DISEÑO PAVIMENTO FLEXIBLE VIA TOLEDO - LABATECA DESEL EL PR 1+900 y PR 2+150



American Association of State Highway And Transportation Officials -AASHTO- versión 1993 (Ref.7.1)

Elaborado por:
Ing. Darwin José Palacio
M.P 5420277371 NTS

Solicitante:

UNION TEMPORAL CONSULTORIA PPR

Agosto de 2025

INTRODUCCION.

La correcta selección y diseño de un pavimento es un proceso complejo que debe considerar múltiples factores para garantizar una solución vial duradera, eficiente y económicamente viable. En el contexto de la vía entre Toledo y Labateca, Norte de Santander, la propuesta se centra en el diseño de un pavimento flexible con una superficie de rodadura de mezcla asfáltica, una de las opciones más comunes a nivel mundial.

Este informe se basa en las directrices establecidas por la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Rutas (AIPCR), cuya guía, actualizada por última vez en 2005, sirve de referencia fundamental para la selección de pavimentos. A través de este análisis, se presentarán las consideraciones técnicas y económicas necesarias para el diseño, incluyendo un estudio geotécnico y de tránsito detallado.

El diseño propuesto se justifica por la competitividad de los pavimentos flexibles, influenciada directamente por el costo de sus materias primas (asfalto, agregados) y los costos de construcción y mantenimiento a largo plazo. Es importante destacar que la elección final de la estructura del pavimento no solo depende de los cálculos técnicos, sino que también requiere el consenso de todas las partes interesadas, como las autoridades locales, diseñadores, constructores y la comunidad.

El objetivo principal es proponer una estructura vial que se adapte a las condiciones actuales de la vía y a las características específicas de cada sector, garantizando la funcionalidad y seguridad para los usuarios, y minimizando los costos totales durante la vida útil del pavimento.

Criterios para la selección de pavimentos

La elección del tipo de pavimento para una vía depende de una variedad de factores técnicos y económicos. En el caso de la vía entre Toledo y Labateca, el objetivo es continuar la estructura de pavimento existente, la cual es de tipo flexible. Esta decisión estratégica se basa en la necesidad de asegurar la continuidad de la infraestructura y aprovechar las ventajas de un sistema constructivo ya establecido.

La competitividad económica del proyecto se beneficia al mantener un único tipo de pavimento. Esto no solo simplifica la logística de construcción y mantenimiento, sino que también garantiza la disponibilidad de materiales, equipos y mano de obra especializados en la zona. Mantener una solución ya probada reduce los riesgos técnicos y económicos, y asegura que el proyecto no se vea afectado por la falta de insumos de un material específico.

La pertinencia de continuar con el pavimento flexible se evalúa sopesando las condiciones particulares de la zona, como la disponibilidad de agregados y asfalto, y la viabilidad económica del proyecto a largo plazo. En cada tramo de la vía, se analizan estas condiciones para asegurar que la solución propuesta sea la más adecuada y sostenible

DIMENSIONAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE MÉTODO AASHTO

PARÁMETROS DE DISEÑO.

Deben establecerse los parámetros de diseño indicados a continuación:

CONDICIONES CLIMATICAS:

La temperatura promedio en el municipio de Toledo es de 20°C. Piso térmico templado, con una temperatura no menor a los 18 °C y no mayores a los 24 °C. Precipitaciones mayores a los 3.000 mm anuales, lo que lo convierte en una región con un alto régimen de lluvias durante la mayor parte del año, con dos temporadas lluviosas bien definidas (marzo-junio y septiembre-noviembre).

En el municipio de Toledo tiene un clima subtropical muy húmedo. Presenta lluvias intensas de noviembre a febrero y lluvias muy intensas a extremadamente intensas de abril a octubre. La temperatura promedio es de 20.0 ° C. En un año, la precipitación media es 3.500mm.

Basados en el Climograma, el mes más seco es enero, con 150mm. En octubre, la precipitación alcanza su pico, con un promedio de más de 500mm.

Por otra parte, el mes de junio es el más cálido con un promedio de 20.5°C a 21.0°C y las temperaturas medias bajas en diciembre con temperaturas alrededor de los 18.0°C.

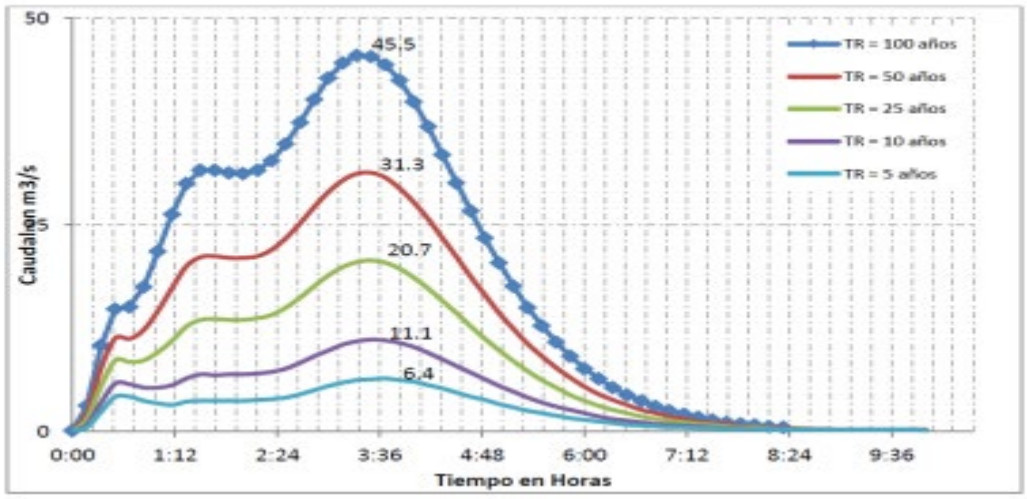
HIDROGRAFÍA: es muy rica y diversa, influenciada por su compleja topografía que abarca desde zonas de alta montaña (páramos) hasta valles más bajos. El municipio se caracteriza por ser una zona con alta pluviosidad, lo que alimenta una densa red de ríos y quebradas.

El municipio de Toledo cuenta con una red hidrográfica diversa y vital para su ecosistema y sus habitantes. Entre los principales ríos que discurren por su territorio se encuentran el Culagá, Chitagá, Margua, San Lorenzo, Jordán, Negro y Oeste. Estos

cursos de agua, junto con sus afluentes, conforman la columna vertebral del sistema hídrico local.

Un río particularmente destacado es el Cubugón, cuyas riberas son el punto de partida para veredas como Santa Marta, Alto Horizonte y El Porvenir. Estas áreas se caracterizan por poseer grandes pendientes que dan origen a las vertientes de los ríos Cubugón y Margua, lo que indica su importancia como zonas de cabecera. El río Jordán, por su parte, es frecuentemente mencionado en los informes de monitoreo de calidad del agua en conjunto con el río Cubugón, lo que sugiere una interconexión hidrológica relevante entre ambos. A nivel regional, el río Peralonso, que forma el curso superior del río Catatumbo, nace en las tierras altas de Guerrero a 3.100 metros de altitud y atraviesa varios municipios antes de desembocar en el río Zulia. Aunque no fluye directamente por Toledo, su origen en zonas elevadas y su contribución a sistemas fluviales mayores en la región resaltan la interconexión de las fuentes hídricas en el departamento.

Se distinguen puntos notables como el caudal pico máximo, y el punto de inflexión en la curva de recesión donde termina el escurrimiento por la lluvia.



Cuadro 4. Caudales máximos para los diferentes periodos de retorno.

Tr_años	5	10	25	50	100
Q_pico m³/s	6.4	11.1	20.7	31.3	45.5

Fuente. Informe técnico. [34]

CARACTERISTICAS DEL TERRENO DE FUNDACIÓN:

De acuerdo al análisis efectuado de la estratigrafía del subsuelo y a los ensayos de laboratorio realizados, se concluye que el suelo natural más desfavorable encontrado en el área en estudio, del tipo SM, CL según el sistema de clasificación de la SUCS, está conformado por un material que presenta las siguientes características:

La selección del CBR de diseño se realiza bajo los criterios de la media y del instituto del asfalto.

