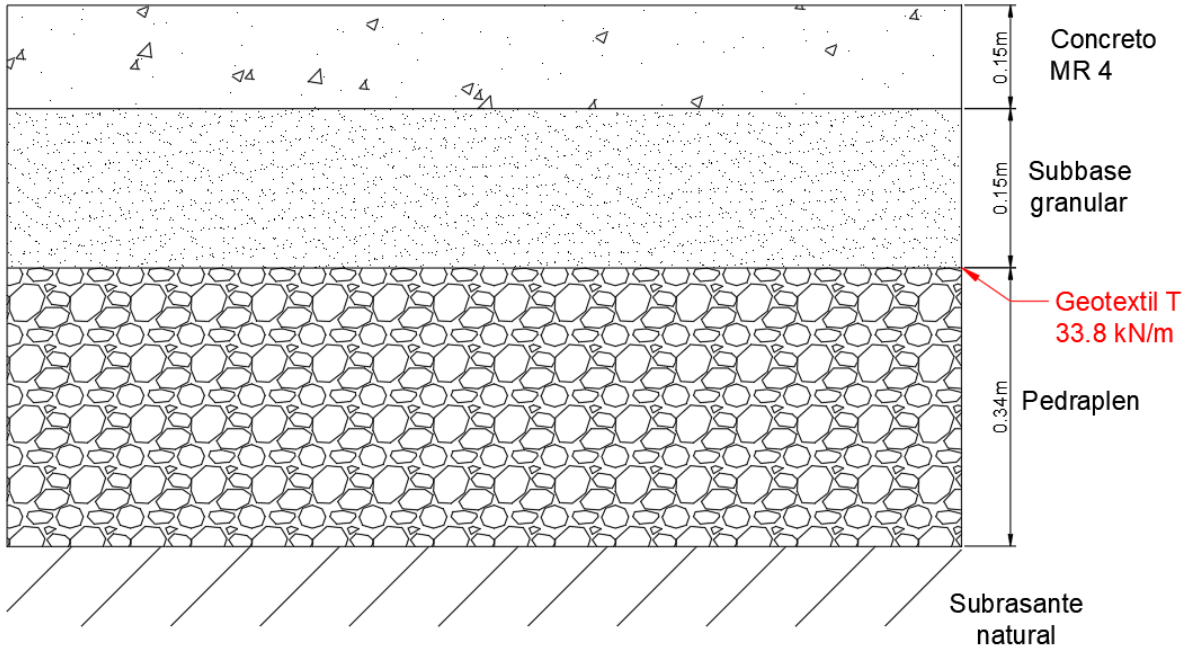
Tabla 8. Características de las barras de anclaje en función del espesor de la losa.

| Espesor de la losa [cm] | Barras de ϕ 9.5 mm (3/8") | | | | Barras de ϕ 12.7 mm (1/2") | | | | Barras de ϕ 15.9 mm (5/8") | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Longitud [m] | Separación entre barras [m] | | | Longitud [m] | Separación entre barras [m] | | | Longitud [m] | Separación entre barras [m] | | |
| | | Carril de 3.05m | Carril de 3.35m | Carril de 3.65m | | Carril de 3.05m | Carril de 3.35m | Carril de 3.65m | | Carril de 3.05m | Carril de 3.35m | Carril de 3.65m |
| **Acero de 280 MPa (40,000 psi)** | | | | | | | | | | | | |
| 15.00 | 0.45 | 0.80 | 0.75 | 0.65 | 0.60 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 0.70 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 17.50 | | 0.70 | 0.60 | 0.55 | | 1.20 | 1.10 | 1.00 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 20.00 | | 0.60 | 0.55 | 0.50 | | 1.05 | 1.00 | 0.90 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 22.50 | | 0.55 | 0.50 | 0.45 | | 0.95 | 0.85 | 0.80 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 25.00 | | 0.45 | 0.45 | 0.40 | | 0.85 | 0.80 | 0.70 | | 1.20 | 1.20 | 1.10 |
| **Acero de 420 MPa (60,000 psi)** | | | | | | | | | | | | |
| 15.00 | 0.65 | 1.20 | 1.10 | 1.00 | 0.85 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 17.50 | | 1.05 | 0.95 | 0.85 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 20.00 | | 0.90 | 0.80 | 0.75 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 22.50 | | 0.80 | 0.75 | 0.65 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 25.00 | | 0.70 | 0.65 | 0.60 | | 1.20 | 1.15 | 1.10 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |

Para las losas de concreto diseñada, las cuales tienen un ancho de carril de 3 metros, las barras de anclaje de esta tendrán las siguientes características:

- **Resistencia a la tracción del acero:** 420 MPa.
- **Diámetro de la barra:** ½ in o 12.7 mm.
- **Longitud de la barra:** 0.85 m.
- **Separación entre las barras:** 1.20 m.

### 3.2.12. Esquema del diseño de la estructura de pavimento rígido




La subrasante debe ser compactada al 95% del Proctor modificado. Sobre esta va la capa de pedraplén compacto y a su vez se requiere sobre este último colocar un GEOTEXTIL T, resistencia última a la rotura de 33.8 KN/M

# 4. VERIFICACIÓN POR MECÁNICA DE PAVIMENTOS

## 4.1. VERIFICACIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO – ALTERNATIVA No. 1

Para esta sección, se presentan los cálculos de la verificación por mecánica de pavimentos de las losas de concreto, para un espesor de 15 cm, el cual fue el resultado del diseño por el método de la AASHTO.

$$L = 3.7m$$

$$B = 3.0m$$

### 4.1.1. Calculo con formulas

**1. ESFUERZOS DEBIDO A LA FRICCIÓN**

$$\sigma_c = \frac{\gamma_c L f_a}{2}$$

$$\sigma_c = \frac{0.0236\frac{MN}{m^3} * 3.7m * 1.5}{2} * \frac{1000\ kN}{1\ MN}$$

$$\sigma_c = 65.49\ kPa$$

**2. ESFUERZOS POR CAMBIOS NO UNIFORMES DE TEMPERATURA**

**a. Radio de rigidez relativa**

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

$$l = \sqrt[4]{\frac{22640MPa * (0.15m)^3}{12 * (1-0.15^2) * 17.2\frac{MPa}{m}}}$$

