

# PAVIMENTO

## Cálculo del Paquete Estructural

## CONTENIDO

PAVIMENTO .....	4
1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. MÉTODO DE DISEÑO .....	4
3. VARIABLES DE DISEÑO .....	4
4. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO .....	5
5. ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO .....	5
5.1. RN N°9-CALZADA NUEVA ACCESO A TRANCAS .....	5
5.1.1. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO, CATEGORÍA Y TIPO .....	5
5.1.2. CARGAS DE DISEÑO .....	6
5.1.3. Determinación de los factores equivalentes de carga (LEF) y factores camión (FT) según AASHTO 1993 .....	7
5.1.4. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL INICIO DEL PERÍODO 8	
5.1.5. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL FINAL DEL PERÍODO DE DISEÑO (PT) .....	8
5.1.6. CONFIABILIDAD EN EL DISEÑO (R) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS (SO) .....	8
5.1.7. VALORACIÓN DE LA SUBRASANTE .....	9
5.1.8. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO .....	11
5.2. RN N°9 - Ramas .....	16
5.2.1. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO, CATEGORÍA Y TIPO .....	16
5.2.2. CARGAS DE DISEÑO .....	16
5.2.3. Determinación de los factores equivalentes de carga (LEF) y factores camión (FT) según AASHTO 1993 .....	18
5.2.4. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL INICIO DEL PERÍODO 18	
5.2.5. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL FINAL DEL PERÍODO DE DISEÑO (PT) .....	18
5.2.6. CONFIABILIDAD EN EL DISEÑO (R) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS (SO) .....	19
5.2.7. VALORACIÓN DE LA SUBRASANTE .....	19
5.2.8. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO .....	21
5.3. RN N°9 - Colectoras .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.3.1. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO, CATEGORÍA Y TIPO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.3.2. CARGAS DE DISEÑO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
5.3.3. Determinación de los factores equivalentes de carga (LEF) y factores camión (FT) según AASHTO 1993 .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

- 
- 5.3.4. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL INICIO DEL PERÍODO ¡Error! Marcador no definido.
  - 5.3.5. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL FINAL DEL PERÍODO DE DISEÑO (PT) ..... ¡Error! Marcador no definido.
  - 5.3.6. CONFIABILIDAD EN EL DISEÑO (R) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS (SO) ..... ¡Error! Marcador no definido.
  - 5.3.7. VALORACIÓN DE LA SUBRASANTE ..... ¡Error! Marcador no definido.
  - 5.3.8. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO ¡Error! Marcador no definido.

## PAVIMENTO

### 1. INTRODUCCIÓN

A continuación, se desarrolla el diseño del paquete estructural de la calzada de la Ruta Nacional N° 9 y los distintos elementos que conforman parte del diseño de intersección del acceso a la Ciudad de Trancas.

Como hipótesis de diseño se plantea el inicio de la obra en el año 2021, con una duración de 1 año, con lo cual su puesta en servicio se espera para el año 2022.

### 2. MÉTODO DE DISEÑO

El pavimento flexible se calculó mediante el método desarrollado por la Asociación Americana de Administradores de Carreteras y Transporte (AASHTO), en su versión de 1993, siguiendo los lineamientos de "AASHTO GUIDE OF PAVEMENT STRUCTURES".

### 3. VARIABLES DE DISEÑO

Este método considera un conjunto de variables independientes de diseño que permitirán la determinación de los espesores de las capas a emplear en la estructura del pavimento, las consideraciones son:

#### Ecuación de diseño

La Ecuación de Diseño de la AASHTO-93 para pavimento flexible toma la expresión siguiente:

$$\log_{10} Wt_{18} = Z_R * S_o + 9.36 * \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{0.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

Donde:

**Wt18** : Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 kN acumuladas en el periodo de diseño (n).

**ZR**: Valor del desviador en una curva de distribución normal, función de la Confiabilidad del diseño (R) o grado confianza en que las cargas de diseño no serán superadas por las cargas reales aplicadas sobre el pavimento.

**So**: Desviación estándar del sistema, función de posibles variaciones en las estimaciones de tránsito (cargas y volúmenes) y comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio.

**ΔPSI:** Pérdida de Serviciabilidad (Condición de Servicio) prevista en el diseño, y medida como la diferencia entre la “planitud” (calidad de acabado) del pavimento al concluirse su construcción (Serviceabilidad Inicial ( $p_0$ ) y su planitud al final del periodo de diseño (Servicapacidad Final ( $p_t$ )).

**MR:** Módulo Resiliente de la subrasante y de las capas de bases y sub-bases granulares, en este caso obtenido a través de ecuaciones de correlación con la capacidad portante (CBR) de los materiales (suelos y granulares).

**SN:** Número Estructural, o capacidad de la estructura para soportar las cargas bajo las condiciones (variables independientes) de diseño.

#### 4. PROYECCIÓN DEL TRÁNSITO

Se adopta una tasa de crecimiento promedio del 3%, siendo esta la adecuada para el cálculo de tránsito futuro.

#### 5. ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO

A continuación, se detallan los análisis, cálculos y consideraciones para determinar el paquete estructural de las distintas estructuras:

##### 5.1. RN N°9-CALZADA NUEVA ACCESO A TRANCAS

##### 5.1.1. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO, CATEGORÍA Y TIPO

Para el cálculo del paquete estructural de la nueva calzada se utilizó los Valores de tránsito propuestos por la Gerencia Ejecutiva de Planeamiento y Concesiones en nota NO-2020-44574968-APN-PYC#DNV. En la misma también se aporta la distribución de los distintos tipos de vehículos como se muestra a continuación:

Categoría	Tipo	Proporción (%)
Livianos autos y ctas.		57,1
Ómnibus	2 ejes	5,3
Camión S/A	2 ejes	6,1
Camión C/A	11-12	9,8
Camión Semi	112	11,3
Camión Semi	113	7,4
Camión Semi	123	3,0

Se adopta el factor direccional medido del 50% y como la Ruta consta de dos trochas con un carril por cada una, se adopta un factor de trocha del 100%.