APIQUE Y/O SONDEO	ABSCISA	C.B.R
1	K1+900	6.8
2	K2+150	6.2

CBR DE DISEÑO:

Para este caso tenemos que el diseño del pavimento se basará en la condición más desfavorable (el suelo con menor capacidad de soporte) que se ha encontrado. Esto asegura que la estructura del pavimento sea lo suficientemente robusta para las zonas más débiles, reduciendo la probabilidad de fallas localizadas, esto como medida debido a que el tramo que se pretende diseñar es muy corto por tal motivo se realizaron solo 2 muestras, las cuales se realizaron los ensayos en CBR sumergido es la condición ms desfavorable y por tal motivo la norma nos permite elegir estos valores como CBR de diseño.

$$\boldsymbol{CBR = 6.5\%}$$

Clasificación del suelo de acuerdo al CBR.[1]

CBR (%)	Clasificación general	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0 – 3	**Muy pobre**	**Subrasante**	**OH, CH, MH, OL**	**A5, A6, A7**
3 – 7	**Pobre a regular**	**Subrasante**	**OH, CH, MH, OL**	**A4, A5, A6, A7**
7 – 20	Regular a Bueno	Subbase	OL, CL, ML, SC	A2, A4, A6, A7

[1] HIGUERA SANDOVAL, Carlos Hernando. Nociones sobre métodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras. Volumen 1. Clasificación del suelo de acuerdo al CBR. Tunja 2007. página 94

			SM, SP	
20 – 50	Bueno	Subbase y base	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3 A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

TRANSITO:

Un pavimento debe ser diseñado para soportar el transito inicial y aquel que pase durante su vida de servicio. Sin embargo, es necesario reconocer que no es fácil calcular tales cargas, por cuanto en el transito futuro intervienen factores muy complejos, dado que es muy difícil predecir los cambios en la economía regional general, en la población y en el uso de la tierra a lo largo de la vía durante el periodo de diseño (Alfonso Montejo F. Ingeniería de Pavimentos), por lo tanto y teniendo en cuenta este argumento para obtener los valores del tránsito y/o tráfico vehicular circulante por la zona, se realizó un conteo vehicular de una semana obteniéndose los siguientes resultados:

- Tráfico: TPD 1.053
    - (Autos: 73.15%)
    - (Buses: 5.95%)
    - (C2P: 11.54% - C2G: 7.48% - C3: 1.89%)

Para determinar el tránsito de diseño del presente informe, se utilizó el capítulo 3 del manual de diseño para pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito, elaborado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), el cual establece según el grado de detalle, una clasificación para la realización de los diseños, según la información que pueda obtener de cada proyecto, para el caso en particular, por las condiciones y la información obtenida, se realiza con el nivel 1, esta se utiliza cuando no se posean series históricas de tránsito o existente pocos datos de series históricas, el cual se menciona a continuación: “Pronosticar el número de ejes equivalentes acumulados en el período de diseño como simple expansión del número de ejes equivalentes en el año base, mediante fórmulas simples. En este caso, se necesita conocer el tránsito promedio diario, el porcentaje de vehículos comerciales y el factor de equivalencia de carga global para el año inicial del proyecto únicamente y la definición de la tasa de crecimiento”.

Con base en lo anterior, y siguiendo la metodología establecida se procede a realizar la proyección del tránsito y cálculo del número de ejes equivalentes en el período de diseño, la norma establece que se debe realizar proyecciones por medio de conteos u encuestas de origen y destino, este proyecto cuenta con una aproximación de conteo

de tránsito realizado un día típico de la semana, del cual es tomo la clasificación de vehículos registrada en la tabla 3.1 Esquema de clasificación de vehículos como se muestra en la siguiente tabla:

Tipo de Vehículo	Nombre Corto
Livianos.	L
Colectivo Pequeño	CP
Colectivo Grande	CG
Buses (incluye busetas, buses corrientes, bus ejecutivo, vehículo especial, vehículo intermunicipal)	B
Camiones de 2 ejes pequeños	C2P
Camiones de 2 ejes grandes	C2G
Camiones de 3 ejes	C3
Camiones de 4 ejes	C4
Camiones de 5 ejes	C5
Camiones de más de 5 ejes	>C5

El sector vial en estudios presenta dos carriles (uno por sentido), distribución por carril es de 50%, por lo tanto, el factor camión es 0.5, la categoría de la vía según INVIAS es 3.

Con base en lo anterior se hace una aproximación de los vehículos que circularan sobre el proyecto a diseñar, al no contarse con la con datos sobre aforos realizados el umbral de incertidumbre es alta, por tal motivo se debe calcular un tránsito con esta variable, esta consultoría aconseja realizar lo solicitado por la normatividad citada en el inciso 3.6.1, el cual menciona: "*Cuando no se posean series históricas de tránsito o existan pocos datos en una serie histórica, se realiza la cuantificación del tránsito equivalente utilizando información de conteos de tránsito de* ***una semana*** *de duración y* ***tendencias de crecimiento*** *representativas de la zona de proyecto*", esta consultoría a determinado además de utilizar la información planteada adicionar las siguientes condiciones:

1. Tomar el conteo realizado y hacerlo típico, aumentando el factor de incertidumbre y esta se refleja en el incremento del tránsito proyectado calculado, el cual deberá verificarse con la realización de aforos vehiculares y encuestas de origen y destino.
2. En el presente análisis no se tiene en cuenta los vehículos pequeños o livianos y motocicletas pues no se consideran que realicen algún daño estructural.

Para realizar la modelación, se tomaron los siguientes datos descritos en la tabla:

Conteos vehiculares realizados sobre la vía.

CONTEO DE TRÁFICO DIA - 1

VIA: **Toledo - Labateca** **FECHA CONTEO:** lunes, 04 de Agosto de 2025

ESTACION: **Propia** **SENTIDO:** **N-S** **AFORADOR:**

Hora	Vehículos Livianos					Buses	Pesados de Carga						MIXTOS
	Autos	Jeep	Camionetas PicK UPs	Colectivo Pequeño	Colectivo Grande		C2 P	C2G	C3	C4	C5	>C5	
7 - 8 a.m.	7	5	3	1	0	3	2	1	0	0	0	0	22
8 - 9 a.m.	4	3	4	0	0	2	2	1	0	0	0	0	16
9 - 10 a.m.	5	3	2	0	0	1	3	1	0	0	0	0	15
10 - 11 a.m.	6	5	3	0	0	1	2	2	3	0	0	0	22
11 - 12 a.m.	5	5	4	0	0	2	3	3	1	0	0	0	23
12 - 1 pm	8	5	5	0	0	1	3	2	0	0	0	0	24
1 - 2 pm	7	5	3	0	0	2	3	2	0	0	0	0	22
2 - 3 p.m.	9	7	3	0	0	2	4	2	1	0	0	0	28
3 - 4 p.m.	7	5	5	2	0	0	3	3	0	0	0	0	25
4 - 5 p.m.	5	4	3	0	0	2	2	2	0	0	0	0	18
	63	47	35	3	0	16	27	19	5	0	0	0	**215**
	148												

Este procedimiento se ejecutó para los días calendarios desde el 04 de Agosto hasta el 9 de Agosto bajo los siguientes horarios, esta información se entrega como anexo.

Estación	Fecha	Día	Periodo
Estación Única	4 de agosto de 2025	Lunes	8:00 – 12:00
			14:00 – 18:00
	5 de agosto de 2025	Martes	8:00 – 12:00
			14:00 – 18:00
	6 de agosto de 2025	Miércoles	8:00 – 12:00
			14:00 – 18:00
	7 de agosto de 2025	Jueves	8:00 – 12:00
			14:00 – 18:00
	8 de agosto de 2025	Viernes	8:00 – 12:00
			14:00 – 18:00
	9 de agosto de 2025	Sábado	8:00 – 12:00
			14:00 – 18:00

Para los factores de equivalencia fue utilizada la tabla 3.5 del capítulo 3, la cual establece los factores de equivalencia de carpa por tipo de vehículo obtenidos a nivel nacional en el año 1996.