$$l = 0.784\ m$$

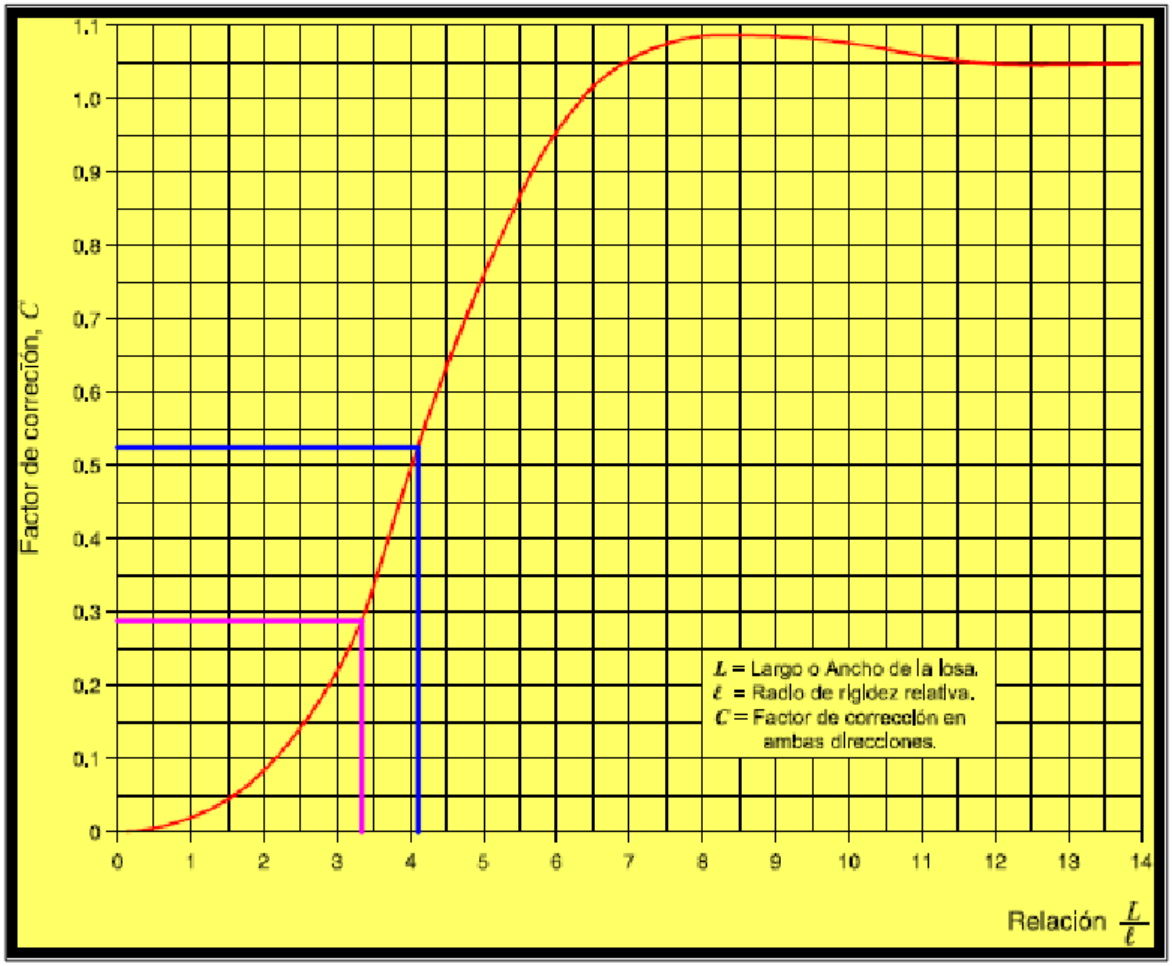
**b. Coeficientes de alabeo**

$$\frac{L_x}{l} = \frac{3.7\ m}{0.784\ m} = 4.72$$

$$\frac{L_y}{l} = \frac{3\ m}{0.784\ m} = 3.82$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

Imagen 3. Factor de corrección, C. diseño de pavimento rígido.




$$C_x = 0.525$$

$$C_y = 0.289$$

**c. Esfuerzos en el borde de la losa de concreto, $\sigma_b$**

**i. En dirección X**

$$\sigma_{xb} = \frac{E\alpha\Delta th}{2} C_x$$

$$\sigma_{xb} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6} \frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 15cm}{2} * 0.525 * \frac{1000\ kPa}{1\ MPa}$$

$$\sigma_{xb} = 437.26\ kPa$$

**ii. En dirección Y**

$$\sigma_{yb} = \frac{E\alpha\Delta t}{2} C_y$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

$$\sigma_{yb} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 15cm}{2} * 0.289 * \frac{1000\ kPa}{1\ MPa}$$

$$\sigma_{yb} = 240.70\ kPa$$

**d. Esfuerzos en el interior de la losa de concreto, $\sigma_i$**

**i. En dirección X**

$$\sigma_{xi} = \frac{E\alpha\Delta t}{2}\left(\frac{C_x + \mu C_y}{1-\mu^2}\right)$$

$$\sigma_{xi} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 15cm}{2} * \left(\frac{0.525 + 0.15 * 0.289}{1 + 0.15^2}\right)$$

$$\sigma_{xi} = 484.26\ kPa$$

**ii. En dirección Y**

$$\sigma_{yi} = \frac{E\alpha\Delta t}{2}\left(\frac{C_y + \mu C_x}{1-\mu^2}\right)$$

$$\sigma_{yi} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 15cm}{2} * \left(\frac{0.289 + 0.15 * 0.525}{1 + 0.15^2}\right)$$

$$\sigma_{yi} = 313.34\ kPa$$

**e. Esfuerzos en la esquina de la losa, $\sigma_e$**

$$\sigma_e = \frac{E\alpha\Delta t}{3(1-\mu)}\left[\sqrt{\frac{a}{l}}\right]$$

$$\sigma_e = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 15cm}{3(1-0.15)} * \left[\sqrt{\frac{0.1527\ m}{0.784\ m}}\right]$$

$$\sigma_e = 288.20\ kPa$$

**3. ESFUERZOS DEBIDOS A LAS CARGAS DEL TRANSITO**

$$a = 0.1527m$$

$$1.724h = 1.724 * 0.15m = 0.2586\ m$$

Entonces,

$$a < 1.724h$$

$$0.1527m < 0.2586m$$

Por lo cual se utiliza la siguiente formula

$$b = (1.6a^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} - 0.675h$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

$$b = (1.6 * (0.1527m)^2 + (0.15m)^2)^{\frac{1}{2}} - 0.675 * (0.15m)$$

$$b = 0.143\ m$$

**a. Esfuerzo de tensión en el borde de la losa, $\sigma_b$**

$$\sigma_b = 0.572 \frac{P}{h^2}\left[4 \log\left(\frac{l}{b}\right) + 0.359\right]$$

$$\sigma_b = 0.572 \frac{40050\ N}{(0.15m)^2}\left[4 \log\left(\frac{0.784m}{0.143m}\right) + 0.359\right]$$

$$\sigma_b = 3372.42\ kPa$$

**b. Esfuerzos de tensión en el interior de la losa, $\sigma_i$**

$$\sigma_i = 0.316 \frac{P}{h^2}\left[4 \log\left(\frac{l}{b}\right) + 1.069\right]$$

$$\sigma_i = 0.316 \frac{40050\ N}{(0.15m)^2}\left[4 \log\left(\frac{0.784m}{0.143m}\right) + 1.069\right]$$

$$\sigma_i = 2262.44\ kPa$$

**c. Esfuerzos de tensión en la esquina de la losa, $\sigma_e$**

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

$$\sigma_e = \frac{3 * 40050\ N}{(0.15m)^2}\left(1 - \left(\frac{0.1527m * \sqrt{2}}{0.784m}\right)^{0.6}\right)$$

$$\sigma_e = 2877.34\ kPa$$

**4. DEFLEXIONES DEBIDAS A LAS CARGAS DE TRANSITO**

**a. Deflexiones en el borde de la losa, $\Delta_b$**

$$\Delta_{b\ (circulo)} = \frac{0.431P}{kl^2}\left[1 - 0.82 \frac{a}{l}\right]$$

$$\Delta_{b\ (circulo)} = \frac{0.431 * 40050\ N}{17.2 \frac{Mpa}{m} * (0.784m)^2}\left[1 - 0.82 \frac{0.1527m}{0.784m}\right]$$