TMDA 2018	Tipo de vehículo	Distribución de Ejes	% por Categoría s/TMDA	Distribución % por cat s/tipo	TMDA por Categoría y tipo	TMDA Inicial 2022
3819	Automóviles, Jeep, Camionetas	1 1	57.1	100	2181	2248
	Omnibus	1 1	5.3	100	202	209
	Camiones sin Acoplados	1 1	6.1	100	233	241
		1 2		0	0	0
	Camiones con Acoplados	1 1 1 1	9.8	0	0	0
		1 1 1 2		100	374	386
		1 2 1 1		0	0	0
		1 2 1 2		0	0	0
	Semi remolques	1 1 1	21.7	0	0	0
		1 1 2		52	431	445
		1 1 3		34	282	291
		1 2 3		14	116	120

### 5.1.2. CARGAS DE DISEÑO

Para la determinación del número de ejes equivalentes de 80PSI S/ AASHTO 1993 se adoptan los siguientes parámetros:

#### DATOS ESTADISTICOS Y DE TRANSITO

Año ultimo TMDA	2018
TMDA	3819
Año Estimado de Comienzo de obra	2021
Período de Ejecución de obras (años)	1
Vida Util	15
Tasas de crecimiento	
Vehículos Livianos	3
Vehículos Pesados	3
Años Evaluados	18

#### FACTORES DE DISEÑO

Fac. para calculo de TF	
Pt	2.5
SN	5.3
Fac de distribución de transito	
DD	0.5
LD	1

Se consideran un 70% de vehículos cargados y el 30% restante de vehículos descargados. En las siguientes tablas se obtienen el número de ejes equivalentes aplicando los coeficientes los factores de camión FT al volumen de vehículos de cada tipo para el período de evaluado:

**Vehículos Cargados**

% de vehículos cargados :

70%

Tipo de Vehículos	TMDA por Categoría	Volumen anual	FG	Tránsito de Diseño	TF	Nº ESALs
<b>Automóviles, Jeep, Camionetas</b>	1574	574510	1.24	10685886	0.006	32058
<b>Omnibus</b>	146	53290	1.24	991194	2.992	1482827
<b>Camiones sin Acoplados</b>	169	61685	1.24	1147341	2.992	1716423
	0	0	1.24	0	2.322	0
<b>Camiones con Acoplados</b>	0	0	1.24	0	8.418	0
	270	98550	1.24	1833030	7.748	7101159
	0	0	1.24	0	7.748	0
	0	0	1.24	0	3.335	0
<b>Semi remolques</b>	0	0	1.24	0	5.705	0
	312	113880	1.24	2118168	5.035	5332488
	204	74460	1.24	1384956	4.951	3428459
	84	30660	1.24	570276	2.821	804375

% de vehículos descargados :

30%

Tipo de Vehículos	TMDA por Categoría	Volumen anual	FG	Tránsito de Diseño	TF	Nº ESALs
<b>Automóviles, Jeep, Camionetas</b>	674	246010	1.24	4575786	0	0
<b>Omnibus</b>	63	22995	1.24	427707	0.02	4278
<b>Camiones sin Acoplados</b>	72	26280	1.24	488808	0.02	4889
	0	0	1.24	0	0.015	0
<b>Camiones con Acoplados</b>	0	0	1.24	0	0.056	0
	116	42340	1.24	787524	0.051	20082
	0	0	1.24	0	0.051	0
	0	0	1.24	0	0.022	0
<b>Semi remolques</b>	0	0	1.24	0	0.038	0
	134	48910	1.24	909726	0.033	15011
	87	31755	1.24	590643	0.033	9746
	36	13140	1.24	244404	0.019	2322

Nº de ESALs de Diseño

19,954,117

### 5.1.3. Determinación de los factores equivalentes de carga (LEF) y factores camión (FT) según AASHTO 1993

Los FT utilizado para el cálculo de los ejes equivalentes resultan de las siguientes tablas:

Factores adoptados  $PT = 2.5$   
 $SN = 5.3$

**Vehículos Cargados**

Tipo de Vehículos	Distribución de Ejes				Pesos (TN)				LEF por Eje				TF Por Vehículo
					Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	
Automóviles, Jeep, Camionetas	1	1			2	2			0.003	0.003	0	0	0.006
Omnibus	1	1			6	10.5			0.279	2.713	0	0	2.992
Camiones sin Acoplados	1	1			6	10.5			0.279	2.713	0	0	2.992
	1	2			6	18			0.279	2.043	0	0	2.322
Camiones con Acoplados	1	1	1	1	6	10.5	10.5	10.5	0.279	2.713	2.713	2.713	8.418
	1	1	1	2	6	10.5	10.5	18	0.279	2.713	2.713	2.043	7.748
	1	2	1	1	6	18	10.5	10.5	0.279	2.043	2.713	2.713	7.748
	1	2	1	2	6	14	6	18	0.279	0.734	0.279	2.043	3.335
Semi remolques	1	1	1		6	10.5	10.5		0.279	2.713	2.713	0	5.705
	1	1	2		6	10.5	18		0.279	2.713	2.043	0	5.035
	1	1	3		6	10.5	25.5		0.279	2.713	1.959	0	4.951
	1	2	3		6	14	25		0.279	0.734	1.808	0	2.821