VEHICULOS COMERCIALES	FACTOR DE DAÑO
BUS	1,00
C2 P	1,14
C2 G	3,44
C3	3,76
C4	6,73
C5	4,40
>C5	4,72

De los análisis de diseño y los datos asumidos se hallaron la distribución semanal y anual para cada uno de los criterios, es de aclarar que este diseño y análisis de tránsito está encaminado al encontrar el TPD, para el cálculo estructural del pavimento, no se ha realizado análisis de demanda, de composición vehicular y de capacidad de vía, Velocidad de operación, grado de saturación entre otros, si estos criterios son necesarios se solicita se informe a la firma para el análisis.

Con base en lo anterior se obtiene la siguiente composición vehicular, para el tránsito realizado en el aforo.

- **VÍA TOLEDO-LABATECA, SENTIDO NORTE - SUR**

MOVIMIENTO	DIAS	L	Buses	CAMIONES						Mixtos
				C2 P	C2 G	C3	C4	C5	>C5	
	LUNES	148	16	27	19	5	0	0	0	215
	MARTES	256	0	12	4	0	0	0	0	272
	MIERCOLES	168	14	26	16	4	0	0	0	228
	JUEVES	166	17	32	24	5	0	0	0	244
	VIERNES	94	18	34	17	5	0	0	0	168
	SABADO	176	17	28	23	7	0	0	0	251
PROMEDIO		**168**	**13.67**	**26.5**	**17.17**	**4.34**	**0**	**0**	**0**	**229.67**
TPD		**229.68**								

AFOROS	L	COLECTIVOS		Buses	CAMIONES						Mixtos
		CP	CG		C2 P	C2 G	C3	C4	C5	>C5	
TPDS (24 h)	0.731452456	0	0	0.05951759	0.115377917	0.07475618	0.01889586	0	0	0	1
COMPOSICIÓN	73.15%	0.00%	0.00%	5.95%	11.54%	7.48%	1.89%	0.00%	0.00%	0.00%	
					20.90%						

COMPOSICION DE LOS CAMIONES	%C2 P	%C2G	%C3	%C4	%C5	%>C5
	55.20%	35.76%	9.04%	0.00%	0.00%	0.00%

- **VÍA TOLEDO-LABATECA, SENTIDO SUR - NORTE**

MOVIMIENTO	DIAS	L	Buses	CAMIONES						Mixtos
				C2 P	C2 G	C3	C4	C5	>C5	
	LUNES	103	16	17	14	4	0	0	0	154
	MARTES	131	15	26	16	2	0	0	0	190
	MIERCOLES	168	14	26	16	4	0	0	0	228
	JUEVES	166	17	32	24	5	0	0	0	244
	VIERNES	94	18	34	17	5	0	0	0	168
	SABADO	176	17	28	23	7	0	0	0	251
PROMEDIO		**139.67**	**16.17**	**27.17**	**18.34**	**4.5**	**0**	**0**	**0**	**205.84**
TPD		**205.85**								

AFOROS	L	COLECTIVOS		Buses	CAMIONES						Mixtos
		CP	CG		C2 P	C2 G	C3	C4	C5	>C5	
TPDS (24 h)	0.678503765	0	0	0.07855234	0.131989313	0.089094	0.02186058	0	0	0	1
COMPOSICIÓN	67.85%	0.00%	0.00%	7.86%	13.20%	8.91%	2.19%	0.00%	0.00%	0.00%	
					24.29%						

COMPOSICION DE LOS CAMIONES	%C2 P	%C2G	%C3	%C4	%C5	%>C5
	54.33%	36.67%	9.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Posteriormente se calcula la proyección del tránsito y cálculo de ejes equivalentes para el periodo de diseño, mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{N = (No) * (\frac{(1+r)^n - 1}{r})}$$

Dónde:

N: Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t que circularán por el carril de diseño durante el período de diseño (n).

No: Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t que circularán por el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

Nc: Es el número de ejes equivalentes de 8.2 t ya soportados por el carril de diseño del pavimento durante la construcción del mismo.

r: Es la tasa de crecimiento anual de tránsito de vehículos comerciales.

n: Número de años del período de diseño.

Por lo tanto, para la determinación de ejes equivalentes de 8.2Ton en el año base (No), se deben realizar los siguientes pasos:

$$\boldsymbol{No = 365 * \Sigma Ci * Fd * Fcg}$$

Donde:

No: es el número de ejes equivalentes de 80 kN que circularán en el carril de diseño en el año base o de puesta en servicio del pavimento.

Ci: Es la cantidad de vehículos comerciales diarios del tipo (i) que circula por la ruta en el año de relevamiento y estudio del pavimento.

Fi: Es el factor de equivalencia que corresponde a cada pasada del vehículo comercial tipo (i).

Fcg: Es la tasa de crecimiento anual de tránsito comercial, deducida de la serie histórica o asumida con base en parámetros macroeconómicos de la región.

Por lo tanto, para el cálculo del factor camión globales:

$$\boldsymbol{Fcg = Fb * \%B + Fc * \%C}$$

Fcg: Factor camión global.

Fb: Factor camión.

%B: Porcentaje de buses, dividido como los camiones, aunque en este caso solo contamos con una categoría

Fc: Factor camión.

%C: Porcentaje de camiones, está dividido por las diferentes categorías que nos presenta la norma como podemos observar en la tabla de composición de los camiones.

PORCESAMIENTO DE DATOS PARA CALCULO DE EJES EQUIVANTES DE 8.2 TONELADAS

Teniendo en cuenta la información obtenida en campo con el conteo vehicular procedemos con la realización del cálculo del número de ejes equivalentes para realizar el diseño de pavimento flexible.

Inicialmente procedemos con el cálculo del factor camión global:

$$Fcg = 1.00 * 0.0595 + 0.20 * (0.552 * 1.14 + 0.3576 * 3.44 + 0.0904 * 3.76)$$

$$Fcg = 0.50$$

Por todo lo anteriormente procedemos a calcular el Numero de ejes equivalentes de 8.2Ton en el año base (No):

$$No = 365 * 229.70 * 0.50 * 0.50$$

$$No = 20960\ vehiculos$$

Con base en lo anterior realizamos el cálculo de ejes equivalentes para el periodo de diseño, que para el caso en estudio se asumieron 10 años y una tasa de crecimientos según la de la tabla 3.8 del manual del INVIAS se tiene una tasa de crecimiento entre 2.0 a 4.0%, por tal motivo esta consultoría, sin embargo, evitando incrementar ha asumido para el cálculo del tránsito un valor de **4.0%** como tasa de crecimiento.

TDPS	Tasas de crecimiento (%)			
	Total vehículos		Vehículos comerciales	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
< 500	2.0 – 4.0 %	3.6%	2.0 – 4.0 %	2.9%
500 – 1000	3.0 – 6.0 %	3.4%	2.0 – 4.0 %	2.6%
1000 – 2500	3.0 – 6.0 %	4.3%	2.0 – 5.0 %	3.3%
2500 – 5000	3.0 – 6.0 %	4.3%	3.0 – 5.0 %	3.4%
5000 - 10000	3.0 – 6.0 %	4.5%	3.0 – 5.0 %	3.8%
> 10000	3.0 – 6.0 %	4.3%	3.0 – 6.0 %	3.8%

Fuente: INVIAS.

Posteriormente se calcula la proyección del tránsito y cálculo de ejes equivalentes para el periodo de diseño, mediante la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{N = \ (No) * (\frac{(1+r)^n - 1}{r})}$$

$$\boldsymbol{N = \ (20960) * (\frac{(1+0.04)^{10} - 1}{0.04})}$$

$$\boldsymbol{N = \ 251648 \ ejes \ equivalentes \ en \ el \ carril \ de \ diseño}$$

Esta estimación se debe corregir debido a la confiabilidad de los datos, la norma establece una confiabilidad del 90% para la determinación del número de ejes equivalentes, la cual se describe: "Una vez determinado N, el número de ejes equivalentes de 8.2 t en el período de diseño, se debe contemplar la confiabilidad requerida (del 90%) para acceder al catálogo de diseño; como se anotó en la introducción, el nivel de confianza en la estimación del tránsito debe manejarse externamente porque en los diseños únicamente se involucró el error por comportamiento.