$$\Delta_{b\ (circulo)} = 1.37\ mm$$

**b. Deflexiones en el interior de la losa, $\Delta_i$**

$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2}\left[1 + \frac{1}{2\pi}\left(\ln\left(\frac{a}{2l}\right) + 0.673\right)\left(\frac{a}{l}\right)^2\right]$$

$$\Delta_i = \frac{40050\ N}{8 * 17.2 \frac{MPa}{m} * (0.784m)^2}\left[1 + \frac{1}{2\pi}\left(\ln\left(\frac{0.1527m}{2 * 0.784m}\right) + 0.673\right)\left(\frac{0.1527m}{0.784m}\right)^2\right]$$

$$\Delta_i = 0.469\ mm$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

**c. Deflexiones en la esquina de la losa, $\Delta_e$**

$$\Delta_e = \frac{P}{kl^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)\right]$$

$$\Delta_e = \frac{40050\ N}{17.2\frac{MPa}{m} * (0.784m)^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{0.1527m * \sqrt{2}}{0.784m}\right)\right]$$

$$\Delta_e = 3.28\ mm$$

### 4.1.2. Calculo mediante software CEDEL

Para realizar otra comprobación de los parámetros de esfuerzo y deflexión, se utilizará el software CEDEL.

Imagen 4. Esfuerzos de alabeo pavimento rígido. Software CEDEL.

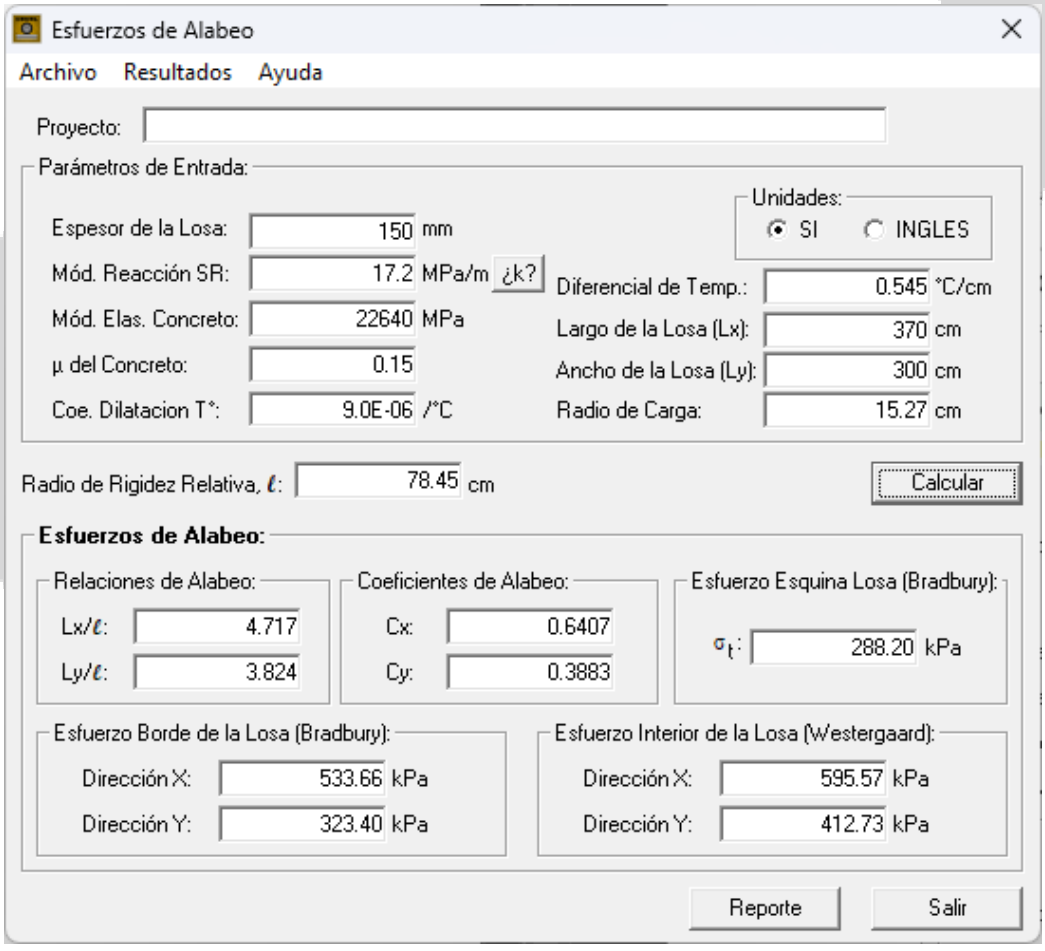



Imagen 5. Esfuerzo debido a la fricción, pavimento rígido. Software CEDEL.

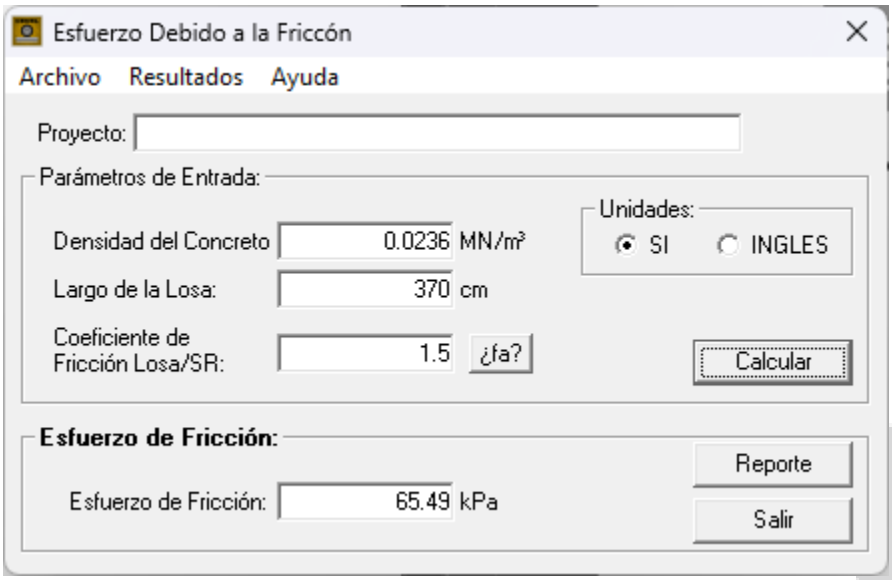
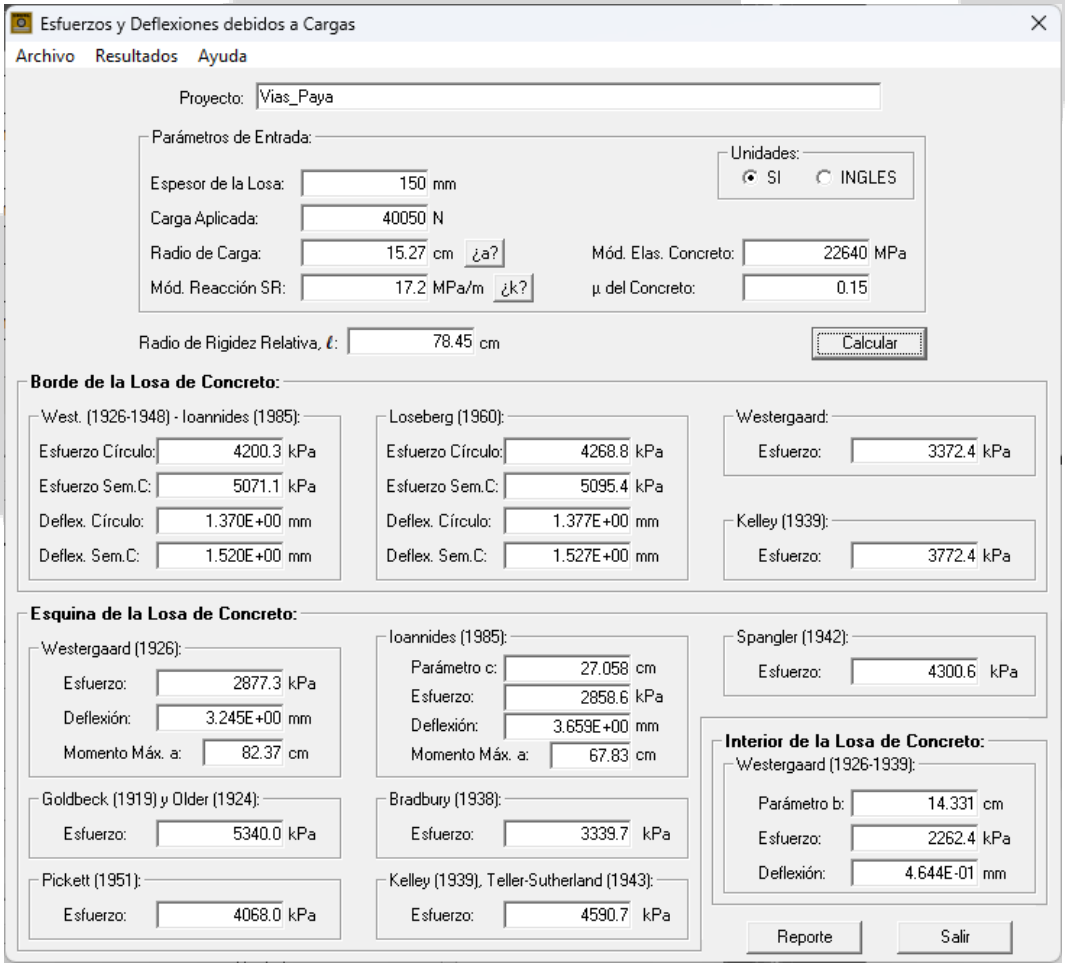