**Vehículos Descargados**

Tipo de Vehículos	Distribución de Ejes				Pesos (TN)				LEF por Eje				TF Por Vehículo
					Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	
Automóviles, Jeep, Camionetas	1	1			0.6	0.6			0	0	0	0	0
Omnibus	1	1			1.8	3.15			0.002	0.018	0	0	0.02
Camiones sin Acoplados	1	1			1.8	3.15			0.002	0.018	0	0	0.02
	1	2			1.8	5.4			0.002	0.013	0	0	0.015
Camiones con Acoplados	1	1	1	1	1.8	3.15	3.15	3.15	0.002	0.018	0.018	0.018	0.056
	1	1	1	2	1.8	3.15	3.15	5.4	0.002	0.018	0.018	0.013	0.051
	1	2	1	1	1.8	5.4	3.15	3.15	0.002	0.013	0.018	0.018	0.051
	1	2	1	2	1.8	4.2	1.8	5.4	0.002	0.005	0.002	0.013	0.022
Semi remolques	1	1	1		1.8	3.15	3.15		0.002	0.018	0.018	0	0.038
	1	1	2		1.8	3.15	5.4		0.002	0.018	0.013	0	0.033
	1	1	3		1.8	3.15	7.65		0.002	0.018	0.013	0	0.033
	1	2	3		1.8	4.2	7.5		0.002	0.005	0.012	0	0.019

### 5.1.4. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL INICIO DEL PERÍODO

El Método AASHTO-93 recomienda asignar a esta variable independiente un valor de 4,2. En el caso de pavimentos flexibles, este valor será empleado en la solución de la ecuación de diseño.

### 5.1.5. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL FINAL DEL PERÍODO DE DISEÑO (PT)

Se adopta para el final de su vida útil un nivel de serviciabilidad de 2,5.

### 5.1.6. CONFIABILIDAD EN EL DISEÑO (R) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS (SO)

El Método AASHTO 1993 presenta, para el valor (R) la Tabla 24, que se transcribe a continuación:



Clasificación funcional de la vía bajo proyecto	Valor recomendado de Confiabilidad (R)	
	Vías urbanas	Vías rurales
Autopistas Interestatales y otras autopistas	<b>85-99,9</b>	<b>80-99,9</b>
Arterias principales	<b>80-99</b>	<b>75-95</b>
Vías colectoras	<b>80-95</b>	<b>75-95</b>
Vías locales	<b>50-80</b>	<b>50-80</b>

*Valores de Confiabilidad recomendados por la AASHTO*

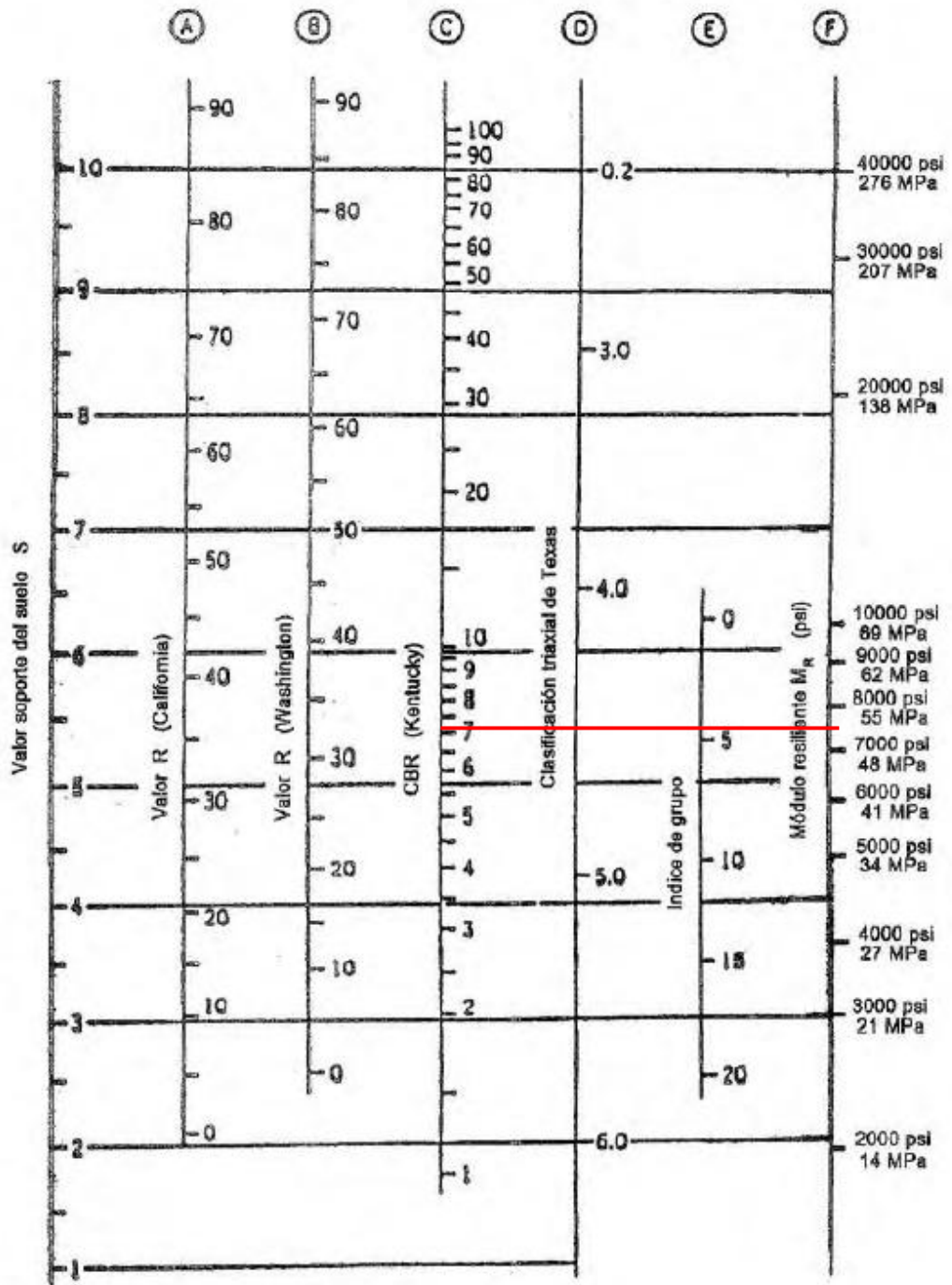
Se empleará el valor **85%**.