Tomando como referencia los errores encontrados por la AASHTO, para estructuras de pavimentos flexibles, (0.49 para el error combinado de tránsito y comportamiento y 0.44 únicamente por comportamiento) y asumiendo una distribución normal para la diferencia entre el tránsito real y el estimado, se encontró la expresión para proporcionar la confianza requerida en la variable tránsito:

Para el caso del 90% de confiabilidad el Zr es igual a 1.282 por lo tanto la expresión quedará:

$$\boldsymbol{N' = 10^{0.05 * Zr} * N}$$

$$\boldsymbol{N' = 10^{0.05 * 1.282} * 251648}$$

$$\boldsymbol{N' = 291671 \ ejes \ equivalentes \ en \ el \ carril \ de \ diseño}$$

Donde:

N´: Es el tránsito equivalente corregido para proporcionar un determinado nivel de confianza.

Zr: El correspondiente a una distribución normal y a la confiabilidad deseada.

Con base en la formula anterior se tiene un cálculo de **291.671** ejes equivalentes de 8,2 toneladas, quedando clasificado como un tránsito **T2,** según la tabla 2.1 del manual de invias para vías con bajos volúmenes de tránsito.

Tabla 2.1. Niveles de tránsito

Nivel de tránsito	Número de ejes equivalentes de 80 kN durante el período de diseño en el carril de diseño
T1	< 150.000
T2	150.000 - 500.000

PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

TRANSITO: Tal como se indica en el ítem anterior, se considera un tráfico pesado, para lo cual se hacen las transformaciones respectivas a ejes equivalentes para 10 años.

Debido al volumen de tráfico proyectado que soportará la estructura, se ha establecido un número de repeticiones de carga equivalente por eje simple igual a:

TOTAL TRANSITO DE DISEÑO	**291.671 ejes de 8.2 Ton**

CONFIABILIDAD: La "Confiabilidad del Diseño (R)" se refiere al grado de certidumbre (seguridad) de que una determinada alternativa de diseño alcance a durar, en la realidad, el tiempo establecido en el período seleccionado. La confiabilidad también puede ser definida como la probabilidad de que el número de repeticiones de cargas (Nt) que un pavimento pueda soportar para alcanzar un determinado nivel de serviciabilidad de servicio, no sea excedida por el número de cargas que realmente estén siendo aplicadas (Wt) sobre ese pavimento".

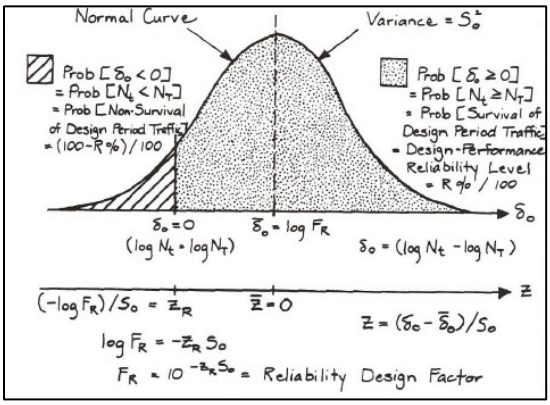


Figura 4.1. Criterio de confiabilidad estadística

Si se ha definido a W_{t18} como las cargas equivalentes de diseño y a WT como las cargas actuantes reales, se tendrá en la Figura "4.1", que el área en blanco representa la probabilidad de éxito del diseño, es decir que Nt≥NT cuando Po≥ Pt. Esta probabilidad se define como el "Nivel de Confiabilidad (R)" del proceso de diseño-comportamiento, y se expresa:

$$R=100 * \text{Probabilidad } (Nt \geq NT) = 100 * \text{Probabilidad } (d \geq 0)$$

Para un nivel determinado de Confiabilidad, (R), habrá un Factor de Confiabilidad-(FR)- que es función de la desviación estándar (S_o), y la cual, a su vez, toma en consideración la variación esperada en los materiales y el proceso constructivo que predominarán en el pavimento que se diseña, la posibilidad de variación en la predicción del tráfico a lo largo del período de diseño, y la variabilidad normal en el comportamiento del pavimento para un valor de W_{t18}.

La confiabilidad (R), en el Método AASHTO '93, se establece mediante la correcta selección de este "Factor de Confiabilidad en el Diseño (FR)", y para cuya determinación es necesario transformar la curva del proceso de diseño a una "curva normalizada", mediante la relación

$$Z = (0 – 0) / S_0 = (0 - \log FR) / S_0$$

En esta curva normalizada, en el punto donde □0 = o, el valor de Z = Z_R es decir:

$$Z_R = (- \log FR) /S_0$$

Para un nivel determinado de confiabilidad, por ejemplo, R = 75%, el valor de Z_R puede ser obtenido de las curvas de distribución normal (Curvas de Gauss), y corresponde al área en el sector que va desde (-∞) hasta (100-R / 100). En una curva de Gauss se tiene que para R = 75%, el valor de Z_R = (-0,674). La ecuación anterior también puede ser escrita como:

$$\log FR=- Z_R * S_0$$

Ó también como:

$$FR= 10^{-ZR* S0}$$

Ambas ecuaciones pueden ser consideradas como una definición algebraica del Factor de Confiabilidad de Diseño.

La siguiente table permite obtener los niveles adecuados de Confiabilidad (R) para diferentes tipos de vías, clasificadas por la AASHTO, según su grado de servicio.

Niveles Recomendados de Confiabilidad (R)

Clasificación de la vía	Urbana	Rural
Autopistas	85-99,9	80-99,9
Troncales	80-99	75-95
Locales	80-95	75-95
Ramales y Vías Agrícolas	50-80	50-80

El nivel de confianza especificado para el diseño del pavimento, siguiendo las recomendaciones de la AASHTO (R), depende del tipo de vía, Por ser vías en pavimento locales y ser estima es una colectora se sugieren niveles entre el 80% y 95%, para el caso se tomó por criterio un nivel de confiabilidad R= 90%.

Una vez seleccionado el valor de R que el Proyectista considere adecuado, se busca el valor de Z_R de la Tabla siguiente. Sí el Proyectista carece de experiencia en el diseño, evidentemente, ya que mientras mayor sea el valor de R mayor será la confianza en el diseño, tratará de seleccionar los valores en el rango alto de la Tabla anterior. El valor que representa a la Confiabilidad y que es llevado a la ecuación de diseño ASSHTO-93 es, finalmente, el valor Z_R.

Valores de Z_R en la curva normal
para diversos grados de Confiabilidad

CONFIABILIDAD, %.	DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR, Zr.
50	0.000
60	-0.253
70	-0.254
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.036
90	-1.282
91	-1.341
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555

CONFIABILIDAD, %.	DESVIACIÓN NORMAL ESTÁNDAR, Zr.
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Para nuestro caso con una confiabilidad del 90% tenemos un valor de Z_R de -1.282.

DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL SISTEMA (So): El valor de la desviación estándar (S_o) que se seleccione debe, por otra parte, ser representativo de las condiciones locales. La Tabla siguiente se recomienda para uso general, pero estos valores pueden ser ajustados en función de la experiencia para uso local.

Valores Recomendados para la
Desviación Estándar (So)

Condición de Diseño	Desviación Estándar
Variación de la predicción en el comportamiento del pavimento (sin error de tráfico)	0,25
Variación total en la predicción del comportamiento del pavimento y en la estimación del tráfico	0,35 — 0.50 (0.45 valor recomendado)

CRITERIO DE COMPORTAMIENTO: La serviciabilidad de un pavimento se ha definido como su habilidad de servir al tipo de tráfico que utiliza la facilidad vial. La medida fundamental de la serviciabilidad, tal como fue establecida en el Experimento Vial de la AASHO, es el Índice de Serviciabilidad Actual (PSI), y que puede variar entre los rangos de cero (0) -vía intraficable- a cinco (5) -vía con un pavimento perfecto.

Los índices de serviciabilidad inicial (P_o) y final -o terminal- (P_t), deben ser establecidos para calcular el cambio total en serviciabilidad que será incorporado en la ecuación de

diseño. El Índice de Serviciabilidad Inicial (P_o) es función del diseño de pavimentos y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO para los pavimentos flexibles fue de 4,2. El Índice de Serviciabilidad Final (P_t), es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico:

$$P_t = 2.5 - 3.0$$

Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas Interurbanas,

$$P_t = 2.0 - 2.5$$

Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de

$$Pt = 1.8 - 2.0$$

Se recomienda que, normalmente el valor de Pt nunca sea menor de 1.8, aun cuando las características de tráfico de la vía sean muy reducidas.