Imagen 6. Esfuerzos y deflexiones debido a cargas, pavimento rígido. Software CEDEL.




Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

### 4.1.3. Comprobación de cumplimiento con valores máximos

A continuación, se presenta la comprobación de que los esfuerzos por fricción, alabeo y temperatura no son mayores al admisible para la losa de concreto, dicho valor corresponde al módulo de rotura del concreto.

Tabla 9. Comprobación de cumplimiento de esfuerzos en losa de pavimento rígido.

| METODO DE CALCULO | PUNTO | ESFUERZOS (kPa) | | | | VALOR ADMISIBLE MR (kPa) | CUMPLE | PORCENTAJE DE CONSUMO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | FRICCIÓN | ALABEO | CARGA | TOTAL | | | |
| CALCULO CON FORMULAS | Borde | 65.49 | 437.26 | 3372.42 | 3875.16 | 4000 | CUMPLE | 96.88% |
| | Interior | 65.49 | 484.26 | 2262.44 | 2812.19 | | CUMPLE | 70.30% |
| | Esquina | 65.49 | 288.20 | 2877.34 | 3231.03 | | CUMPLE | 80.78% |
| CEDEL | Borde | 65.49 | 533.66 | 3372.40 | 3971.55 | 4000 | CUMPLE | 99.29% |
| | Interior | 65.49 | 595.57 | 2262.40 | 2923.46 | | CUMPLE | 73.09% |
| | Esquina | 65.49 | 288.20 | 2877.30 | 3230.99 | | CUMPLE | 80.77% |

Según la tabla anterior, se comprueba que, por los diferentes esfuerzos, la estructura de pavimento rígido cumple satisfactoriamente con el parámetro admisible.

Tabla 10. Comprobación de cumplimiento de parámetro de deformación en losa de pavimento rígido.

| METODO DE CALCULO | PUNTO | DEFLEXIÓN (mm) | VALOR ADMISIBLE (mm) | CUMPLE | PORCENTAJE DE CONSUMO |
|---|---|---|---|---|---|
| CALCULO CON FORMULAS | Borde | 1.370 | 2.54 | CUMPLE | 53.96% |
| | Interior | 0.469 | | CUMPLE | 18.45% |
| | Esquina | 3.280 | | NO CUMPLE | 129.12% |
| CEDEL | Borde | 1.37 | 2.54 | CUMPLE | 53.94% |
| | Interior | 0.464 | | CUMPLE | 18.27% |
| | Esquina | 3.245 | | NO CUMPLE | 127.76% |

En cuanto a los parámetros de deformación, la estructura de pavimento rígido NO cumple satisfactoriamente con el valor admisible de la deflexión en la esquina de la losa, por lo cual, se debe realizar la verificación del espesor de la losa, iterando hasta encontrar un valor en el cual la deflexión en cualquiera de los tres puntos de la losa sea inferior a 0.1 pulgadas o 2.54 mm.

### 4.2. VERIFICACIÓN PARA LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO RÍGIDO – ALTERNATIVA No. 2

Para esta segunda alternativa, se presentan los cálculos de la verificación por mecánica de pavimentos de las losas de concreto, para un espesor de 19 cm, el cual fue el resultado del diseño por el método de la AASHTO.

$$L = 3.7m$$

$$B = 3.0m$$

#### 4.2.1. Calculo con formulas

**5. ESFUERZOS DEBIDO A LA FRICCIÓN**

$$\sigma_c = \frac{\gamma_c L f_a}{2}$$

$$\sigma_c = \frac{0.0236\frac{MN}{m^3} * 3.7m * 1.5}{2} * \frac{1000\ kN}{1\ MN}$$

$$\sigma_c = 65.49\ kPa$$

**6. ESFUERZOS POR CAMBIOS NO UNIFORMES DE TEMPERATURA**

**a. Radio de rigidez relativa**

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

$$l = \sqrt[4]{\frac{22640MPa * (0.19m)^3}{12 * (1-0.15^2) * 17.2\frac{MPa}{m}}}$$