El valor de la “desviación estándar- $s_0$ ”, por otra parte, sugerido por el propio Método AASHTO-93 es de **0.44** para el caso de diseño de un nuevo pavimento flexible; este valor será, en consecuencia, empleado en la solución de la ecuación de diseño de la AASHTO para el caso del pavimento de concreto hidráulico.

#### 5.1.7. VALORACIÓN DE LA SUBRASANTE

A partir de las características de los suelos del lugar, considerando las exigencias de compactación estipuladas en la sección B.VII. del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la DNV (1998), se alcanzaría holgadamente el C.B.R. exigido del 7%.

Aplicando la siguiente figura se obtiene la relación que vincula el valor soporte relativo de una capa no ligada con el Módulo Resiliente de la misma, resultando:



$M_r$  (MPa) = 7.500 psi (aproximadamente)

### 5.1.8. ESPEORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Los valores de “Número Estructural (SN)”, y la ecuación de diseño que permite obtener los espesores de capas en función de sus coeficientes relativos de capacidad estructural son:

$$SN_c = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 \times m_2 + a_3 \times h_3 \times m_3$$

**a<sub>i</sub>**: Los coeficientes estructurales correspondientes a las capas granulares: base(80) y subbase (40) se obtuvieron de ábacos dispuestos en el Manual AASHTO 1993, del capítulo "Materiales para Pavimentos", resultando:

- Base (80): 0,052
- Sub base (40): 0,047

Para la carpeta de rodamiento, compuesta por una MAC, se puede considerar, debido a probada experiencia en el medio un coeficiente de aporte de 0,17.

Para las demás capas asfálticas, se exige mediante pliego una Estabilidad Marshall mayor a 10 KN, lo que significa un coeficiente de aporte de 0,177.

**m<sub>i</sub>**: los coeficientes de drenaje involucran a las capas granulares y sirven para expresar la calidad del drenaje, la obtención de los mismos se efectuó de la siguiente manera:

El coeficiente de drenaje usado es **m = 1.00**. Este valor es usado para el **cálculo de todas las calzadas**.

Con la adopción de todos estos parámetros y conociendo el número de ejes equivalentes para el período de estudio se procede a calcular el Numero Estructural Necesario (SNnec). A continuación, se muestra el resumen de todos los factores adoptados y el resultado del cálculo:

*Factores Probabilísticos*

<i>Confiabilidad</i>		<i>Desvío estándar</i>	
R%	<b>85</b>	ZR	<b>1.036</b>
		S <sub>0</sub>	<b>0.44</b>

Obs: .....

*Tránsito*

<i>TMDA año 2018</i>	<i>Factores de distribución por dirección y trocha</i>			<i>Ejes equivalentes acumulados</i>	
TMDA	<b>3819</b>	DD	<b>0.5</b>	LD	<b>1</b>
		W18			<b>2.00E+07</b>

Obs: .....

*Serviciabilidad*

<i>Perdida de PSI</i>					
P <sub>i</sub>	<b>4.2</b>	P <sub>t</sub>	<b>2.5</b>	ΔPSI	<b>1.7</b>

Obs: .....

*Sub-rasante*

<i>Valor Soporte California</i>	<i>Módulo resiliente</i>
CBR (%)	<b>7</b>
	Mr (PSI) <b>7500</b> (de nomograma)

Obs: .....

De acuerdo a estos parámetros se determina para este pavimento un **SN<sub>NEC</sub> 5.3**

Considerando este valor de SN<sub>nec</sub>= 5,3 se propone el siguiente paquete estructural:

Componentes de la Secc Analizada	Espesor en m	Clasificación HRB	Coficiente Estructural	Coficiente de Drenaje	N de Aporte en cm
CAC DR 10 CA30	0.040		0.17	1	0.68
CAC DB 19 CA30	0.050		0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
Base Granular (80)	0.200		0.052	1	1.04
Sub Base Granular (40)	0.200		0.047	1	0.94

**SN<sub>EF</sub> 5.3**

Con estos espesores adoptados se realiza una verificación de protección de capas granulares no tratadas, capa por capa. Esto se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes.

## Verificación de espesor de la capa de sub base granular

El Mr de la subrasante a emplear en la verificación es el Mr de la Base granular.

### Factores Probabilísticos

Confiabilidad		Desvío estándar	
R%	<b>85</b>	ZR	<b>1.036</b>
S <sub>0</sub>		<b>0.44</b>	
Obs: _____			

### Tránsito

TMDA año 2018	Factores de distribución por dirección y trocha			Ejes equivalentes acumulados	
TMDA	<b>3819</b>	DD	<b>0.5</b>	LD	<b>0.8</b>
W18		<b>2.00E+07</b>			
Obs: _____					

### Serviciabilidad

Perdida de PSI		ΔPSI	
Pi	<b>4.2</b>	Pt	<b>2.5</b>
ΔPSI		<b>1.7</b>	
Obs: _____			

### Sub-rasante

Valor Soporte California	Módulo resiliente
CBR (%)	<b>40</b>
Mr (PSI)	<b>16000</b>
Obs: _____	

De acuerdo a estos parámetros se determina para este pavimento un **SN<sub>NEC</sub> 4.1**

### Aporte estructural de pavimento propuesto

Componentes de la Secc Analizada	Espesor en m	Clasificación HRB	Coficiente Estructural	Coficiente de Drenaje	N de Aporte en cm
CAC DR 10 CA30	0.040		0.17	1	0.68
CAC DB 19 CA30	0.050		0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
Base Granular (80)	0.200		0.052	1	1.04

**SN<sub>EF</sub> 4.4**

Como puede observarse la estructura verifica S<sub>Nef</sub> ≥ S<sub>Nnec</sub>.