De ser ese el caso, lo que se recomienda es disminuir el período de diseño.

Los criterios de aceptación por el público usuario de una vía, en función de la condición de servicio, que pueden servir como indicadores para la adecuada selección del valor de serviciabilidad final (P_t), son, de acuerdo a lo indicado en la Guía de Diseño AASHTO-93 son:

Valores de P_t

Valor de P_t	**% de usuarios que aceptan como buena la condición de servicio del pavimento**
3.0	82
2.5	45
2.0	15

El valor de diseño para el criterio de comportamiento que se introduce en la ecuación de diseño es la diferencia entre P_o y P_t, es decir:

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

El nivel de Servicialidad (Po - Pt), Índice de servicio inicial (Po), para este proyecto y siguiendo los lineamientos de la guía AASHTO, se tomó un índice de servicialidad de 4,2, e índice de Servicio final (Pt) = 2,0. Es decir, la pérdida de servicialidad será de ΔIPS = 4,2 – 2,0 = 2.2.

Figura 1. Parámetros AASHTO para servicialidad.

TIPO PAVIMENTO	SERVICIABILIDAD INICIAL, Po
Concreto	4.5
Asfalto	4.2

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II–10.

TIPO DE VÍA	SERVICIABILIDAD FINAL, Pt
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Zonas industriales	
Pavimento urbano principal	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

Fuente: AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington D.C., 1993. p. II–10.

MODULO RESILIENTE DE LA SUB-RASANTE:

Para la caracterización de los materiales de sub-rasante, la metodología AASHTO utiliza el módulo Resiliente o elástico (MR). Este se debe determinar con un equipo especial para realizar el respectivo ensayo, y no siempre es fácil de obtener, por tal motivo se han establecido correlaciones para alcanzarlo a partir de la prueba de CBR. En este caso se utilizaron las correlaciones utilizadas en la guía, mediante la Ecuación Esta fórmula es especialmente recomendada para suelos con valores de **CBR menores o iguales a 20%**.:

$$MR = 1500\ x\ CBR$$

Donde:
MR : Modulo Resiliente.
CBR California Bearing Ratio

Para nuestro caso tenemos un CBR de diseño de 6.5%, lo que nos arrojaría un MR=9.750 psi.

FACTORES DE DRENAJE:

Para evaluar el coeficiente de drenaje (Mj) es importante conocer la precipitación media anual, para el caso se tomó una precipitación de 3500 mm anuales procedente de una zona relativamente lluviosa o con precipitaciones moderadas, lo que indica que es del tipo medio.

El manual del Instituto Nacional de Vías, para diseño de pavimento para bajos volúmenes de tránsito, que utiliza parcialmente como referencia la metodología AASHTO, de acuerdo con la precipitación media anual, recomienda utilizar los siguientes coeficientes de drenaje (Mj), de la figura siguiente. Por no tener un estudio que avale la calidad del drenaje, se considera una característica de drenaje de bueno a regular, por de tal motivo, se asumió el valor Mj = 0,80 considerando que los dispositivos de drenaje deberán ser adecuados y complementados, siendo la responsabilidad de la interventoría, realizar la respectiva comprobación y seguimiento a las condiciones de drenaje, garantizando que durante el proceso constructivo estas queden operando de manera eficiente.

ALGORITMO AASHTO Y CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL

La ecuación utilizada para el diseño de pavimentos flexibles se derivó de la información obtenida empíricamente en la prueba vial AASHTO 93, que se transcribe en la siguiente Ecuación:

$$logW18 = Zr\ X\ So + 9{,}36\ X \log(SN+1) - 0{,}20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta ISP}{4{,}2-1{,}5}\right)}{0{,}4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5{,}19}}} + 2{,}32\ X \log(Mr) - 8{,}07$$

Donde:

N : Número de ejes equivalentes de 18.000 libras (8,2 toneladas) en el carril de diseño durante el período de diseño. Para el proyecto N = 291.671

Zr : Desviación normal estándar. Para una confiabilidad del 90% Zr = -1,282

So : Error normal combinado de la previsión del tránsito y del comportamiento de la estructura de pavimento. El valor adoptado fue de 0,45

ΔIPS : Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial Po y el final Pt (4,2-2) = 2,2

MR : Módulo resiliente de la subrasante (lb/ pulg^2): Para este caso que se utilizarán los granulares existentes como mejoramiento de la subrasante, el MR equivalente calculado es de: 16.950 PSI

SN : Número estructural, el cual se calcula del algoritmo AASHTO.

El valor de SN se determina mediante la siguiente ecuación, para resolver la ecuación de la AASHTO, se utilizó el programa denominado Ecuación AASHTO 93, realizado por el ingeniero Luis Ricardo Vázquez Valera, resumido en la siguiente Ecuación:

$$SN = a1xd1 + a2 + d2 + a3xd3 + \cdots. \quad (1)$$

Donde:

a_i : Coeficiente correspondiente a la capa i
D_i : Espesor de la capa i en pulgadas
M_j : Coeficiente de drenaje de la capa i

Una vez obtenido el Número Estructural Total (SNT) requerido, el cual debe satisfacer la estructura total del pavimento, el dimensionamiento se reduce a un sencillo problema aritmético, debido a que a1, a2, a3, m2 y m3 son valores conocidos mientras que D1, D2 y D3 son valores asumidos, de modo tal que se debe cumplir con la igualdad una vez realizadas las operaciones indicadas en la ecuación anterior.

El método también indica que cada una de las capas debe cumplir con un Número Estructural de capa (SN_i). Los cálculos se realizan en forma similar que el Número Estructural Total, pero considerando el Módulo Resiliente del material subyacente. De este modo, se garantiza que haya una coherencia estructural tanto entre el espesor total del pavimento y la calidad de la sub-rasante como entre el espesor de cada capa y la calidad del material de la capa inmediatamente inferior. Asimismo, existen valores mínimos que deben considerarse en función al volumen de tráfico.

COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE LAS CAPAS

Mezclas de Concreto Asfáltico para la Capa de Rodamiento y para Mezclas en Capas Intermedias (Distinta a Rodamiento)

(a) Caso en que se conoce el Módulo Elástico de la mezcla asfáltica.

La Figura 4.2 presenta un gráfico que puede ser empleado para determinar el valor de (a_{rod} o a_1) de mezclas densamente gradadas de concreto asfáltico, a partir del módulo de elasticidad [E_{ca}], el cual, a su vez, debe haber sido determinado mediante ensayos de laboratorio, o por ecuaciones de correlación. Debe alertarse sobre la determinación

de los coeficientes estructurales en mezclas de concreto asfáltico con valores de [E_{ca}] mayores a 450.000 psi, ya que el incremento en rigidez va acompañado por un aumento en su susceptibilidad en el agrietamiento por temperatura y por fatiga, en el caso de MAC convencionales, no así en MAC de "Alto Módulo", las cuales son preparadas con asfaltos modificados, que les imparten propiedades especiales de elasticidad.

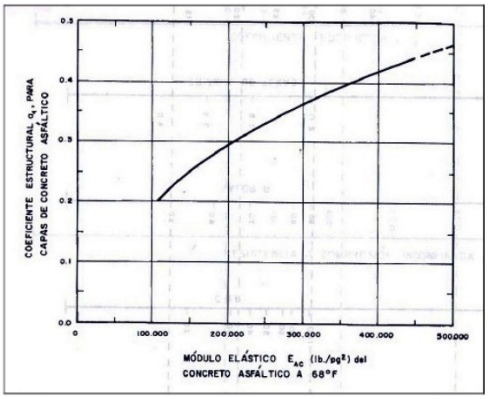


Figura 4.2 Valores del coeficiente estructural (a_1) para mezclas de concreto asfáltico densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o capas intermedias, a partir del Módulo de Elasticidad

(b) Caso en que NO se conoce el Módulo Elástico de la mezcla asfáltica.

En el caso de que no se disponga del valor del Módulo de Elasticidad de la mezcla asfáltica, puede emplearse el gráfico de la Figura 4.3, para estimar el coeficiente estructural (a_1), a partir de la estabilidad Marshall de la mezcla. (Este gráfico es el mismo que se emplea en el Método AASHTO '72 para la determinación del coeficiente estructural de las capas de concreto asfáltico.