$$l = 0.937\ m$$

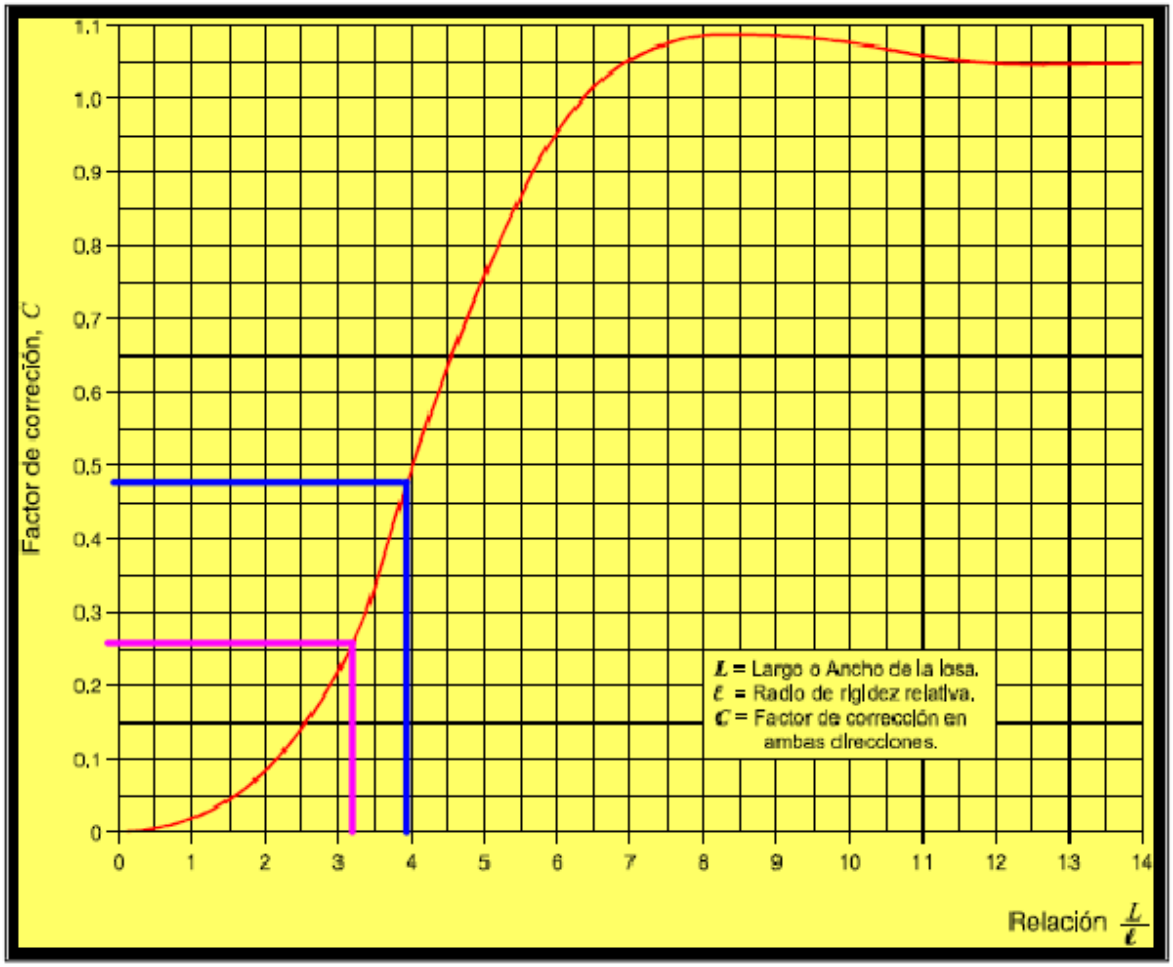
**b. Coeficientes de alabeo**

$$\frac{L_x}{l} = \frac{3.7\ m}{0.937\ m} = 3.95$$

$$\frac{L_y}{l} = \frac{3\ m}{0.937\ m} = 3.20$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

Imagen 7. Factor de corrección, C. diseño de pavimento rígido alternativa 2




$$C_x = 0.479$$

$$C_y = 0.259$$

**c. Esfuerzos en el borde de la losa de concreto, $\sigma_b$**

**i. En dirección X**

$$\sigma_{xb} = \frac{E\alpha\Delta th}{2} C_x$$

$$\sigma_{xb} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6} \frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 19cm}{2} * 0.479 * \frac{1000\ kPa}{1\ MPa}$$

$$\sigma_{xb} = 505.33\ kPa$$

**ii. En dirección Y**

$$\sigma_{yb} = \frac{E\alpha\Delta t}{2} C_y$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

$$\sigma_{yb} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 19cm}{2} * 0.259 * \frac{1000\ kPa}{1\ MPa}$$

$$\sigma_{yb} = 273.24\ kPa$$

**d. Esfuerzos en el interior de la losa de concreto, $\sigma_i$**

**i. En dirección X**

$$\sigma_{xi} = \frac{E\alpha\Delta t}{2}\left(\frac{C_x + \mu C_y}{1-\mu^2}\right)$$

$$\sigma_{xi} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 19cm}{2} * \left(\frac{0.479 + 0.15 * 0.259}{1 + 0.15^2}\right)$$

$$\sigma_{xi} = 558.89\ kPa$$

**ii. En dirección Y**

$$\sigma_{yi} = \frac{E\alpha\Delta t}{2}\left(\frac{C_y + \mu C_x}{1-\mu^2}\right)$$

$$\sigma_{yi} = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 19cm}{2} * \left(\frac{0.259 + 0.15 * 0.479}{1 + 0.15^2}\right)$$

$$\sigma_{yi} = 357.07\ kPa$$

**e. Esfuerzos en la esquina de la losa, $\sigma_e$**

$$\sigma_e = \frac{E\alpha\Delta t}{3(1-\mu)}\left[\sqrt{\frac{a}{l}}\right]$$

$$\sigma_e = \frac{22640\ MPa * 9\ x\ 10^{-6}\frac{1}{°C} * 0.545\ \frac{°C}{cm} * 19cm}{3(1-0.15)} * \left[\sqrt{\frac{0.1527\ m}{0.937\ m}}\right]$$

$$\sigma_e = 334.09\ kPa$$

**7. ESFUERZOS DEBIDOS A LAS CARGAS DEL TRANSITO**

$$a = 0.1527m$$

$$1.724h = 1.724 * 0.19m = 0.3448\ m$$

Entonces,

$$a < 1.724h$$

$$0.1527m < 0.3448m$$

Por lo cual se utiliza la siguiente formula

$$b = (1.6a^2 + h^2)^{\frac{1}{2}} - 0.675h$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

$$b = (1.6 * (0.1527m)^2 + (0.19m)^2)^{\frac{1}{2}} - 0.675 * (0.19m)$$

$$b = 0.143\ m$$

**d. Esfuerzo de tensión en el borde de la losa, $\sigma_b$**

$$\sigma_b = 0.572 \frac{P}{h^2}\left[4 \log\left(\frac{l}{b}\right) + 0.359\right]$$

$$\sigma_b = 0.572 \frac{40050\ N}{(0.19m)^2}\left[4 \log\left(\frac{0.937m}{0.143m}\right) + 0.359\right]$$

$$\sigma_b = 2302.13\ kPa$$

**e. Esfuerzos de tensión en el interior de la losa, $\sigma_i$**

$$\sigma_i = 0.316 \frac{P}{h^2}\left[4 \log\left(\frac{l}{b}\right) + 1.069\right]$$

$$\sigma_i = 0.316 \frac{40050\ N}{(0.19m)^2}\left[4 \log\left(\frac{0.937m}{0.143m}\right) + 1.069\right]$$

$$\sigma_i = 1520.71\ kPa$$

**f. Esfuerzos de tensión en la esquina de la losa, $\sigma_e$**

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

$$\sigma_e = \frac{3 * 40050\ N}{(0.19m)^2}\left(1 - \left(\frac{0.1527m * \sqrt{2}}{0.937m}\right)^{0.6}\right)$$