## Verificación del espesor de la capa de Base Granular

El Mr de la subrasante a emplear en la verificación es el Mr de la Subbase granular.

### Factores Probabilísticos

Confiabilidad		Desvío estándar	
R%	<b>85</b>	ZR	<b>1.036</b>
S <sub>0</sub>		<b>0.44</b>	

Obs: \_\_\_\_\_

### Tránsito

TMDA año 2018	Factores de distribución por dirección y trocha			Ejes equivalentes acumulados	
TMDA	<b>3819</b>	DD	<b>0.5</b>	LD	<b>0.9</b>
W18		<b>2.00E+07</b>			

Obs: \_\_\_\_\_

### Serviciabilidad

Pérdida de PSI		Pt		ΔPSI
Pi	<b>4.2</b>	Pt	<b>2.5</b>	<b>1.7</b>

Obs: \_\_\_\_\_

### Sub-rasante

Valor Soporte California		Módulo resiliente	
CBR (%)	<b>80</b>	Mr (PSI)	<b>29000</b>

Obs: \_\_\_\_\_

De acuerdo a estos parámetros se determina para este pavimento un **SN<sub>NEC</sub> 3.3**

### Aporte estructural de pavimento propuesto

Componentes de la Secc Analizada	Espesor en m	Clasificación HRB	Coefficiente Estructural	Coefficiente de Drenaje	N de Aporte en cm
CAC DR 10 CA30	0.040		0.17	1	0.68
CAC DB 19 CA30	0.050		0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88

**SN<sub>EF</sub> 3.3**

Como puede observarse la estructura verifica S<sub>Nef</sub> ≥ S<sub>Nnec</sub>.

Como resumen, el paquete estructural quedaría compuesto de la siguiente manera:

CAPAS	ESPESORES (cm)
<b>CAC DR 10 CA30</b>	4
<b>CAC DB 19 CA30</b>	5
<b>CAC DB 19 CA30</b>	5
<b>CAC DB 19 CA30</b>	5
<b>BASE GRANULAR CBR 80</b>	20
<b>BASE GRANULAR CBR 40</b>	20

## 5.2. RN N°9 – Ramas, Ex RNN°9 y Colectora Este

### 5.2.1. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TRÁNSITO, CATEGORÍA Y TIPO

Para el cálculo del paquete estructural se consideró como TMDA la mitad de la diferencia entre los TMDA de los tramos Int. RPN°341 (5841) e Int. RPN°311 (3950) publicado por la Dirección Nacional de Vialidad en el año 2018. Esta diferencia es  $5841 - 3950 = 1891$  y la mitad se adopta como 946 veh/día. La distribución del el transito se adopta idéntica a la de la calzada principal.

Si se observa los movimientos dentro del distribuidor, puede deducirse que el transito de la rama Sur Este coincide con el tránsito de la Ex RNN°9 que pasa bajo el puente y de la colectora Este, por lo que el siguiente cálculo es válido para todas estas estructuras.

Se adopta el factor direccional medido del **50%** y, como es una rama, se toma un factor de trocha del 100%.

TMDA 2018	Tipo de vehículo	Distribución de Ejes	% por Categoría s/TMDA	Distribución % por categorías/tipo	TMDA por Categoría y tipo	TMDA Inical 2022
928	Automóviles, Jeep, Camionetas	1 1	51.1	100	474	489
	Omnibus	1 1	5.3	100	49	51
	Camiones sin Acoplados	1 1	6.1	100	57	59
		1 2		0	0	
	Camiones con Acoplados	1 1 1 1	9.8	0	0	0
		1 1 1 2		100	91	94
		1 2 1 1		0	0	0
		1 2 1 2		0	0	0
	Semi remolques	1 1 1	21.7	0	0	0
		1 1 2		52	105	109
		1 1 3		34	68	71
		1 2 3		14	28	29

### 5.2.2. CARGAS DE DISEÑO

Para la determinación del número de ejes equivalentes de 80PSI S/ AASHTO 1993 se adoptan los siguientes parámetros:

#### DATOS ESTADÍSTICOS Y DE TRANSITO

Año ultimo TMDA	2018
TMDA	928
Año Estimado de Comienzo de obra	2021
Período de Ejecución de obras (años)	1
Vida Util	15
Tasas de crecimiento	
Vehículos Livianos	3
Vehículos Pesados	3
Años Evaluados	18

#### FACTORES DE DISEÑO

Fac. para calculo de TF	
Pt	2.5
SN	4.3
Fac de distribución de transito	
DD	0.5
LD	1



Se consideran un 70% de vehículos cargados y el 30% restante de vehículos descargados. En las siguientes tablas se obtienen el número de ejes equivalentes aplicando los coeficientes los factores de camión FT al volumen de vehículos de cada tipo para el período de evaluado:

**Vehículos Cargados**

% de vehículos cargados :

70%

Tipo de Vehículos	TMDA por Categoría	Volumen anual	FG	Tránsito de Diseño	TF	Nº ESALs
Automóviles, Jeep, Camionetas	342	124830	1.24	2321838	0.008	9288
Omnibus	36	13140	1.24	244404	2.859	349376
Camiones sin Acoplados	41	14965	1.24	278349	2.859	397900
	0	0	1.24	0	2.291	0
Camiones con Acoplados	0	0	1.24	0	7.969	0
	66	24090	1.24	448074	7.401	1658098
	0	0	1.24	0	7.401	0
	0	0	1.24	0	3.362	0
Semi remolques	0	0	1.24	0	5.414	0
	76	27740	1.24	515964	4.846	1250181
	50	18250	1.24	339450	4.795	813832
	20	7300	1.24	135780	2.868	194709