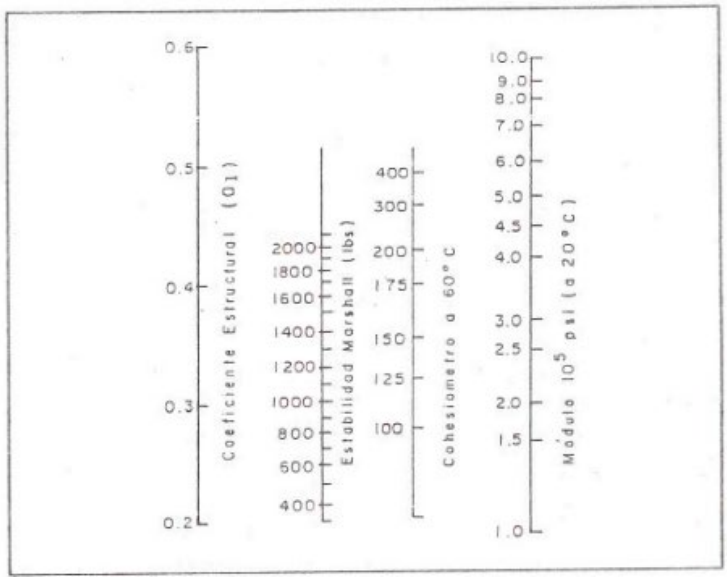


Figura 4.3. Valores del coeficiente estructural (a_1) para mezclas asfálticas densamente gradadas empleadas como capa de rodamiento y/o intermedia, a partir de la estabilidad Marshall.

Para el caso en estudio se utilizó con un módulo de 400.000 psi se obtuvo un coeficiente estructural (a1) = 0,42. Aplicando la ecuación se obtuvieron los siguientes valores: a1= 0,425, pero por recomendación de la norma para pavimentos con temperaturas mayores a 30°C se tomó un coeficiente a1 de 0,4.

Bases granulares no-tratadas

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (a2) (tal como es el caso de las bases de piedra picada, grava triturada, grava cernida, etc.), se determina, a partir del Módulo de Elasticidad (Módulo Resiliente) (MRb), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$a_{base\ granular} = 0{,}249\ (\log M_{Rb}) - 0.977$$

$$a_{base\ granular} = 0{,}14$$

Para esta ecuación debe tomarse en cuenta que el valor se acota en un máximo de 0.14, excepto cuando se emplea agregado siderúrgico con CBR>110%, cuando se acepta un valor de 0.15.

También puede emplearse el gráfico de la Figura 4.4, para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa base de material granular no-tratado, cuando se disponga del valor de CBR, Hveem o Triaxial de Texas.

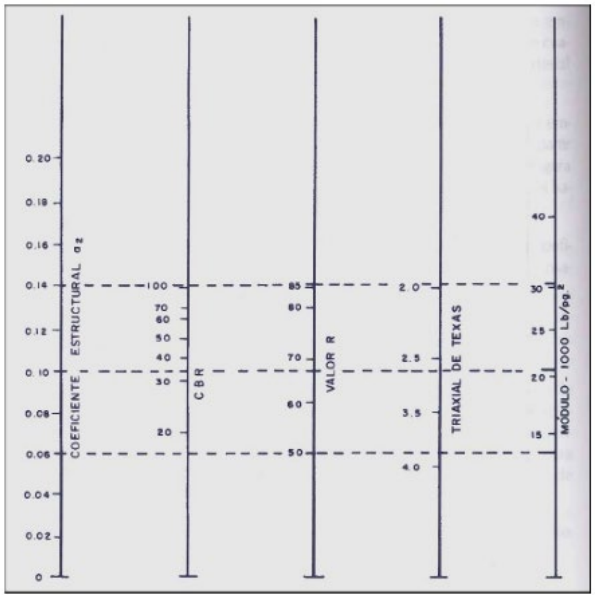


Figura 4.4. Valores del coeficiente estructural (a_2) para bases granulares no-tratadas

Sub-bases granulares no-tratadas

El coeficiente estructural para el caso de que la capa base esté constituida por agregados no-tratados (a_{sb} o a_3) (tal como es el caso de las sub-bases de grava cernida, granzón natural, granzón mezclado, etc.), se determina, a partir del Módulo de Elasticidad (Módulo Resiliente) (M_{Rsb}), mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$a_{sub\text{-}base} = 0{,}227\ (\log M_{Rsb}) - 0.839$$

$$a_{sub\text{-}base} = 0{,}12$$

Para esta ecuación debe tomarse en cuenta que el valor se acota en un máximo de 0.13.

También puede emplearse el gráfico de la Figura 4.5, para determinar el valor del coeficiente estructural de la capa sub-base de material granular no-tratado, cuando se disponga del valor de CBR, Hveem o Triaxial de Texas

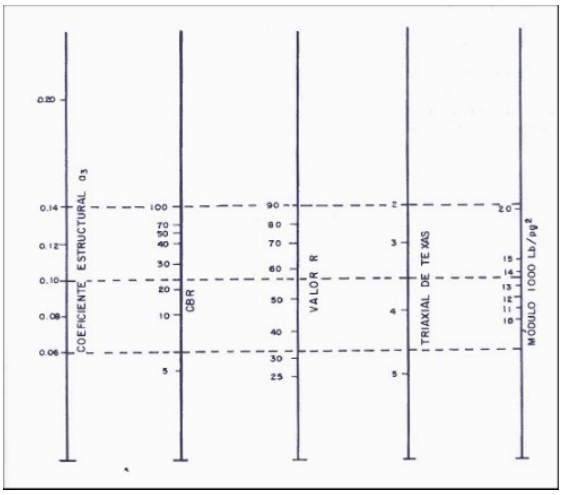


Figura 4.5. Valores del coeficiente estructural (a_3) para subbases granulares no-tratadas

Características estructurales del pavimento

El Método AASHTO'04 para el diseño de pavimentos flexibles proporciona un sistema para ajustar los coeficientes estructurales en forma tal que tomen en consideración de los niveles de drenaje sobre el comportamiento del futuro pavimento.

El efecto de la calidad del drenaje sobre la estructura del pavimento se toma en cuenta a través de un "factor de ajuste (m)", -que se obtiene de la Tabla 4.7, y por el cual se multiplican los coeficientes estructurales de la base (a_b) o de la sub-base (a_{sb}), sólo en el caso de que los materiales/mezclas que constituyan estas capas sean del tipo no-tratados.

Tabla 4.7

Valores recomendados del Coeficiente de Ajuste (m) para los coeficientes estructurales de las capas de base y/o sub-bases no-tratadas

	Porcentaje del tiempo durante el cual la estructura de pavimento está sometido a condiciones de humedad cercanas a saturación			
Calidad de Drenaje de la Base o sub-base	Menos del 1 %	Entre el 1 y 5 %	Entre el 5 y 25 %	Más del 25 %
Excelente	1,40 - 1,35	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Buena	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Regular	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80
Pobre	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Muy pobre	1,05 - 0,95	0,95 - 0,75	0,75 - 0,40	0,40