$$\sigma_e = 1948.24\ kPa$$

**8. DEFLEXIONES DEBIDAS A LAS CARGAS DE TRANSITO**

**a. Deflexiones en el borde de la losa, $\Delta_b$**

$$\Delta_{b\ (circulo)} = \frac{0.431P}{kl^2}\left[1 - 0.82\frac{a}{l}\right]$$

$$\Delta_{b\ (circulo)} = \frac{0.431 * 40050\ N}{17.2\frac{Mpa}{m} * (0.937m)^2}\left[1 - 0.82\frac{0.1527m}{0.937m}\right]$$

$$\Delta_{b\ (circulo)} = 0.991\ mm$$

**b. Deflexiones en el interior de la losa, $\Delta_i$**

$$\Delta_i = \frac{P}{8kl^2}\left[1 + \frac{1}{2\pi}\left(\ln\left(\frac{a}{2l}\right) + 0.673\right)\left(\frac{a}{l}\right)^2\right]$$

$$\Delta_i = \frac{40050\ N}{8 * 17.2\frac{MPa}{m} * (0.937m)^2}\left[1 + \frac{1}{2\pi}\left(\ln\left(\frac{0.1527m}{2 * 0.937m}\right) + 0.673\right)\left(\frac{0.1527m}{0.937m}\right)^2\right]$$

$$\Delta_i = 0.33\ mm$$

Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

**c. Deflexiones en la esquina de la losa, $\Delta_e$**

$$\Delta_e = \frac{P}{kl^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{a\sqrt{2}}{l}\right)\right]$$

$$\Delta_e = \frac{40050\ N}{17.2\frac{MPa}{m} * (0.937m)^2}\left[1.1 - 0.88\left(\frac{0.1527m * \sqrt{2}}{0.937m}\right)\right]$$

$$\Delta_e = 2.405\ mm$$

### 4.2.2. Calculo mediante software CEDEL alternativa No. 2

Para realizar otra comprobación de los parámetros de esfuerzo y deflexión, se utilizará el software CEDEL.

Imagen 8. Esfuerzos de alabeo pavimento rígido. Software CEDEL.

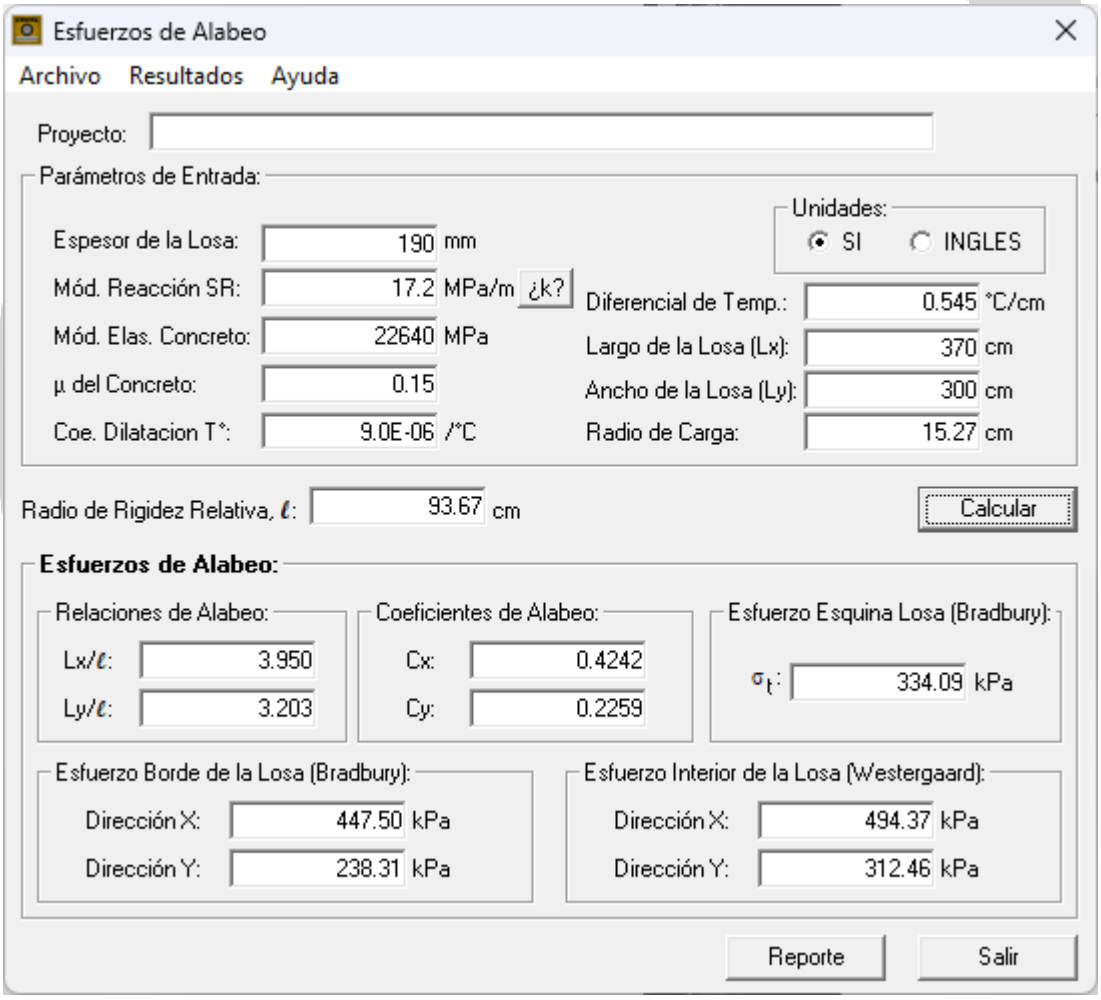


Imagen 9. Esfuerzo debido a la fricción, pavimento rígido. Software CEDEL.