**Vehículos Descargados**

% de vehículos descargados :

30%

Tipo de Vehículos	TMDA por Categoría	Volumen anual	FG	Tránsito de Diseño	TF	Nº ESALs
Automóviles, Jeep, Camionetas	147	53655	1.24	997983	0	0
Omnibus	15	5475	1.24	101835	0.024	1223
Camiones sin Acoplados	18	6570	1.24	122202	0.024	1467
	0	0	1.24	0	0.018	0
Camiones con Acoplados	0	0	1.24	0	0.068	0
	28	10220	1.24	190092	0.062	5893
	0	0	1.24	0	0.062	0
	0	0	1.24	0	0.026	0
Semi remolques	0	0	1.24	0	0.046	0
	33	12045	1.24	224037	0.04	4481
	21	7665	1.24	142569	0.039	2781
	9	3285	1.24	61101	0.022	673

Nº de ESALs de Diseño

4,689,902

### 5.2.3. Determinación de los factores equivalentes de carga (LEF) y factores camión (FT) según AASHTO 1993

Los FT utilizado para el cálculo de los ejes equivalentes resultan de las siguientes tablas:

Factores adoptados  $PT = 2.5$   
 $SN = 4.3$

Vehículos Cargados

Tipo de Vehículos	Distribución de Ejes	Pesos (TN)				LEF por Eje				TF Por Vehículo
		Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	
Automóviles, Jeep, Camionetas	1 1	2	2			0.004	0.004	0	0	0.008
Omnibus	1 1	6	10.5			0.304	2.555	0	0	2.859
Camiones sin Acoplados	1 1	6	10.5			0.304	2.555	0	0	2.859
	1 2	6	18			0.304	1.987	0	0	2.291
Camiones con Acoplados	1 1 1 1	6	10.5	10.5	10.5	0.304	2.555	2.555	2.555	7.969
	1 1 1 2	6	10.5	10.5	18	0.304	2.555	2.555	1.987	7.401
	1 2 1 1	6	18	10.5	10.5	0.304	1.987	2.555	2.555	7.401
	1 2 1 2	6	14	6	18	0.304	0.767	0.304	1.987	3.362
Semi remolques	1 1 1	6	10.5	10.5		0.304	2.555	2.555	0	5.414
	1 1 2	6	10.5	18		0.304	2.555	1.987	0	4.846
	1 1 3	6	10.5	25.5		0.304	2.555	1.936	0	4.795
	1 2 3	6	14	25		0.304	0.767	1.797	0	2.868

Vehículos Descargados

Tipo de Vehículos	Distribución de Ejes	Pesos (TN)				LEF por Eje				TF Por Vehículo
		Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	
Automóviles, Jeep, Camionetas	1 1	0.6	0.6			0	0	0	0	0
Omnibus	1 1	1.8	3.15			0.002	0.022	0	0	0.024
Camiones sin Acoplados	1 1	1.8	3.15			0.002	0.022	0	0	0.024
	1 2	1.8	5.4			0.002	0.016	0	0	0.018
Camiones con Acoplados	1 1 1 1	1.8	3.15	3.15	3.15	0.002	0.022	0.022	0.022	0.068
	1 1 1 2	1.8	3.15	3.15	5.4	0.002	0.022	0.022	0.016	0.062
	1 2 1 1	1.8	5.4	3.15	3.15	0.002	0.016	0.022	0.022	0.062
	1 2 1 2	1.8	4.2	1.8	5.4	0.002	0.006	0.002	0.016	0.026
Semi remolques	1 1 1	1.8	3.15	3.15		0.002	0.022	0.022	0	0.046
	1 1 2	1.8	3.15	5.4		0.002	0.022	0.016	0	0.04
	1 1 3	1.8	3.15	7.65		0.002	0.022	0.015	0	0.039
	1 2 3	1.8	4.2	7.5		0.002	0.006	0.014	0	0.022

### 5.2.4. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL INICIO DEL PERÍODO

El Método AASHTO-93 recomienda asignar a esta variable independiente un valor de 4,2. En el caso de pavimentos flexibles, éste valor será empleado en la solución de la ecuación de diseño.

### 5.2.5. CONDICIÓN DE SERVICIO DEL PAVIMENTO AL FINAL DEL PERÍODO DE DISEÑO (PT)

Se adopta para el final de su vida útil un nivel de serviciabilidad de 2,5.

### 5.2.6. CONFIABILIDAD EN EL DISEÑO (R) Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA DE PAVIMENTOS (SO)

El Método AASHTO 1993 presenta, para el valor (R) la Tabla 24, que se transcribe a continuación:

Clasificación funcional de la vía bajo proyecto	Valor recomendado de Confiabilidad (R)	
	Vías urbanas	Vías rurales
Autopistas Interestatales y otras autopistas	<b>85-99,9</b>	<b>80-99,9</b>
Arterias principales	<b>80-99</b>	<b>75-95</b>
Vías colectoras	<b>80-95</b>	<b>75-95</b>
Vías locales	<b>50-80</b>	<b>50-80</b>