Finalmente, para el cálculo del pavimento se tienen los siguientes datos:

a) Propiedades De Los Materiales

A.- Módulo de Resiliencia de la Base Granular (PSI): 30.000; para CBR=95

B.- Módulo de Resiliencia de la Sub-Base Granular (PSI): 17.000; para CBR=40

b) Datos Del Tránsito Y Propiedades De La Sub-Rasante

A.- Número de Ejes Equivalentes Total (W_{t18}): 291.671 Ejes de 8.2 Ton

B.- Factor de Confiabilidad (R): 90%

Desviación Estándar Normal (Zr): -1,282

Desviación Estándar Total (So): 0,45

C.- Módulo de Resiliencia de la Sub-Rasante (MR, PSI): 9.750 psi

D.- Serviciabilidad Inicial (pi): 4,2

E.- Serviciabilidad Final (pt): 2,0

F.- Período de Diseño (Años): 10

c) Estructuración Del Pavimento

A.- Coeficientes Estructurales de Capa

Concreto Asfáltico (a_1): 0,40

Base Granular (a_2): 0,14

Sub-Base Granular (a_3): 0,12

B.- Coeficientes de Drenaje de Capa

Base Granular (m_2): 0,80

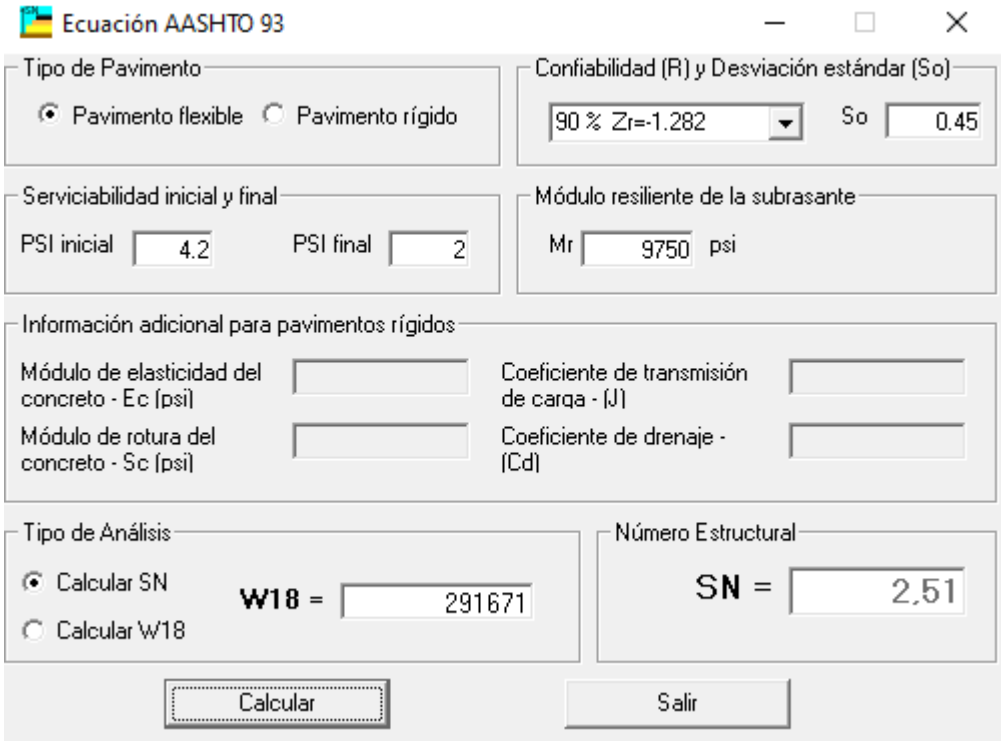
Sub-Base Granular (m_3): 0,80

De este modo, en la ecuación (2) obtenemos el Número Estructural Requerido Total (SN_{REQ}):

ESPESORES MINIMOS PARA EL DISEÑO DEL PAVIMENTO

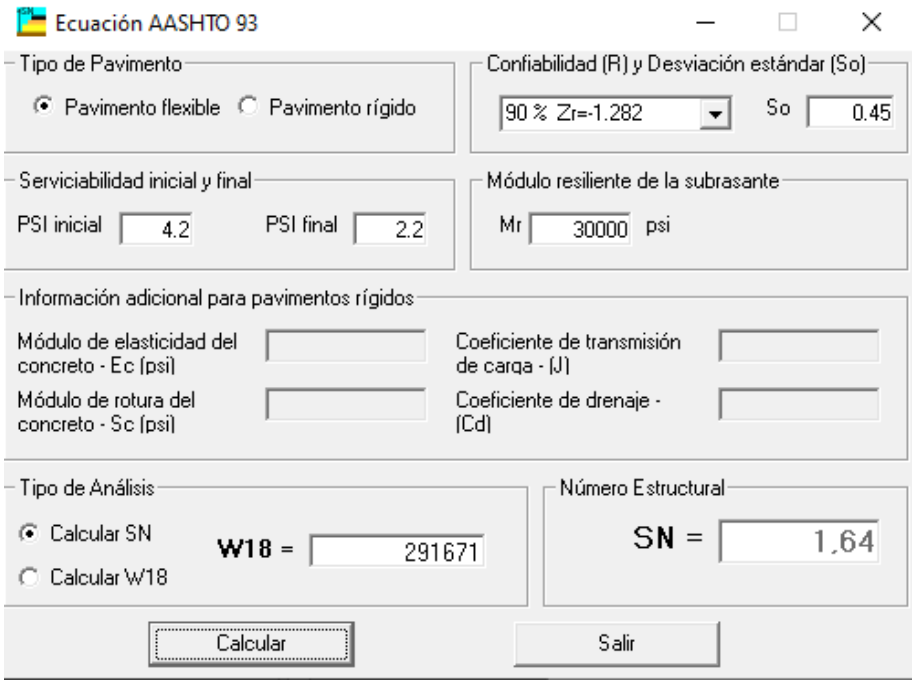
Determinado el número estructural, y definidos los coeficientes estructurales (ai) de las distintas capas que constituyen la estructura del pavimento, es necesario identificar los espesores de capa de pavimento que, combinados, suministran la capacidad de carga y resistencia, correspondiente a los números estructurales (SN) de diseño. Como se expresa en la Ecuación (2), se debe cumplir la condición de que el número estructural (SN tránsito) de diseño, sea menor o igual que el número estructural (SN estructura) total del pavimento, deducido mediante la expresión general del número estructural. SN Tránsito ≤ SN estructura, para el ejemplo vial 2,51 ≤ SN estructura.

Número Estructural Requerido Total (SN_{REQ}): 2.51



ESPESOR DEL CONCRETO ASFÁLTICO

Para el espesor de la mezcla asfáltica se utilizó la ecuación AASTHO 93, despejando el espesor de carpeta requerido, de esta manera se calcula el número estructural (SN1) utilizando el programa Ecuación AASHTO 93 de la autoría del Ingeniero Ricardo Vázquez Valera, resultando un valor de **SN1 =2,51**.



A partir de ese valor de **SN1=1.64,** encontramos el espesor de la capa asfaltica requerida, con la siguiente formula.

$$\boldsymbol{d1 = \frac{SN1}{a1}}$$

Donde:

d1 : Espesor de concreto asfáltico en pulgadas.

SN1 : Número Estructural de la carpeta asfáltica.

A1 : Coeficiente de aporte de la estructura.

El espesor de concreto asfáltico se determina mediante la Ecuación anterior, el coeficiente estructural para la capa de concreto asfáltico (a1), es de 0,4. Al ejecutar la ecuación se obtiene un espesor de 4,10”, la AASHTO 93, recomienda redondear el espesor a la 1/2 pulgada más cercana o sea, 4,50” en este caso. Por tal motivo es necesario recalcular el número estructural del concreto asfáltico (SN1). Para el caso, el (SN1) corregido es de 12 cm o 4,70”.

$$\boldsymbol{SN1corr = d1\ x\ a1}$$

$$\boldsymbol{SN1corr = 4.70 * 0.4}$$

$$SN1corr = 1.88$$

VERIFICACIÓN DEL ESPESOR MÍNIMO DE CONCRETO ASFÁLTICO

Según la normatividad del INVIAS, el espesor mínimo de capa de concreto asfáltico para un tránsito de 291.671 **T2**, debe ser de 2,95". En este caso se cumple esta condición ya que 4,70" > 2,95".