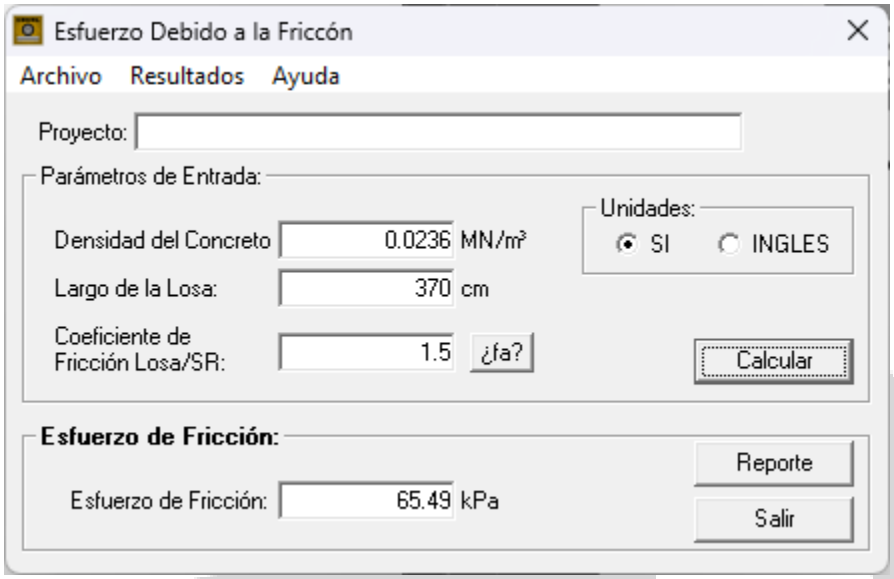
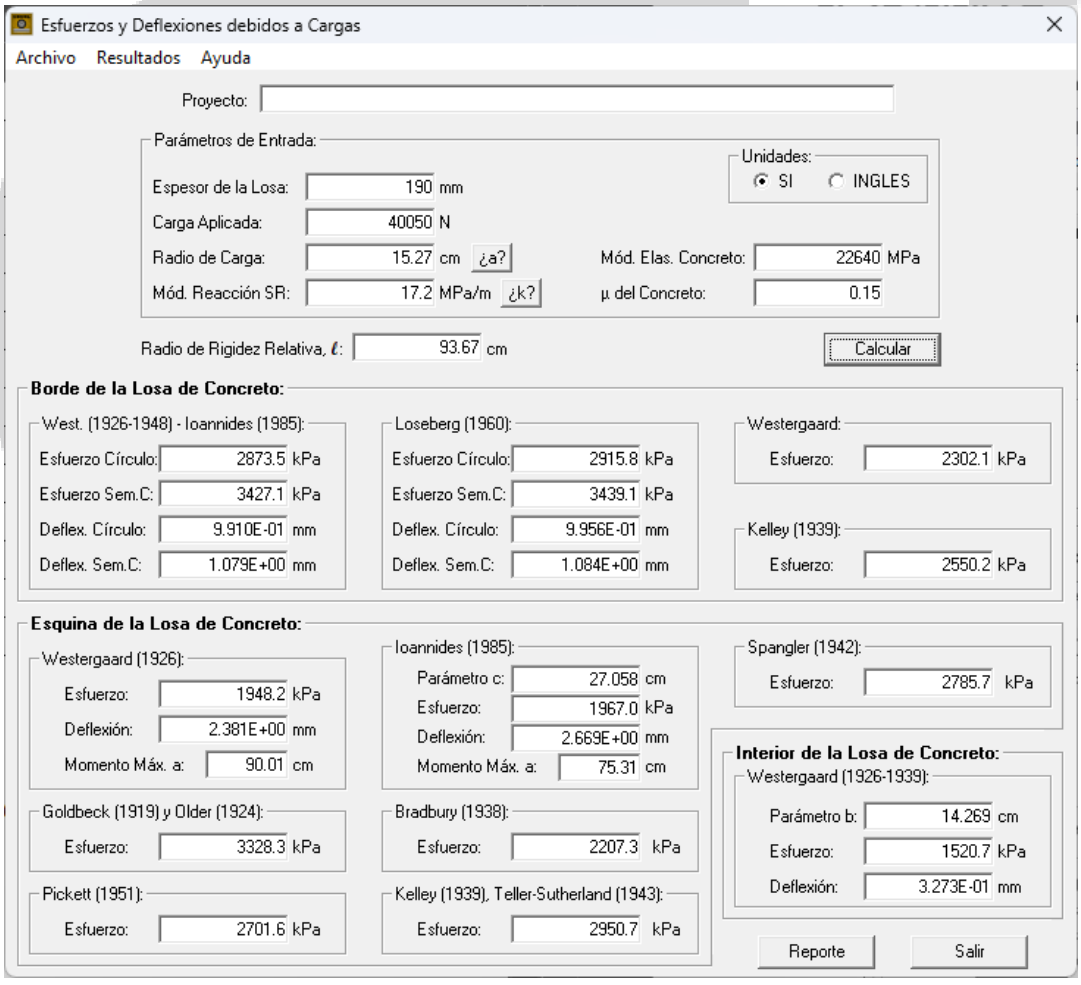



Imagen 10. Esfuerzos y deflexiones debido a cargas, pavimento rígido. Software CEDEL.




Cristian Camilo Contreras Manrique
Calle 1 No. 11 – 55, Socha – Boyacá ● Cel. 3138321817
Email: camilo.c45@outlook.com

### 4.2.3. Comprobación de cumplimiento con valores máximos alternativa No. 2

A continuación, se presenta la comprobación de que los esfuerzos por fricción, alabeo y temperatura no son mayores al admisible para la losa de concreto, dicho valor corresponde al módulo de rotura del concreto.

Tabla 11. Comprobación de cumplimiento de esfuerzos en losa de pavimento rígido alternativa 2

| METODO DE CALCULO | PUNTO | ESFUERZOS (kPa) | | | | VALOR ADMISIBLE MR (kPa) | CUMPLE | PORCENTAJE DE CONSUMO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | FRICCIÓN | ALABEO | CARGA | TOTAL | | | |
| CALCULO CON FORMULAS | Borde | 65.49 | 505.33 | 2302.13 | 2872.95 | 4000 | CUMPLE | 71.82% |
| | Interior | 65.49 | 558.89 | 1520.71 | 2145.09 | | CUMPLE | 53.63% |
| | Esquina | 65.49 | 334.09 | 1948.24 | 2347.82 | | CUMPLE | 58.70% |
| CEDEL | Borde | 65.49 | 447.50 | 2302.10 | 2815.09 | 4000 | CUMPLE | 70.38% |
| | Interior | 65.49 | 494.37 | 1520.70 | 2080.56 | | CUMPLE | 52.01% |
| | Esquina | 65.49 | 334.09 | 1948.20 | 2347.78 | | CUMPLE | 58.69% |

Según la tabla anterior, se comprueba que, por los diferentes esfuerzos, la estructura de pavimento rígido cumple satisfactoriamente con el parámetro admisible.

Tabla 12. Comprobación de cumplimiento de parámetro de deformación en losa de pavimento rígido alternativa 2

| METODO DE CALCULO | PUNTO | DEFLEXIÓN (mm) | VALOR ADMISIBLE (mm) | CUMPLE | PORCENTAJE DE CONSUMO |
|---|---|---|---|---|---|
| CALCULO CON FORMULAS | Borde | 0.991 | 2.54 | CUMPLE | 39.02% |
| | Interior | 0.330 | | CUMPLE | 13.00% |
| | Esquina | 2.405 | | CUMPLE | 94.70% |
| CEDEL | Borde | 0.991 | 2.54 | CUMPLE | 39.02% |
| | Interior | 0.327 | | CUMPLE | 12.87% |
| | Esquina | 2.381 | | CUMPLE | 93.74% |

Para la alternativa 2, en cuanto a los parámetros de deformación, la estructura de pavimento rígido cumple satisfactoriamente con el valor admisible. Finalmente, se comprueba de manera satisfactoria que la estructura de pavimento rígido es:

- **Losa de concreto:** 19 cm
- **Subbase granular:** 15 cm
- **Pedraplén compacto:** 30 cm

### 4.2.4. Cálculo de los pasadores de la losa

Teniendo en cuenta la verificacion por mecánica de pavimentos, la alternativa seleccionada es de una placa de concreto con espesor de 19 cm, por lo cual, los pasadores tendrán las siguientes características:

- **Tipo de barra:** Lisa
- **Diámetro de la barra:** 1 pulg.o 25 mm
- **Longitud del pasador:** 350 mm

- **Separación entre centros de los pasadores:** 300 mm.

