

DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

El diseño del pavimento flexible involucra el análisis de diversos factores: Tráfico, drenaje, clima, características de los suelos, capacidad de transferencia de carga, nivel, de serviciabilidad deseado, el grado de confiabilidad al que se desea efectuar el diseño acorde con el grado de importancia de la carretera. Todos estos factores son necesarios para producir un comportamiento confiable del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance en nivel de colapso durante su vida de servicio.

$$\log_{10}(ESAL) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M_R - 8.07$$

Desviación estándar normal *Desviación estándar global* *Número estructural* *Cambio en la Serviciabilidad*
Ejes equivalentes *Módulo de resiliencia*

01. VARIABLES DE DISEÑO

01.01 VARIABLES DE TIEMPO

Se considerará dos variables: periodo de análisis y vida útil del pavimento.

para efectos de diseño se considera el periodo de vida útil, mientras que el periodo de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto:

CLASIFICACION DE LA VIA	PERIODO DE ANALISIS
Urbana de alto volumen de tráfico	30 - 50
Rural de alto volumen de tráfico	20 - 50
Pavimentada de bajo volumen de tráfico	15 - 25
No pavimentada de bajo volumen de tráfico	10 - 20

Urbana de alto volumen de tráfico

20 Años

01.02 TRÁNSITO

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que estos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load). de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

De acuerdo al estudio de tráfico el número de repeticiones es: **503739**

Para el caso del tráfico y del diseño de pavimentos flexibles se define 2 categorías:

CATEGORIA	RANGO DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE		TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE
BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO DE 150,001 A 1'000,000 EE	De 150001	A 300000	TP1
	De 300001	A 500000	TP2
	De 500001	A 750000	TP3
	De 750001	A 1000000	TP4
CAMINOS QUE TIENEN UN TRAFICO COMPRENDIDO ENTRE 1'000,000 Y 30'000,000 EE	De 1000001	A 1500000	TP5
	De 1500001	A 3000000	TP6
	De 3000001	A 5000000	TP7
	De 5000001	A 7500000	TP8
	De 7500001	A 10000000	TP9
	De 10000001	A 12500000	TP10
	De 12500001	A 15000000	TP11
	De 15000001	A 20000000	TP12
	De 20000001	A 25000000	TP13
	De 25000001	A 30000000	TP14

De acuerdo al número de repeticiones de eje equivalente, el tipo de tráfico es: **TP3**

01.03 SUBRASANTE

Las características de la subrasante sobre la que se asienta el pavimento, están definidas en seis (06) categorías de subrasante, en base a su capacidad de soporte CBR.

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos el CBR de la subrasante es: **2.58%**

CBR DE LA SUBRASANTE		CATEGORIA DE LA SUBRASANTE	DESCRIPCIÓN DE LA SUBRASANTE
CBR MENORES A 3%		S0	Subrasante Inadecuada
De CBR = 3%	A CBR < 6%	S1	Subrasante Pobre
De CBR = 6%	A CBR < 10%	S2	Subrasante Regular
De CBR = 10%	A CBR < 20%	S3	Subrasante Buena
De CBR = 20%	A CBR < 30%	S4	Subrasante Muy Buena
CBR MAYORES O IGUALES A 30%		S5	Subrasante Extraordinaria

De acuerdo al estudio de mecánica de suelos: **S0**

01.03 CONFIABILIDAD

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad esta asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

a) DESVIACIÓN ESTÁNDAR GLOBAL(S_0)

La desviación estándar es la desviación de la población de valores obtenidos por AASHTO que involucra la variabilidad inherente a los materiales y a su proceso constructivo. En la siguiente tabla se muestran valores para la desviación estándar.

CONDICION DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTNDAR	
	PAV. RÍGIDO	PAV. FLEXIBLE
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.	0.35	0.40
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.	0.40	0.50

$$S_0 = 0.45$$

b) FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)

Tiene que ver con el uso esperado de la carretera. Así, para carreteras principales el nivel de confiabilidad es alto, ya que un subdimensionamiento del espesor del pavimento traerá como consecuencia que éste alcance los niveles mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto, debido al rápido deterioro que experimentará la estructura. En la siguiente tabla se dan niveles de confiabilidad aconsejados por la AASHTO.

TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	RANGO DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE		NIVEL DE CONFIABILIDAD
TP1	De 150001	A 300000	70%
TP2	De 300001	A 500000	75%
TP3	De 500001	A 750000	80%
TP4	De 750001	A 1000000	80%
TP5	De 1000001	A 1500000	85%
TP6	De 1500001	A 3000000	85%
TP7	De 3000001	A 5000000	85%
TP8	De 5000001	A 7500000	90%
TP9	De 7500001	A 10000000	90%
TP10	De 10000001	A 12500000	90%
TP11	De 12500001	A 15000000	90%
TP12	De 15000001	A 20000000	95%
TP13	De 20000001	A 25000000	95%
TP14	De 25000001	A 30000000	95%

El factor de confiabilidad R para el tipo de tráfico TP3 es: **80%**

c) PROBABILIDAD (Z_R)

Es el valor "Z" (Área bajo la curva de distribución normal correspondiente a la curva estandarizada para una confiabilidad "R")

$$Z_R = -0.842$$

02. CRITERIOS DE COMPORTAMIENTO

02.01 SERVICIABILIDAD

la serviciabilidad se unas como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional) cuando este circula por la vialidad. También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

a) **INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_0)**

El índice de serviciabilidad inicial (P_0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos flexibles un valor inicial deseable de 4.2, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	RANGO DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE		INDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (P_0)
TP1	De 150001	A 300000	3.8
TP2	De 300001	A 500000	3.8
TP3	De 500001	A 750000	3.8
TP4	De 750001	A 1000000	3.8
TP5	De 1000001	A 1500000	4.0
TP6	De 1500001	A 3000000	4.0
TP7	De 3000001	A 5000000	4.0
TP8	De 5000001	A 7500000	4.0
TP9	De 7500001	A 10000000	4.0
TP10	De 10000001	A 12500000	4.0
TP11	De 12500001	A 15000000	4.0
TP12	De 15000001	A 20000000	4.2
TP13	De 20000001	A 25000000	4.2
TP14	De 25000001	A 30000000	4.2

El Índice de Serviciabilidad Inicial P_0 para el tipo de tráfico TP3 es: 3.8

b) **INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (P_t)**

El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad, pueden considerarse los valores P_t indicados en la siguiente tabla

TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	RANGO DE TRÁFICO PESADO EXPRESADO EN EE		INDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (PF)
TP1	De 150001	A 300000	2.0
TP2	De 300001	A 500000	2.0
TP3	De 500001	A 750000	2.0
TP4	De 750001	A 1000000	2.0
TP5	De 1000001	A 1500000	2.5
TP6	De 1500001	A 3000000	2.5
TP7	De 3000001	A 5000000	2.5
TP8	De 5000001	A 7500000	2.5
TP9	De 7500001	A 10000000	2.5
TP10	De 10000001	A 12500000	2.5
TP11	De 12500001	A 15000000	2.5
TP12	De 15000001	A 20000000	3.0
TP13	De 20000001	A 25000000	3.0
TP14	De 25000001	A 30000000	3.0

El Índice de Serviciabilidad Final PF para el tipo de tráfico TP3 es: 2

03. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

03.01 MODULO RESILENTE (M_R)

Es calculado por el ensayo T274 de la AASHTO, que viene a ser un método muy difícil de realizar en muchos lugares porque no se cuenta con los equipos que efectúen este ensayo, por lo tanto existen relaciones que pueden calcular dicho módulo aproximadamente, tomando como parámetro principal el CBR, dato que se puede calcular mediante ensayos de la AASHTO y ASTM.

$$M_R = 2555 \times CBR^{0.64}$$

El Módulo Resiliente en PSI para un CBR DE 2.58% es **4686 psi**

SN Requerido	G_i	N18 Nominal	N18 Calculado	
3.42	-0.176	5.702	5.711	Correcto!!!

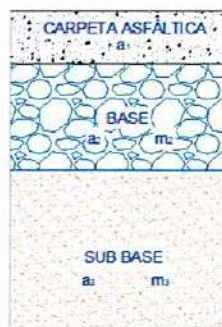
04. COEFICIENTES ESTRUCTURALES

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

D_i = Espesor de la capa en pulgadas

a_i = Coeficiente estructural de la capa

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa



04.01 COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA a_i

Es la capacidad estructural del material para resistir las cargas actuantes. Estos coeficientes están basados en correlaciones obtenidas a partir de los ensayos AASHTO de 1958 - 60 y ensayos posteriores que se han extendido a otros materiales para generalizar la aplicación del método.

COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA CAPA SUPERIOR DEL PAVIMENTO		
COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (a_1)	OBSERVACIÓN
Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	0.170	Capa superficial recomendada para todos los tipos de tráfico
Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	0.125	Capa superficial recomendada para tráficos menores a 1'000,000 EE
Micropavimento 25 mm	0.130	Capa superficial recomendada para tráficos menores a 1'000,000 EE
Tratamiento superficial Bicapa	0.250	Capa superficial recomendada para tráficos menores a 500,000 EE, no aplicable en tramos con pendientes > 8%, con curvas pronunciadas
Lechada Asfáltica (Slurry Seal) de 12 mm	0.150	Capa superficial recomendada para tráficos menores a 500,000 EE, no aplicable en tramos con pendientes > 8%, y frenado de vehículos

La componente de pavimento será de: **Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C**

Por lo tanto el coeficiente estructural a_1 será: **0.170**

COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA BASE		
COMPONENTE DE LA BASE	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (a_2)	OBSERVACIÓN
Base granular 80% CBR compactada al 100% de la MDS	0.052	Capa de base recomendada para tráfico menor a 5'000,000 EE
Base granular 100% CBR compactada al 100% de la MDS	0.054	Capa de base recomendada para tráfico mayor a 5'000,000 EE
Base granular tratada con asfalto (Estabilidad $mr_{shall}=1500Lb$)	0.115	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráficos
Base granular tratada con cemento ($f'c=35\text{ kg/cm}^2$ a los 7 días)	0.070	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráficos
Base granular tratada con cal ($f'c=12\text{ kg/cm}^2$ a los 7 días)	0.080	Capa de base recomendada para todos los tipos de tráficos

La componente de la Base será de: **Base granular 80% CBR compactada al 100% de la MDS**

Por lo tanto el coeficiente estructural a_1 será: **0.052**

COEFICIENTE ESTRUCTURAL DE LA SUB-BASE		
COMPONENTE DE LA SUB-BASE	COEFICIENTE ESTRUCTURAL (a_3)	OBSERVACIÓN
Sub-Base granular 40% CBR compactada al 100% de la MDS	0.047	Capa de base recomendada para tráfico menor a 15'000,000 EE
Sub-Base granular 60% CBR compactada al 100% de la MDS	0.050	Capa de base recomendada para tráfico mayor a 15'000,000 EE

La componente de la Sub-Base será de: **Sub-Base granular 40% CBR compactada al 100% de la MDS**

Por lo tanto el coeficiente estructural a_1 será: **0.047**

por lo tanto: $a_1 = 0.170$ $a_2 = 0.052$ $a_3 = 0.047$

04.02 COEFICIENTE DE DRENAJE DE LA CAPA m_i

TABLA DE VALORES RECOMENDADOS PARA EL COEFICIENTE DE DRENAJE

C_d CALIFICACIÓN	Tiempo en que tarda el agua en ser avacuada	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento esta expuesto a niveles de humedad cercanas a la saturación			
		< 1%	1 - 5%	5 - 25%	>25%
EXCELENTE	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
BUENO	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
REGULAR	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
POBRE	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
MUY POBRE	El agua no evacua	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

El coeficiente de drenaje para base será: $m_2 = 1.00$

El coeficiente de drenaje para sub-base será: $m_3 = 1.00$

04.03 CALCULO DE LOS ESPESORES DE LA CAPA

ESPESORES RECOMENDADOS MANUAL MTC			
TIPO DE TRÁFICO EXPRESADO EN EE	ESPESOR DE CAPA SUPERFICIAL		ESPESOR DE BASE
TP1	Lechada Asfáltica (Slurry Seal) de 12 mm	12 mm	150 mm
	Tratamiento superficial Bicapa	12 mm	
	Micropavimento 25 mm	25 mm	
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	50 mm	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	50 mm	
TP2	Lechada Asfáltica (Slurry Seal) de 12 mm	12 mm	150 mm
	Tratamiento superficial Bicapa	12 mm	
	Micropavimento 25 mm	25 mm	
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	60 mm	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	60 mm	
TP3	Micropavimento 25 mm	25 mm	150 mm
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	60 mm	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	70 mm	
TP4	Micropavimento 25 mm	25 mm	200 mm
	Capa asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión.	70 mm	
	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	80 mm	
TP5	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	80 mm	200 mm
TP6	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	90 mm	200 mm
TP7	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	90 mm	200 mm
TP8	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	100 mm	250 mm
TP9	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	110 mm	250 mm
TP10	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	120 mm	250 mm
TP11	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	130 mm	250 mm
TP12	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	140 mm	250 mm
TP13	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	150 mm	300 mm
TP14	Carpeta asfáltica en caliente módulo 2965 Mpa a 20°C	150 mm	300 mm

a) CALCULO DE ESPESORES PARA SUELO DE CLASIFICACIÓN TIF I

SN REQUERIDO	SN CALCULADO	ESPESORES EN CM		
		D_1	D_2	D_3
3.42	3.42	5.1	22	30

Correcto!!

05. CONCLUSIONES

a) Para el suelo TIPO II se considerará:

$$D_1 = 5 \text{ cm}$$

$$D_2 = 22 \text{ cm}$$

$$D_3 = 30 \text{ cm}$$