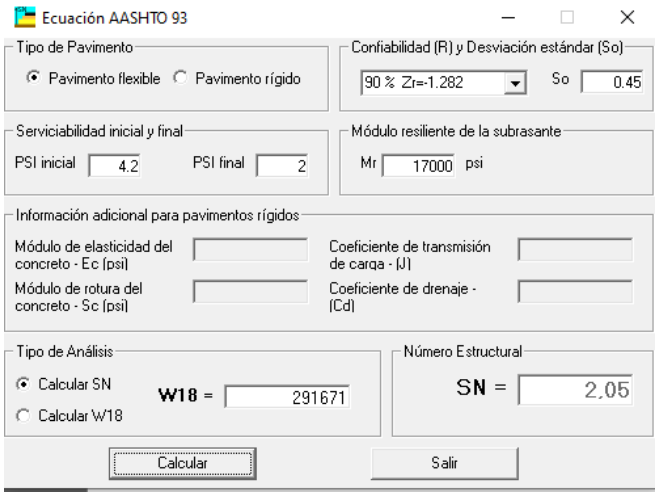
ESPESOR DE BASE GRANULAR

Se utilizó nuevamente el programa Ecuación AASHTO 93 como herramienta para el cálculo del algoritmo y se halla un número estructural (SN2)= 2,05, sobre la capa de sub-base granular, utilizando los mismos niveles de confiabilidad y tránsito, como este valor obtenido corresponde al aporte de la base granular y el concreto asfáltico, entonces a este número estructural se le resta el número estructural obtenido para el concreto asfáltico SN1(*), mediante la Ecuación, se realiza el cálculo para conocer el espesor de la base granular.

$$d2 = \frac{SN2(base\ granular) - SN1corr}{a2\ x\ m2}$$

Donde:

SN2 : Número estructural base granular
d2 : Espesor de base granular en pulgadas
m2 : Coeficiente de drenaje = 0,8



El coeficiente estructural para la capa de base granular (a2) adoptado es de 0,14, el procedimiento se describe a continuación:

$$\boldsymbol{d2 = \frac{2.05 - 1.88}{0.14\ x\ 0.8}}$$

$\boldsymbol{d2 = 1.52}$" espesor de base granular

VERIFICACIÓN DEL ESPESOR MÍNIMO DE BASE GRANULAR

Se hace necesario verificar que el espesor mínimo de base granular el cual depende del tránsito que es 291.671 . Como se encuentra entre 150.000 y 500.000, entonces el espesor mínimo será de 8.00". Como en este caso el obtenido es de 1,52" < 8" entonces el espesor adoptado es de 8.00" ya que se hace necesario para garantizar que la estructura favorezca en que se coserve la vida util de la misma, así como también que se asegure que se esta capa permita que se aumente la capacidad portante de esta capa.

De acuerdo con lo anterior se debe corregir el número estructural de la base granular, de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{SN2corr = (d2\ x\ a2\ x\ m2) + SN1corr}$$

$$\boldsymbol{SN2corr = (8.00\ x\ 0.14\ x\ 0.8) + 1.88}$$

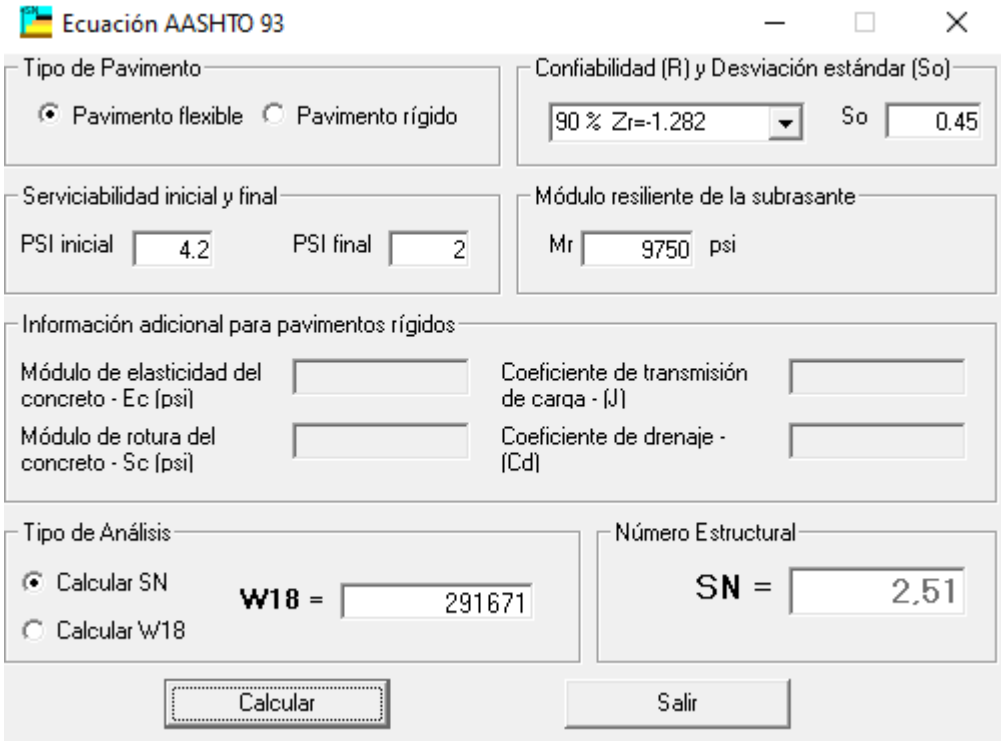
$$\boldsymbol{SN2corr = 0.90 + 1.88}$$

$$\boldsymbol{SN2corr = 2.78}$$

De esta forma, el espesor de base granular fue: D2 = 8" X 2,54 = 20,32 cm, constructivamente se puede realizar 20 cm.

ESPESOR DE SUBBASE GRANULAR

Para determinar el espesor de la subbase granular (d3) se debe tomar el numero estructural total (SN) de la estructura de pavimento calculado y se le resta el número estructural del concreto asfáltico SN2 (*) el cual es el corregido y el de la base granular SN2 (base granular*), corregido por espesor, como se muestra en la Ecuación.



Para el espesor de la subbase granular se utilizó la ecuación AASTHO 93, despejando el espesor de carpeta requerido, de esta manera se calcula el número estructural (SN3) utilizando el programa Ecuación AASHTO 93 de la autoría del Ingeniero Ricardo Vázquez Valera, resultando un valor de **SN3 =2,51**.

$$\boldsymbol{d3 = \frac{SN3(Subbase\ granular) - SN2corr}{a3\ x\ m3}}$$

Donde:

D3 : Espesor de subbase granular en pulgadas.

SNsbg : Número estructural de la Subbase granular.

M3 : Coeficiente de drenaje

$$\boldsymbol{d3 = \frac{2.51 - 2.78}{0.12\ x\ 0.8}}$$

$$\boldsymbol{d3 = -2.81"}$$

Se hace necesario manifestar que la capa de la subbase granular en la estructura, pero para este caso en particular se requiere aplicar una capa de subsabe clase C con un espersor minimo de 30 cm para nivelación de la subrasante y de esta forma darle mejor durabilidad y capacidad portante garantizando una estructura optima.

VERIFICACIÓN DEL ESPESOR MÍNIMO DE SUB-BASE GRANULAR

Se hace necesario verificar el espesor mínimo de sub-base granular el cual depende del tránsito que es 291.671 . Como se encuentra entre 150.000 y 500.000, entonces el espesor mínimo será de 12.00". Como en este caso el obtenido es de -3.93" < 12" entonces el espesor adoptado es de 12.00", se acoge este espesor como media para realizar aumento en la capacidad de soporte, estabilidad y nivelación a la subrasante, ademas de optimizar y garantizar la estructura propuesta.

De acuerdo con lo anterior se debe corregir el número estructural de la base granular, de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{SN3corr = (d3\ x\ a3\ x\ m3) + SN2}$$

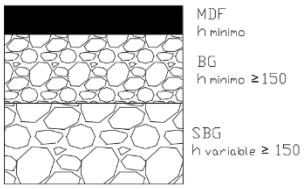
$$\boldsymbol{SN3corr = (12\ x\ 0.12\ x\ 0.8) + 2.78}$$

$$\boldsymbol{SN3corr = 1.15 + 2.78}$$

$$\boldsymbol{SN3corr = 3.93}$$

De esta forma, el espesor de base granular fue: D3 = 12.00" X 2,54 = 30,48 cm, constructivamente se puede realizar 30 cm.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

ESPESOR (cm)	CAPA DE PAVIMENTO	ESTRUCTURA	SN
12	Carpeta asfáltica en MDC-19		1.88
20	Base granular, compactada al 95% de la densidad seca máxima del Proctor modificado.		0.90
30	Sub-Base granular, compactada al 95% de la densidad seca máxima del Proctor modificado.		1.15

Podemos observar que el SN requerido 2,51 es menor al SN de la estructura 3,93, al realizar el análisis se evidencia que esta estructura de asfalto cumple con las condiciones exigidas minimas para el tramo en estudio, ya que la estructura propuesta es mayor que la estructura requerida.

DARWIN JOSÉ PALACIO SÁNCHEZ
Ing. Cilv Esp. Vías Terrrestres
M.P 54202-77371 NTS