*Valores de Confiabilidad recomendados por la AASHTO*

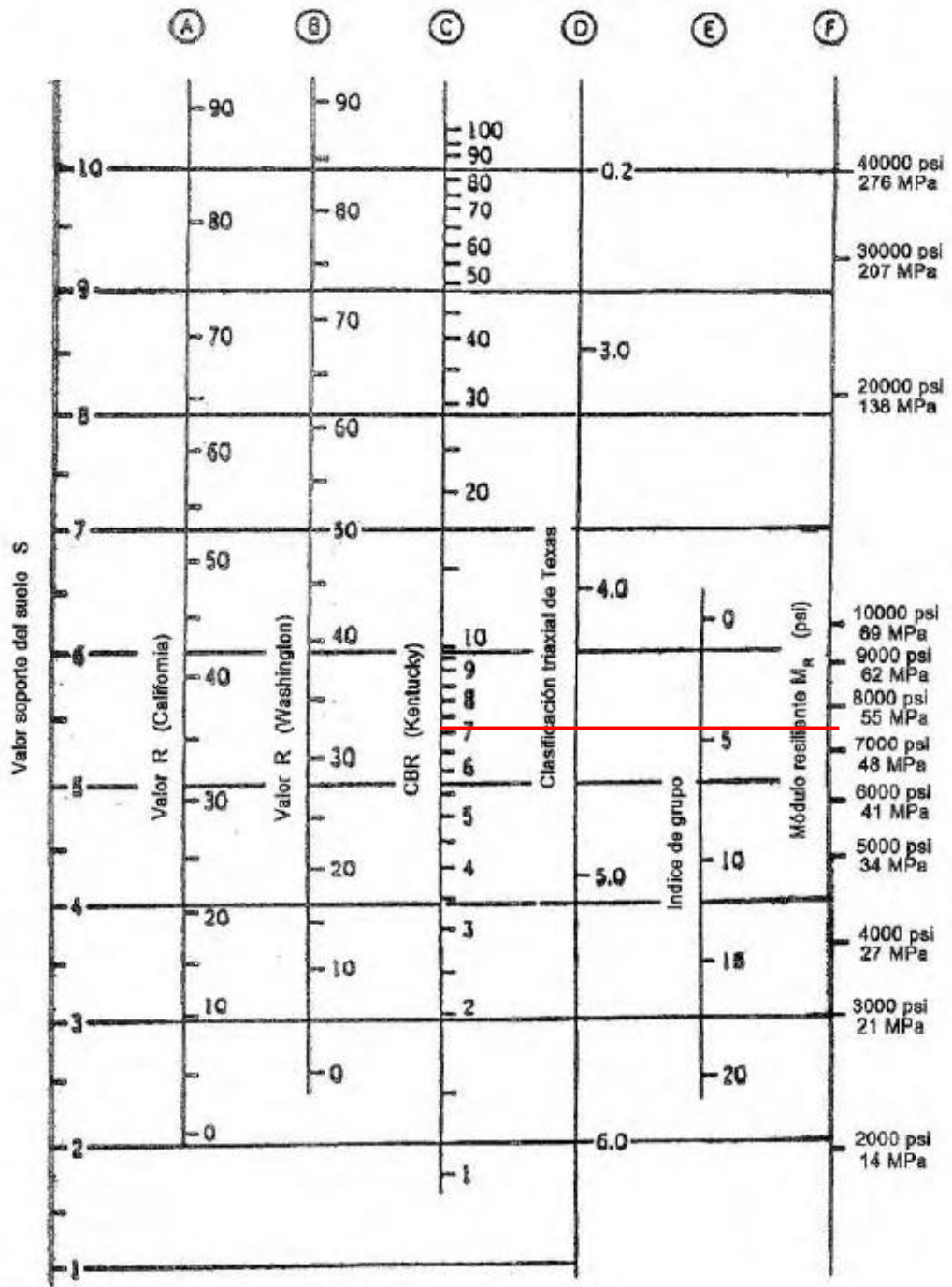
Se empleará el valor **85%**.

El valor de la “desviación estándar- $s_0$ ”, por otra parte, sugerido por el propio Método AASHTO-93 es de **0.44** para el caso de diseño de un nuevo pavimento flexible; este valor será, en consecuencia, empleado en la solución de la ecuación de diseño de la AASHTO para el caso del pavimento de concreto hidráulico.

### 5.2.7. VALORACIÓN DE LA SUBRASANTE

A partir de las características de los suelos del lugar, considerando las exigencias de compactación estipuladas en la sección B.VII. del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la DNV (1998), se alcanzaría holgadamente el C.B.R. exigido del 7%.

Aplicando la siguiente figura se obtiene la relación que vincula el valor soporte relativo de una capa no ligada con el Módulo Resiliente de la misma, resultando:



Mr (MPa) = 7.500 psi (aproximadamente)

### 5.2.8. ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Los valores de “Número Estructural (SN)”, y la ecuación de diseño que permite obtener los espesores de capas en función de sus coeficientes relativos de capacidad estructural son:

$$SN_c = a_1 \times h_1 + a_2 \times h_2 \times m_2 + a_3 \times h_3 \times m_3$$

**a<sub>i</sub>**: Los coeficientes estructurales correspondientes a las capas granulares: base (80), sub base (40) y sub base (20) se obtuvieron de ábacos dispuestos en el Manual AASHTO 1993, del capítulo "Materiales para Pavimentos", resultando:

- Base (80): 0,052
- Sub base (40): 0,047
- Sub base (20): 0,037

Para la carpeta de rodamiento, compuesta por una MAC, se puede considerar, debido a probada experiencia en el medio un coeficiente de aporte de 0,17.

Para las demás capas asfálticas, se exige mediante pliego una Estabilidad Marshall mayor a 10 KN, lo que significa un coeficiente de aporte de 0,177.

**m<sub>i</sub>**: los coeficientes de drenaje involucran a las capas granulares y sirven para expresar la calidad del drenaje, la obtención de los mismos se efectuó de la siguiente manera:

El coeficiente de drenaje usado es **m = 1.00**. Este valor es usado para el cálculo de todas las calzadas.