Tabla 13. Características de los pasadores de la losa según el espesor de la capa de concreto.

| Espesor de la losa [mm] | Diámetro del pasador | | Longitud total [mm] | Separación entre centros [mm] |
|---|---|---|---|---|
| | [mm] | [in] | | |
| 0 - 100 | 13 | ½ | 250 | 300 |
| 110 - 130 | 16 | 5/8 | 300 | 300 |
| 140 - 150 | 19 | ¾ | 350 | 300 |
| 160 - 180 | 22 | 7/8 | 350 | 300 |
| 190 - 200 | 25 | 1 | 350 | 300 |
| 210 - 230 | 29 | 1 1/8 | 400 | 300 |
| 240 - 250 | 32 | 1 ¼ | 450 | 300 |
| 260 - 280 | 35 | 1 3/8 | 450 | 300 |
| 290 - 300 | 38 | 1 ½ | 500 | 300 |

### 4.2.5. Cálculo de las barras de anclaje de la losa

Para calcular las barras de anclaje de la losa, se tiene en cuenta la siguiente tabla, la cual brinda unas características de dichas barras en función del espesor de la losa.

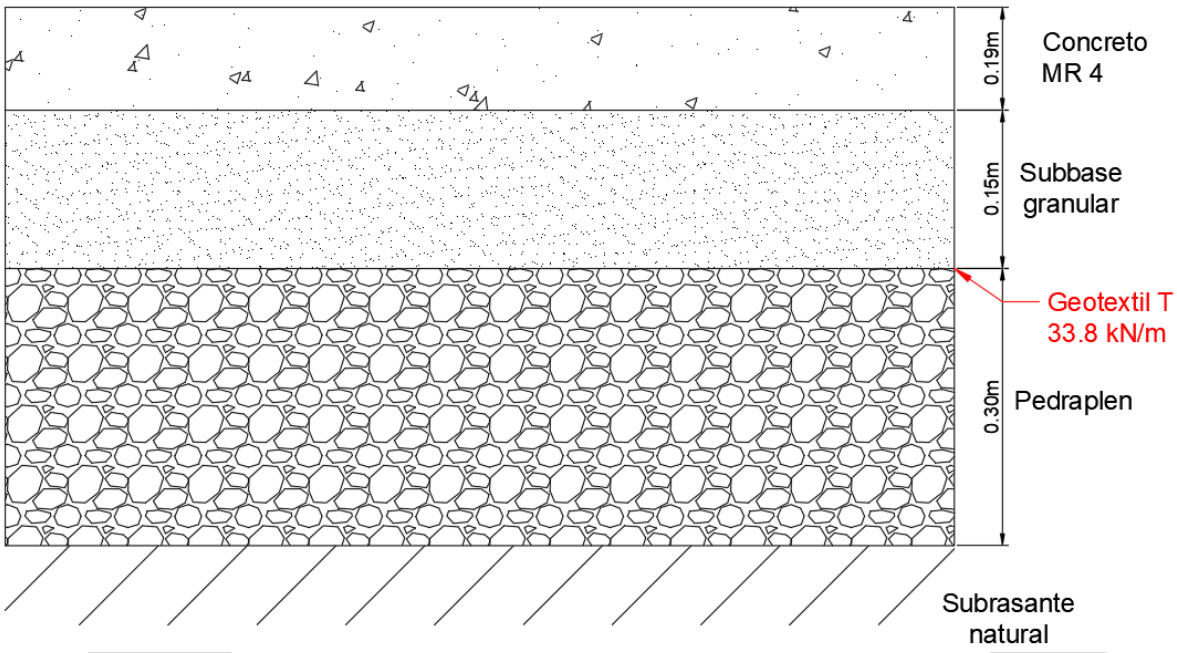
Tabla 14. Características de las barras de anclaje en función del espesor de la losa.

| Espesor de la losa [cm] | Barras de ϕ 9.5 mm (3/8") | | | | Barras de ϕ 12.7 mm (1/2") | | | | Barras de ϕ 15.9 mm (5/8") | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Longitud [m] | Separación entre barras [m] | | | Longitud [m] | Separación entre barras [m] | | | Longitud [m] | Separación entre barras [m] | | |
| | | Carril de 3.05m | Carril de 3.35m | Carril de 3.65m | | Carril de 3.05m | Carril de 3.35m | Carril de 3.65m | | Carril de 3.05m | Carril de 3.35m | Carril de 3.65m |
| **Acero de 280 MPa (40,000 psi)** | | | | | | | | | | | | |
| 15.00 | 0.45 | 0.80 | 0.75 | 0.65 | 0.60 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 0.70 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 17.50 | | 0.70 | 0.60 | 0.55 | | 1.20 | 1.10 | 1.00 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 20.00 | | 0.60 | 0.55 | 0.50 | | 1.05 | 1.00 | 0.90 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 22.50 | | 0.55 | 0.50 | 0.45 | | 0.95 | 0.85 | 0.80 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 25.00 | | 0.45 | 0.45 | 0.40 | | 0.85 | 0.80 | 0.70 | | 1.20 | 1.20 | 1.10 |
| **Acero de 420 MPa (60,000 psi)** | | | | | | | | | | | | |
| 15.00 | 0.65 | 1.20 | 1.10 | 1.00 | 0.85 | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.00 | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 17.50 | | 1.05 | 0.95 | 0.85 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 20.00 | | 0.90 | 0.80 | 0.75 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 22.50 | | 0.80 | 0.75 | 0.65 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |
| 25.00 | | 0.70 | 0.65 | 0.60 | | 1.20 | 1.15 | 1.10 | | 1.20 | 1.20 | 1.20 |

Para las losas de concreto diseñada, las cuales tienen un ancho de carril de 3 metros, las barras de anclaje de esta tendrán las siguientes características:

- **Resistencia a la tracción del acero:** 420 MPa.
- **Diámetro de la barra:** ½ in o 12.7 mm.
- **Longitud de la barra:** 0.85 m.
- **Separación entre las barras:** 1.20 m.

Imagen 11. Estructura de pavimento seleccionada.




**CRISTIAN CAMILO CONTRERAS MANRIQUE**
Ingeniero civil
Especialista en infraestructura vial
M.P.: 041037-0632269 BYC

**MEMORIAL DE RESPONSABILIDAD**

**DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Señores
**ALCALDÍA MUNICIPAL DE PAYA.**
Paya – Boyacá.

Respetados señores,

Yo, CRISTIAN CAMILO CONTRERAS MANRIQUE, identificado con cédula de ciudadanía No. 1.056.555.182 de Socha y Matricula Profesional No 041037-0632269 BYC, debidamente inscrito en el Consejo Profesional de Ingeniería - COPNIA, presento el respectivo DISEÑO DE PAVIMENTO para el proyecto denominado "CONSULTORIA PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑOS PARA EL MEJORAMIENTO VIAL DE LAS CARRERAS 4 Y 5 ENTRE CALLES 2 Y 3 Y CALLE 2 ENTRE CARRERA 4 Y ENTRADA AL CASCO URBANO ASÍ COMO ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE LAS MISMAS DEL MUNICIPIO DE PAYA, BOYACÁ.", certifico que CUMPLE con las NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS (NTC) aplicables y demás normatividad vigente.

En consecuencia, asumo toda responsabilidad y los perjuicios que puedan derivarse a causa de esto puedan deducirse, exonerando así al Municipio de Paya, Departamento de Boyacá de cualquier responsabilidad.

Acepto y reconozco que la revisión efectuada por la entidad es una verificación del cumplimiento de la Norma.

En constancia firmo,

**CRISTIAN CAMILO CONTRERAS MANRIQUE**
Ingeniero civil
Especialista en infraestructura vial
M.P.: 041037-0632269 BYC