Con la adopción de todos estos parámetros y conociendo el número de ejes equivalentes para el período de estudio se procede a calcular el Numero Estructural Necesario (SNnec). A continuación, se muestra el resumen de todos los factores adoptados y el resultado del cálculo:

*Factores Probabilísticos*

<i>Confiabilidad</i>		<i>Desvío estándar</i>	
R%	<b>85</b>	ZR	<b>1.036</b>
		S <sub>0</sub>	<b>0.44</b>

Obs: \_\_\_\_\_

*Tránsito*

<i>TMDA año 2018</i>	<i>Factores de distribución por dirección y trocha</i>			<i>Ejes equivalentes acumulados</i>	
TMDA	<b>928</b>	DD	<b>0.5</b>	LD	<b>1</b>
		W18			<b>4.69E+06</b>

Obs: \_\_\_\_\_

*Serviciabilidad*

<i>Perdida de PSI</i>		<i>ΔPSI</i>	
P <sub>i</sub>	<b>4.2</b>	P <sub>t</sub>	<b>2.5</b>
			<b>1.7</b>

Obs: \_\_\_\_\_

*Sub-rasante*

<i>Valor Soporte California</i>	<i>Módulo resiliente</i>
CBR (%)	<b>7</b>
	<b>Mr (PSI) 7500</b> (de nomograma)

Obs: \_\_\_\_\_

De acuerdo a estos parámetros se determina para este pavimento un **SN<sub>NEC</sub> 4.3**

Considerando este valor de SN<sub>nec</sub>= 4,3 se adoptan los siguientes espesores obteniendo valores similares de SN :

Componentes de la Secc Analizada	Espesor en m	Clasificación HRB	Coficiente Estructural	Coficiente de Drenaje	N de Aporte en cm
CAC DR 10 CA30	0.050		0.170	1	0.850
CAC DB 19 CA30	0.050		0.177	1	0.880
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.880
CAC DR 19 CA30	0.000	-	0.177	1	0.000
Base Granular (80)	0.150		0.052	1	0.780
Sub Base Granular (40)	0.200		0.047	1	0.940

**SN<sub>EF</sub> 4.3**

Con estos espesores adoptados se realiza una verificación de protección de capas granulares no tratadas, capa por capa. Esto se basa en el concepto de que las capas granulares no tratadas deben estar protegidas de tensiones verticales excesivas que les producirían deformaciones permanentes.

## Verificación de espesor de la capa de sub base granular

El Mr de la subrasante a emplear en la verificación es el Mr de la Base granular.

### Factores Probabilísticos

Confiabilidad		Desvío estándar	
R%	<b>85</b>	ZR	<b>1.036</b>
S <sub>0</sub>		<b>0.44</b>	
Obs: _____			

### Tránsito

TMDA año 2018		Factores de distribución por dirección y trocha			Ejes equivalentes acumulados		
TMDA	<b>928</b>	DD	<b>0.5</b>	LD	<b>0.8</b>	W18	<b>4.69E+06</b>
Obs: _____							

### Serviciabilidad

Perdida de PSI		Pt		Δ PSI	
Pi	<b>4.2</b>	Pt	<b>2.5</b>	Δ PSI	<b>1.7</b>
Obs: _____					

### Sub-rasante

Valor Soporte California		Módulo resiliente	
CBR (%)	<b>40</b>	Mr (PSI)	<b>16000</b>
Obs: _____			

De acuerdo a estos parámetros se determina para este pavimento un **SN<sub>NEC</sub> 3.2**

### Aporte estructural de pavimento propuesto

Componentes de la Secc Analizada	Espesor en m	Clasificación HRB	Coefficiente Estructural	Coefficiente de Drenaje	N de Aporte en cm
CAC DR 10 CA30	0.050		0.17	1	0.85
CAC DB 19 CA30	0.050		0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
CAC D R 19 CA30	0.000	-	0.177	1	0
Base Granular (80)	0.150		0.052	1	0.78

**SN<sub>EF</sub> 3.4**

Como puede observarse la estructura verifica SN<sub>ef</sub> >=SN<sub>nec</sub>.

## Verificación del espesor de la capa de Base Granular

El Mr de la subrasante a emplear en la verificación es el Mr de la Subbase granular.

### Factores Probabilísticos

Confiabilidad		Desvío estándar	
R%	<b>85</b>	ZR	<b>1.036</b>
Obs: .....		S <sub>0</sub>	
		<b>0.44</b>	

### Tránsito

TMDA año 2018	Factores de distribución por dirección y trocha			Ejes equivalentes acumulados	
TMDA	<b>928</b>	DD	<b>0.5</b>	LD	<b>0.9</b>
Obs: .....		W18		<b>4.69E+06</b>	

### Serviciabilidad

Perdida de PSI		Módulo resiliente		Ejes equivalentes acumulados	
Pi	<b>4.2</b>	Pt	<b>2.5</b>	$\Delta PSI$	
Obs: .....				<b>1.7</b>	

### Sub-rasante

Valor Soporte California		Módulo resiliente	
CBR (%)	<b>80</b>	Mr (PSI)	<b>29000</b>
Obs: .....			

De acuerdo a estos parámetros se determina para este pavimento un **SN<sub>NEC</sub> 2.6**

### Aporte estructural de pavimento propuesto

Componentes de la Secc Analizada	Espesor en m	Clasificación HRB	Coefficiente Estructural	Coefficiente de Drenaje	N de Aporte en cm
CAC DR 10 CA30	0.050		0.17	1	0.85
CAC DB 19 CA30	0.050		0.177	1	0.88
CAC DB 19 CA30	0.050	-	0.177	1	0.88
CAC DR 19 CA30	0.000	-	0.177	1	0

**SN<sub>EF</sub> 2.6**

Como pude observarse la estructura verifica SN<sub>EF</sub> >=SN<sub>nec</sub>.



Como resumen, el paquete estructural quedaría compuesto de la siguiente manera:

CAPAS	ESPESORES (cm)
<b>MAC F R 10 AM3</b>	5
<b>CAC D B 19 CA30</b>	5
<b>CAC D B 19 CA30</b>	5
<b>BASE GRANULAR CBR 80</b>	15
<b>BASE GRANULAR CBR 40</b>	20